

Proactivité des systèmes de soins à domicile face à des crises sanitaires

Houssem Barkaoui

▶ **To cite this version:**

Houssem Barkaoui. Proactivité des systèmes de soins à domicile face à des crises sanitaires. Gestion et management. Université de Lyon, 2018. Français. NNT : 2018LYSEI058 . tel-02191441

HAL Id: tel-02191441
https://theses.hal.science/tel-02191441

Submitted on 23 Jul 2019

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.

N°d'ordre NNT : 2018LYSEI058

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON
opérée au sein de
INSA Lyon

Ecole Doctorale N° ED512
Infomaths

Spécialité/ discipline de doctorat : Génie industriel

Soutenue publiquement le 04/07/2018, par :
Houssem Barkaoui

Proactivité des systèmes de soins à domicile face à des crises sanitaires

---

Devant le jury composé de :

Di-Mascolo, Maria	Directrice de recherche, Université de Grenoble Alpes	Présidente
Chapurlat, Vincent	Professeur, Ecole des Mines d'Ales	Rapporteur
Flaus, Jean-Marie	Professeur, Université de Grenoble Alpes	Rapporteur
Di-Mascolo, Maria	Directrice de recherche, Université de Grenoble Alpes	Examinatrice
Monteiro, Thibaud	Professeur, INSA de Lyon	Examinateur
Prodhon, Caroline	Maître de Conférences, UTT de Troyes	Examinatrice
Guinet, Alain	Professeur, INSA de Lyon	Directeur
Wang, Tao	Maître de Conférences, UJM de Saint Etienne	Co-directeur
Dubost, Eric	Médecin gériatre, Soins et Santé	Invité

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Remerciements

Cette thèse a été un parcours, une aventure, un défi personnel, un projet, mais surtout un accomplissement. Ceci n'aurait pas vu le jour sans la présence et le support de mon directeur, le professeur Alain GUINET et mon co-directeur, le docteur Tao WANG. Vous avez toujours été là quand j'avais besoin de vous. Vous m'avez rendu les taches plus faciles par vos remarques, vos disponibilités et surtout votre confiance. Je vous remercie sincèrement et je vous serai toujours reconnaissant.

Je souhaite remercier M. le professeur Vincent CHAPURLAT, et M. le professeur Jean-Marie FLAUS, pour l'honneur qu'ils m'ont accordé d'accepter de rapporter ce travail et pour l'intérêt qu'ils y ont porté. Vos remarques pertinentes m'ont été précieuses.

Je tiens à remercier, mes examinateurs, Mme. Maria DI-MASCOLO, Mme. Caroline PRODHON, et M. Thibaud MONTEIRO de m'avoir honoré de participer à mon jury de thèse.

J'exprime ma reconnaissance la plus profonde, à M. le Docteur Eric DUBOST, Mme. Zabouda CRETENET, et M. Julien SAMOULIEN ainsi que tout le personnel de l'hôpital à domicile Soins et Santé. Je vous remercie d'avoir cru en ce projet, d'accompagner mon travail et de m'avoir accueilli parmi vous. Votre collaboration dans cette thèse m'a été très précieuse.

Je remercie tous les membres du laboratoire DISP, direction, enseignants, doctorants et personnel administratif de m'avoir fourni d'excellentes conditions de travail pour accomplir ce travail.

J'aimerais remercier la région Rhône-Alpes-Auvergnes ARC2, « Qualité de vie et vieillissement » pour le financement de ce projet PrHoDom.

Pour finir, mes remerciements les plus profonds vont à mes parents, ma famille et mes amis pour le soutien, la patience, la confiance et l'amour qu'ils m'ont toujours accordé. Vous avez toujours été là quand j'ai besoin de vous.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Résumé

Aujourd'hui, l'accumulation des risques associés à des facteurs comme l'urbanisation croissante, le changement et la variabilité du climat, le terrorisme, les épidémies ou pandémies animales et humaines ainsi que la mobilité accrue des personnes et des biens de par le monde, ont accru le potentiel perturbateur voire destructeur de divers types de catastrophes. Des plans de gestion de crises sont élaborés pour gérer au mieux la catastrophe engendrée voire l'éviter. L'objectif de ce travail de recherche est de développer des outils d'aide à la décision pour supporter les différentes phases du plan de gestion de crises dédiés aux établissements de soins à domiciles, notamment les phases de préparation et de réponse. Un ensemble de scénarios à étudier prioritairement en considérant les différentes sources de crises et les processus métier impactés, quant à leur fréquence et leurs impacts humain et matériel, a été défini.

Une approche originale d'analyse de vulnérabilité basée sur la théorie des graphes et des matrices a été développée. Le but est de pouvoir mesurer l'impact des différentes crises sur la structure d'hospitalisation à domiciles en termes d'acteurs et de flux échangés. En se basant sur cette phase d'évaluation, nous avons proposé : une classification des acteurs de l'HAD, des méthodes pour la conception des stratégies et des contremesures de mitigation pour chaque classe d'acteurs.

La problématique d'accès aux soins dans le cadre d'un scénario d'intoxication massive a été abordée. Un modèle de programmation linéaire a été proposé pour simuler le scénario étudié et évaluer ses conséquences. Il modélise l'infection d'origine alimentaire et la réponse médicale dans le cadre d'une collaboration HAD-Hôpital, c.-à-d., un plan blanc élargi.

La problématique d'accès aux domiciles des patients a été investiguée dans le cadre d'un scénario de type crue, épisode neigeux etc. L'outil proposé fournit un plan d'évacuation pour les patients critiques à évacuer et un plan de soutien à domicile pour les patients à risque faible qui seront maintenus à domicile, ceci en utilisant des regroupements basés sur l'évaluation du risque de chaque patient.

Mots clés : Hospitalisation à domicile, logistique sanitaire, crises sanitaire, plan de gestion de crise, résilience, robustesse, vulnérabilité, proactivité, théorie des graphes, modélisation mathématique.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Abstract

Today, the accumulation of risks associated with factors such as increasing urbanization, climate change and variability, terrorism, animal and human epidemics or pandemics and enlarged mobility of people and goods have increased the disruptive and even destructive impact of various types of disasters. Crisis management plans are developed to better manage the crisis or even to avoid it. The purpose of this research is to develop decision aid tools to support the different phases of the crisis management plan for home health care (HHC) structures, mainly for preparation and response phases. A set of scenarios, considering the different sources of crises and the impacted business processes, with regard to their frequency and their human and material impacts, have been defined.

An original approach of vulnerability analysis based on graph theory and matrix methods has been developed. The objective is to measure the impact of different crises on the HHC structure in terms of actors and exchanged flows. Based on this assessment phase we have proposed a classification of HHC actors. Different methods have been proposed for the design of mitigation strategies and countermeasures for each class of actors.

The problem of access to care in the context of a scenario of massive intoxication is considered. A linear programming model has been proposed to simulate the studied scenario and evaluate its consequences. It models a foodborne infection and its medical response as part of a HHC-Hospital collaboration, in the framework of an extended white plan.

The issue of access to patients' homes has been investigated in the context of a flood-like scenario. The proposed tool provides an evacuation plan for critical patients to evacuate and a home support plan for low-risk patients who will be kept at home, using clustering based on each patient's risk assessment.

Key words: Home health care, health care logistics, crises, crisis management plan, resilience, robustness, vulnerability, proactivity, graph theory, mathematical modeling.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Table des matières

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION 1
Introduction 2
1.1. Les crises sanitaires 2
1.1.1. Les menaces naturelles dans le monde : des statistiques effrayantes 2
1.1.2. Les menaces d'origines humaines 4
1.1.2.1. Menaces terroristes 4
1.1.2.2 Des risques d'origines humaines du type NRBC 5
1.2. Les plans de gestion de crise 6
1.2.1. Les systèmes de gestion de crises 8
1.2.1.1. France 8
1.2.1.1.1 Les dispositions générales ORSEC 9
1.2.1.1.2 Les dispositions spécifiques ORSEC 9
1.2.1.1.3 Dispositif ORSAN 10
1.2.1.2 Belgique 10
1.2.1.2.1 Structure générale des plans d'urgences 10
1.2.1.2.2 Exemples de plans spécifiques PPUI 11
1.2.1.3. Maroc 11
1.2.1.4 Luxembourg 11
1.2.1.5 Québec 12
1.2.1.5.1 Présentation du dispositif général: Plan National de Sécurité Civile (PNSC) 12
1.2.1.5.2 Dispositions spécifiques : Missions PNSC 12
1.2.2. Analyse 13
1.3.1. L'hospitalisation à domicile en France 16
1.3.1.1. Arsenal juridique 16
1.3.1.2 Développement des HADs en France 17
1.3.1.3. Les modes de prises en charges 18
1.3.1.4 Structure de l'HAD 19
1.3.2. Soins et Santé 20
1.3.2.1. Présentation de la structure 21
1.3.2.2. La fonction de délivrance de Soins 21
1.3.2.3. La fonction Livraison 21
1.4. Projet PrHoDom : Problématiques et objectifs 22
1.5. Structure de la thèse 23

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

1.6. Contributions 24
CHAPITRE 2 : 26
ANALYSE STRATEGIQUE : ETUDE DE LA PHASE DE PREPARATION DU PLAN DE GESTION DE CRISE 26
Préambule 27
2.1. Etat de l'art 28
2.1.1. Résilience 29
2.1.1.1. Définition et conceptualisation 29
2.1.1.2. Facteurs clés 29
2.1.1.3. Mesure et évaluation 30
2.1.1.4. Optimisation 30
2.1.2. Robustesse 32
2.1.2.1. Définition et conceptualisation 32
2.1.2.2. Facteurs clés de la robustesse 32
2.1.2.3. Mesure de la robustesse 32
2.1.2.4. Optimisation de la robustesse 33
2.1.3. Vulnérabilité 34
2.1.3.1. Définition et conceptualisation 34
2.1.3.2. Facteurs clés de la vulnérabilité 34
2.1.3.3. Mesure de la vulnérabilité 34
2.1.3.4. Mitigation de la vulnérabilité 35
2.1.4. Discussions 36
2.2. Evaluation de la vulnérabilité de la structure d'hospitalisation à domicile 38
Introduction 38
2.2.1. Généralité sur l'approche 38
2.2.2. Modélisation de l'HAD 39
2.2.2.1. L'HAD : une chaîne logistique particulière 39
2.2.2.2. Modélisation par digraphe 42
2.2.2.3. Représentation matricielle 43
2.2.2.3.1. Matrice de flux 43
2.2.2.3.2. Matrice de dépendance 44
2.2.3. Modélisation de la crise 45
2.2.3.1. Impact sur les acteurs : le manque de résilience 47
2.2.3.1.1. Manque de capacité de réponse *IC* 47

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

2.2.3.1.2. Manque de préparation (*P*) 47
2.2.3.1.3. Responsabilité (*R*) 48
2.2.3.2. Impact sur les flux : le manque de robustesse 48
2.2.3.2.1. Manque de qualité (*Q*) 49
2.2.3.2.2. Coût (*C*) 49
2.2.3.2.3. Délai (*D*) 49
2.2.4. Evaluation de la vulnérabilité 50
2.2.4.1. Evaluation de la vulnérabilité statique 51
2.2.4.1.1. Mesure de la vulnérabilité statique des flux 51
2.2.4.1.2. Mesure de la vulnérabilité statique des acteurs 51
2.2.4.2. Evaluation de la vulnérabilité dynamique 52
2.2.4.2.1. Mesure de la vulnérabilité dynamique des acteurs 52
2.2.4.2.2. Mesure de la vulnérabilité dynamique des flux 53
2.2.4.3. Evaluation de la vulnérabilité globale 54
2.2.5. Etude de cas 55
2.2.5.1. Scénario 55
2.2.5.2. Application du VAM 56
2.2.5.2.1. Matrice de dépendance 56
2.2.5.2.2. Evaluation des critères 57
2.2.5.3. Analyse 61
Conclusion 63
2.3. Proactivité de la chaîne logistique des hospitalisations à domiciles 64
Introduction 64
2.3.1. Introduction des concepts : Influence, dépendance 64
2.3.2. Classes d'acteurs 65
2.3.2.1. Les influents (I) 65
2.3.2.2. Les dépendants (Dp) 66
2.3.2.3. Les acteurs critiques (Cr) 66
2.3.2.4. Les acteurs neutres (N) 66
2.3.3. Modélisation systémique de la chaîne logistique de l'HAD 67
2.3.4. Contremesures de mitigation 68
2.3.4.1. Contremesures de mitigation pour les acteurs influents 69
2.3.4.2. Contremesures de mitigation pour les acteurs dépendants 70
2.3.4.3. Proactivité des contremesures *PR'* 71

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

2.3.4.4. Présentation du modèle OptiVAM 74
2.3.5. Étude de cas 76
2.3.5.1 Classification des acteurs 76
2.3.5.2 Définition de la classe des acteurs influents (I) 76
2.3.5.3. Définition de la classe des acteurs dépendants (Dp) 77
2.3.5.4. Contremesures de mitigation pour les acteurs influents 78
2.3.5.5. Contremesures de mitigation pour les acteurs dépendants 79
Conclusion 80
CHAPITRE 3 : 82
ANALYSE OPERATIONNELLE : ETUDE DE LA PHASE DE REPONSE DU PLAN DE GESTION DE CRISES 82
Préambule 83
3.1. Etat de l'art 84
3.1.1. La localisation des lieux de rassemblements (abris) 85
3.1.2. L'évacuation des personnes en danger vers les lieux de rassemblements 85
3.1.3. Distribution des secours (relief distribution) 86
3.1.4. Gestion de stocks 87
3.1.5. Discussion 87
3.2. Un plan de gestion des urgences pour faire face à une attaque criminelle d'origine alimentaire .. 89
Introduction 89
3.2.1. Contexte 89
3.2.2. L'agent biologique 90
3.2.3. Etude du scénario 91
3.2.3.1. Présentation du scénario 91
3.2.3.2. La réponse médicale dans le cadre d'un plan blanc élargi 91
3.2.4. Le modèle de réponse 92
3.2.4.1. Modélisation de la maladie: Une extension du modèle SIR 92
3.2.4.2. Le modèle linéaire 93
3.2.4.3. Expérimentation 96
3.2.4.3.1. Jeu de données 96
3.2.4.3.2. Résultats et analyses 97
Conclusion 99
3.3. Réponse à une menace hydrologique : Régulation entre l'évacuation et le maintien à domicile 101
Introduction 101

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

3.3.1. Présentation du problème 101
3.3.2. Outil d'aide à la décision pour répondre à la crise 102
3.3.2.1. Gestion des risques liés aux crues 102
3.3.2.2. Estimation de risque individuel par patient 103
3.3.2.2.1. Estimation de « Alea » 103
3.3.2.2.2. Calcul de la vulnérabilité individuelle de chaque patient *Vul (i,p)* 104
3.3.2.2.2.1 Proximité géographique de la source de risque (la crue) 104
3.3.2.2.2.2. Evaluation de l'état du patient 105
3.3.2.2.3. Analyse d'un point de vue logistique 106
3.3.2.2.3.1. Critères de sélection du plus important au moins important 107
3.3.2.3.3.2. Problème de regroupement des patients 107
3.3.2.2.4. Point de vue de la modélisation 108
3.3.2.2.5. Modèle linéaire de régulation entre l'évacuation et le maintien à domicile 108
3.3.3. Expérimentation numérique 113
3.3.3.1. Jeu de données 113
3.3.3.2. Résultat 115
Conclusion 117
CHAPITRE 4 : CONCLUSION 118
4.1. Bilan 119
4.2. Perspectives 122
Références bibliographiques 124
Production scientifique 138

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Liste des figures

Figure 1. 1: Nombre de catastrophes et de personnes décédés (x1 000): 1990-2016 3
Figure 1. 2: Nombre de catastrophes et nombre total de personnes touchées (x 1 million): 1990-2016 3
Figure 1. 3: Nombre de catastrophes et estimation des dommages (x 1 milliard 2016 US $): 1990-2016 4
Figure 1. 4: Attentats terroristes mortels dans le monde : 1970-2016 4
Figure 1. 5: Processus de l'évolution du risque versus processus de gestion de crises 8
Figure 1. 6: Coordination entre les différents intervenants dans un plan de gestion de crise 14
Figure 1. 7:Taux de recours sur le territoire français 17
Figure 1. 8: Les intervenants en HAD 20

Figure 2.1. 1: Organisation de la bibliographie relevant de la résilience, la robustesse et la vulnérabilité des chaines logistiques 28

Figure 2.2. 1: Digraphe de la chaîne logistique de l'HAD 43
Figure 2.2. 2: représentation des niveaux d'influence d'un réseau 54
Figure 2.2. 3: Les différentes étapes du VAM 55

Figure 2.3 .1: Illustration de la méthode basée sur le principe de Pareto 66
Figure 2.3. 2: Illustration des classes d'acteurs 67
Figure 2.3. 3: Les classes d'acteurs 67
Figure 2.3. 4: Modélisation systémique de la chaîne logistique de l'HAD 68

Figure 3.2. 1: Les états de la maladie 93

Figure 3.3. 1: Les principaux cours d'eau dans la région Rhône-Alpes 102
Figure 3.3. 2: Niveau d'eau à la station Pont-la-Feuillé (Saône) 103

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Liste des tableaux

Table 1. 1: Principaux agents biologiques d'empoisonnement alimentaire 5
Table 1. 2: Les catastrophes meurtrières dans les pays /provinces étudiés durant les 50 dernières années. 7
Table 1. 3: Comparaison entre les systèmes étudiés 14
Table 1. 4: Les lois organisant le cadre et le fonctionnement des HADs : 1960-2018 16
Table 1. 5: Durée de séjour par mode de prise en charges en 2015 et 2016 18

Table 2.1. 1: Articles portant sur la résilience des chaines logistiques 30
Table 2.1. 2: Articles portant sur la robustesse des chaines logistiques 33
Table 2.1. 3: Articles portant sur la vulnérabilité des chaines logistiques 35

Table 2.2. 1: Les familles d'acteurs principales de l'HAD et leurs missions 39
Table 2.2. 2: La nature des flux de la chaîne logistique de l'HAD 40
Table 2.2. 3: Echelle de jugement 44
Table 2.2. 4: Grille d'évaluation du niveau de dépendance 45
Table 2.2 .5: Grille de jugement remplie 56
Table 2.2 .6: Evaluation du critère IC 57
Table 2.2. 7: Evaluation du manque de résilience LRS des acteurs 58
Table 2.2. 8: L'indice de priorité de vulnérabilité des acteurs 62

Table 2.3. 1: Les contremesures et leurs impacts sur le niveau de dépendance 72
Table 2.3. 2: Calcul de l'influence cumulée des acteurs 76
Table 2.3. 3: Calcul de DAVI cumulé 77
Table 2.3. 4: Calcul de la proactivité PR des contremesures M(i) 78
Table 2.3 .5: Calcul de la proactivité PR' pour différent NC 80

Table 3.2. 1: Nombre de décès et coût de la réponse médicale en fonction de l'intensité des ressources 98

Table 3.3. 1: Qualification des caractéristiques physiques de la crue 103
Table 3.3. 2: Classification des Alea selon les valeurs de In 104
Table 3.3. 3: Définition des classes de proximité 105
Table 3.3. 4: Définition des classes de patients par indice de Karnovsky 105
Table 3.3. 5: Classification de vulnérabilité des patients 105
Table 3.3. 6: Classification des patients par niveau de risque 106
Table 3.3. 7: Capacité des ressources 114
Table 3.3. 8: Coût horaire d'emploi des ressources 114

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Table 3.3. 9: Résultats de simulation pour différentes valeurs "capevac"..... 115
Table 3.3. 10: Impact du paramètre α et de l'étendue Tmax sur le coût total de la solution..... 116
Table 3.3. 11: Nombre maximal de patients par zone..... 117

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Introduction

Aujourd'hui, l'accumulation des risques associés à des facteurs comme l'urbanisation croissante, la dépendance aux infrastructures et l'interdépendance de ces dernières, le terrorisme, le changement et la variabilité du climat, les épidémies ou pandémies animales et humaines ainsi que la mobilité accrue des personnes et des biens de par le monde, ont accru le potentiel perturbateur voire destructeur de divers types de catastrophes.

Dans ce chapitre nous allons faire un état de lieux sur différents types de menaces dans un premier temps, et puis on va introduire notre terrain d'investigation qui est l'hospitalisation à domicile dans un deuxième temps.

1.1. Les crises sanitaires

Il convient d'abord de préciser d'une manière subtile la nuance entre différents termes qui sont souvent utilisés à tort comme des synonymes (Lefebvre, 2015).

- Menace : C'est une source de danger qui peut éventuellement mener à une situation d'urgence ou à un désastre. On peut attribuer à chaque menace un risque de réalisation.

Exemple : Hôpital situé à côté d'une rivière.

- Urgence : Elle survient au moment où la menace devient réalité. C'est une situation caractérisée par ses répercussions néfastes qui doit être palliée par des services de gestion de crise (pompiers, ambulanciers, police, etc.).

Exemple : Crue majeure.

- Désastre : C'est une situation d'urgence dont les conséquences dépassent la capacité de réponse des services de gestion de crise.

Exemple : Effondrement d'un grand hôpital suite à la crue.

- Catastrophe : C'est un désastre dont l'ampleur dépasse la capacité de réponse des services de gestion de crise nationaux voire internationaux.

Exemple: Tsunami.

Une classification générale peut être faite en se basant sur l'origine de la menace: origine naturelle ou origine humaine.

- Menaces d'origine naturelle : Les menaces naturelles regroupent les événements résultants de processus naturels se déroulant depuis l'origine de la terre mais qui vont avoir un impact sur des vies ou des biens humains (Stephen, 2014). Les menaces d'origine naturelle ont la particularité d'être, en général, prévisibles, à savoir les épisodes neigeux, les crues, les tornades, etc.
- Menaces d'origine humaine : Les menaces dites humaines, anthropogéniques ou encore technologiques regroupent les événements produits par l'homme. Ce type de menace est en général imprévisible et accidentel comme les menaces NRBC (nucléaire, radiologique, biologique et chimique) ou encore les menaces terroristes (Haddow et al., 2014).

1.1.1. Les menaces naturelles dans le monde : des statistiques effrayantes

Selon Guha-Sapir et al. (2017), 342 catastrophes déclenchées par des aléas naturels ont été enregistrées en 2016. Après un pic en 2015 de 395 catastrophes, cette baisse pourrait être le signe d'un retour à une tendance décroissante du nombre annuel de catastrophes qui remonterait 2005, ou un précurseur d'une éventuelle stabilisation du nombre annuel de catastrophes.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

En 2015, le nombre de décès causés par des catastrophes naturelles (8 733) était la deuxième plus basse valeur depuis 2006, largement inférieur à la moyenne annuelle de 2006 - 2015 (69 827). La figure 1.1 (Guha-Sapir et al. 2017) représente l'évolution du nombre de catastrophes naturelles ainsi que le nombre de décès causés entre 1990 et 2016. Inversement, le nombre de personnes déclarées touchées par des catastrophes naturelles (564,4 millions), représenté sur la figure 1.2, était en 2016, le plus élevé depuis 2006, soit 1,5 fois sa moyenne annuelle (224 millions).

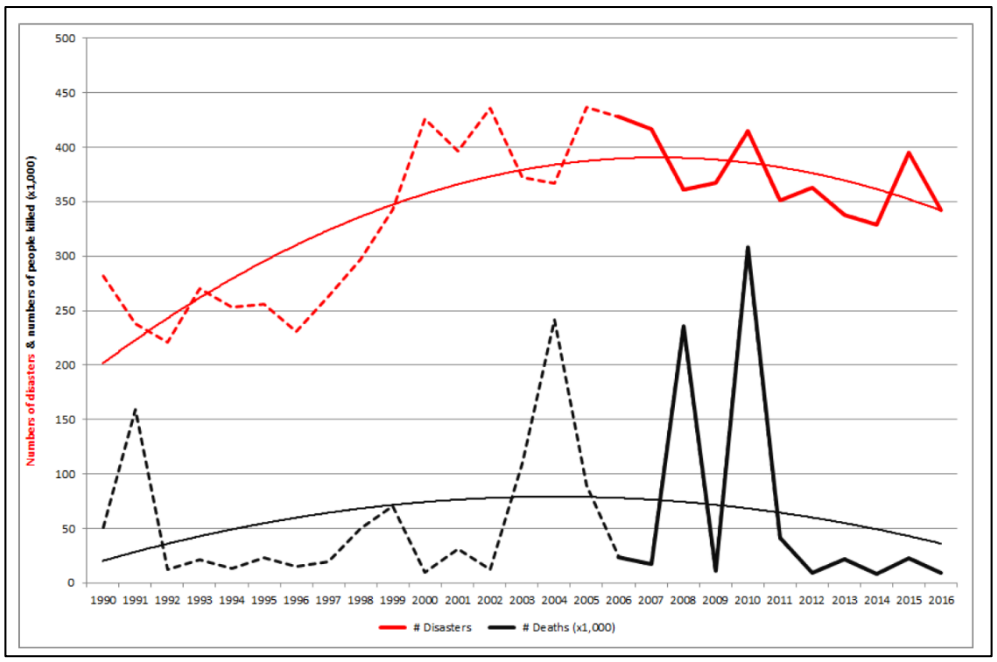


Figure 1. 1: Nombre de catastrophes et de personnes décédés (x1 000): 1990-2016

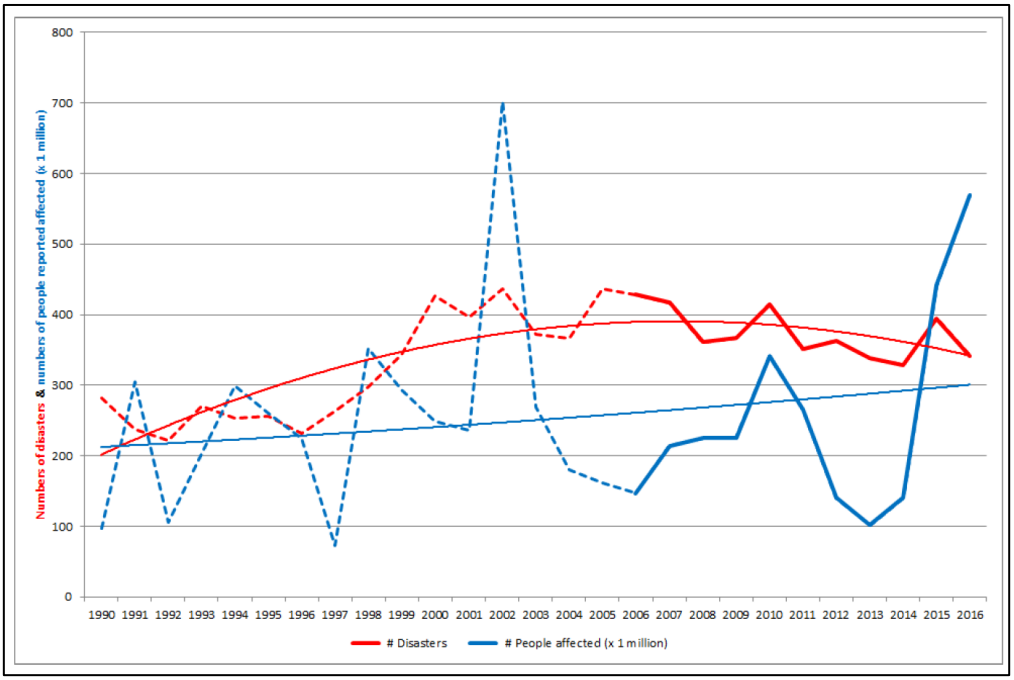


Figure 1. 2: Nombre de catastrophes et nombre total de personnes touchées (x 1 million): 1990-2016

Concernant les estimations des dommages économiques liés aux catastrophes naturelles en 2016, les pertes ont atteint les 154 milliards de dollars américains. L'année 2016 est la

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

cinquième plus coûteuse depuis 2006. Figure 1.3 (Guha-Sapir et al., 2017) retrace l'évolution des pertes économiques entre 1990 et 2016).

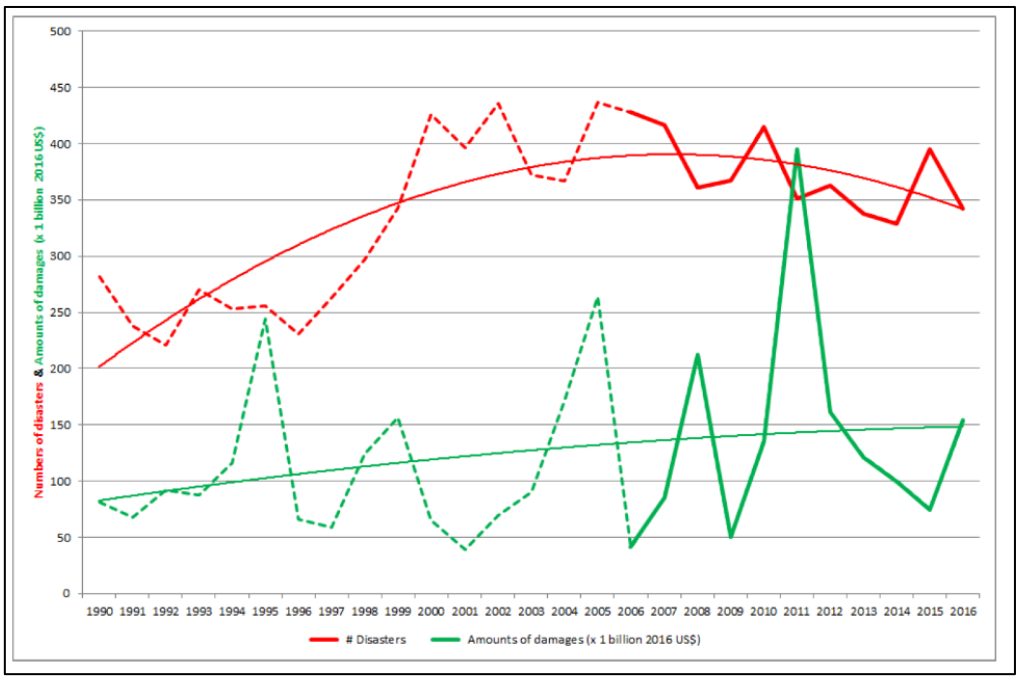


Figure 1. 3: Nombre de catastrophes et estimation des dommages (x 1 milliard 2016 US $): 1990-2016

1.1.2. Les menaces d'origines humaines

1.1.2.1. Menaces terroristes

Le 21ème siècle a été marqué par des évènements meurtriers. Des attaques terroristes qui ont eu lieu partout dans le monde. La menace terroriste est devenue la priorité en termes de sécurité des Etats autant en Occident, dont la France, que dans le reste du monde.

Les menaces terroristes caractérisées par l'anonymat et l'imprévisibilité ont souvent laissé des dégâts colossaux en termes de vies humaines, mais aussi en termes de pertes économiques surtout dans les pays dont l'économie est basée sur le tourisme comme la Tunisie.

Figure 1.4 (GTD, 2017) montre l'historique des attentats terroristes mortels dans le monde de 1970 jusqu'à 2015.

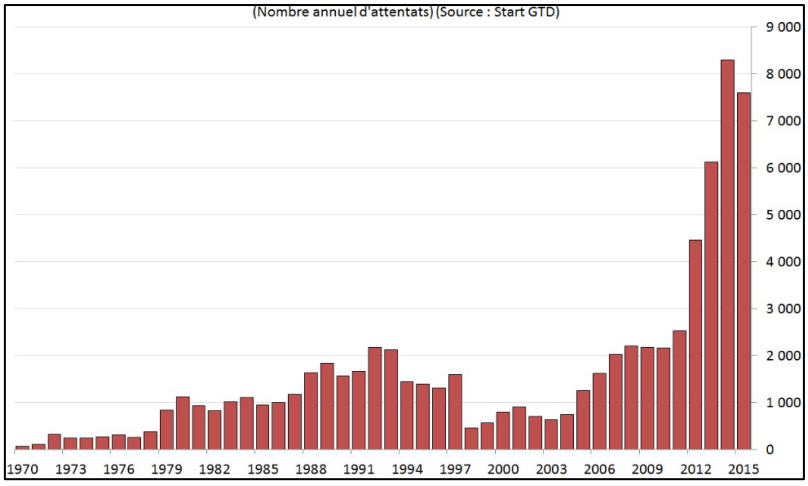


Figure 1. 4: Attentats terroristes mortels dans le monde : 1970-2016

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

1.1.2.2. Des risques d'origines humaines du type NRBC

Parmi les risques d'origine humaine on peut citer un risque bien particulier qui est le risque d'origine biologique. Dans ce qui suit on va rapporter quelques évènements qui ont marqué l'histoire humaine en termes de menace biologique.

Les risques peuvent être non intentionnels ou intentionnels. Dans le cas des risques intentionnels, la raison peut être de fraude financière (contrefaçon, non-respect de la réglementation, etc.) ou d'un acte malicieux (terrorisme). Cette distinction est souvent difficile à établir.

Nous avons sélectionné dans la littérature certains d'entre eux impliquant différents agents de contamination: toxine botulinique A, Escherichia Colis, hépatite A, Listeria, Salmonella, Shigella Dysenteriae et Staphylococcus aureus. Les principales caractéristiques de ces agents biologiques sont spécifiées dans le tableau 1.1.

Table 1. 1: Principaux agents biologiques d'empoisonnement alimentaire

Agent	Cause	Conséquences	Incubation	Létalité	Traitement	Vaccin
Botulinum A	Bactérie	Déficience nerveuse	1-3 jours	5%-25%	Antitoxine	Oui
Escherichia Coli	Bactérie	Insuffisance rénale	3-8 jours	3%-5%	Réhydrations	Vaccin expérimental
Hépatites A	Virus	Insuffisance hépatique	14-28 jours	0.6%	Analgésiques, antipyrétiques	Oui
Listeria	Bactérie	État septique, infection cérébrale	10-28 jours	17%	Antibiotiques	Oui
Salmonella	Bactérie	Gastroentérites, déshydrations	1-2 jours	1%	Thérapie antibiotique pour les âgés	Vaccin expérimental
Shigella Dysenteriae	Bactérie	Dysenterie, inflammation intestinale aiguë	1-7 jours	20%	Antibiotiques	Vaccin expérimental
Staphylococcus Aureus	Bactérie	Vomissement, Dysenterie	1-8 heures	0.02%	Thérapie antibiotique	Oui

Une maladie d'origine alimentaire avec la toxine «Botulisme A» a eu lieu à Peoria (Illinois) en 1983. La toxine botulique bloque les transmissions neuronales qui provoquent une paralysie musculaire s'étendant du cou aux membres et aux poumons. 28 personnes ont été hospitalisées et 20 patients ont été traités avec de l'antitoxine botulique. 12 patients ont eu besoin d'un soutien ventilatoire. La source était des oignons sautés servis dans des sandwichs.

Un Shigella Dysenteriae s'est produit parmi le personnel d'un laboratoire hospitalier du Texas en octobre 1996 (Infectious Diseases Society of America, 1992). Cette éclosion était très probablement due à une contamination criminelle de la nourriture avec une culture de stock hospitalier, en raison de la vengeance d'un employé. 12 personnes ont été contaminées et 4 ont été hospitalisées.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Une épidémie d'hépatite A s'est déclarée à Monaca (Pennsylvanie) en novembre 2003 (CBS News, 2003). L'hépatite A est une infection hépatique hautement contagieuse. Environ 555 personnes atteintes d'hépatite A ont été identifiées et 3 personnes sont décédées. L'infection provenait d'oignons verts servis au moins dans 13 restaurants de Pennsylvanie.

En octobre 2011, une listériose a infecté 147 personnes au Colorado. Listeria peut causer de la fièvre, de la diarrhée, des maux de tête, de la confusion, une perte d'équilibre et des convulsions. Les cantaloups contaminés ont causé 33 décès. L'éclosion de Listeria Cantaloupe en 2011 a été la plus meurtrière aux États-Unis.

Le saumon fumé contaminé par la salmonelle a harché des centaines de personnes aux Pays-Bas (Fox News, 2012) et aux États-Unis en 2012. Les personnes infectées par la bactérie salmonella ont souffert de fièvre, de vomissements et de diarrhée.

Une épidémie d'Escherichia Coli à Litchfield Park (Arizona) a contaminé 79 personnes en 2013 (News Desk, 2013). Au moins 30 personnes ont été hospitalisées. C'est la plus grande épidémie d'Escherichia Coli aux États-Unis. Au moins deux personnes ont développé une infection grave qui peut détruire les reins.

En avril 2013, une intoxication alimentaire causée par Staphylococcus Aureus dans la crème glacée est survenue à Fribourg (Allemagne) (Fetsch et al., 2014). La crème glacée a été produite dans un hôtel. 13 personnes ont été contaminées et 7 ont été hospitalisées. Aucun membre du personnel de l'hôtel n'a présenté de symptômes de maladie. L'équipement utilisé ou un ingrédient contaminé pourrait être la source d'empoisonnement s'il n'est pas intentionnel.

Pour faire face à ces catastrophes et en limiter les dégâts, les décideurs doivent se préparer à l’avance et définir des plans de gestion de crise.

1.2. Les plans de gestion de crise

La gestion des catastrophes, appelée plus communément gestion des situations d’urgences ou encore gestion de crises, est la discipline qui s’intéresse à l’évaluation des menaces et de leurs risques relatifs ainsi qu’aux stratégies mises en œuvre afin d’en limiter l’occurrence ou les conséquences en cas de survenue.

Dans ce qui suit, nous allons étudier le cadre réglementaire et les mesures prises par les gouvernements pour gérer des situations exceptionnelles de crises dans quatre pays et une province canadienne (France, Belgique, Luxembourg, Maroc et Québec). Le choix de ces pays/province est basé sur la disparité dû au nombre d’habitants et à l’étendue géographique.

Le tableau 1.2, adapté de (Lefebvre, 2015), nous montre le type des plus grandes catastrophes meurtrières survenues en France, au Maroc, en Belgique, au Québec et au Luxembourg ces 50 dernières années. Selon Dufort (2003), une catastrophe passe généralement par trois phases : une phase latente caractérisée par l’imprévisibilité et la discrétion, est la phase qui prend fin dès l’apparition d’un incident ou d’un élément déclencheur. Ce dernier va déclencher la situation de crise qui définit la phase critique, et qui se termine par une phase d’apaisement et de retour à la normale.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Table 1. 2: Les catastrophes meurtrières dans les pays /provinces étudiés durant les 50 dernières années.

		France	Maroc	Belgique	Québec	Luxembourg
	Nb habitants au 1/1/2015	66 318 000	33 849 000	11 190 845	8 260 000	563 000
	Superficie (Km^2)	640 679	446 550	30 528	1 542 056	2 586
TYPE DE CATASTROPHES	Inondation	X	X		X	
	Séisme	X	X			
	Tempête	X				
	Incendie	X		X		
	Accident ferroviaire	X		X	X	
	Crash avion	X		X		
	Explosion gaz			X	X	
	Effondrement structures (viaduc, stade…)			X	X	
	Canicule	X		X		X
	Terrorisme	X	X	X		

Une fois le processus global des risques cerné, des plans de gestion de crises sont élaborés pour bien gérer la catastrophe voire l'éviter. Un plan de gestion de crise est un plan d'actions élaboré pour mettre en œuvre un ensemble d'actions afin de réduire la vulnérabilité face aux risques potentiels. Un tel plan devrait inclure des mesures qui assurent la sécurité du personnel, des biens et des installations. Il devrait aussi inclure des dispositions pour évaluer la gravité d'un incident et prévoir des mesures pour minimiser le problème (Rouse, 2015).

Le processus de gestion de crise (Voir figure 1.5) inspiré de (Ben Massou, 2011) est un processus continu qui commence par une phase de préparation à des scénarios de risques probables. Cette phase est caractérisée typiquement par des formations et des exercices de réponse face à des scénarios de situations d'urgences afin de mesurer le taux de préparation et d'identifier les points de faiblesses à améliorer. Cette phase de préparation est la phase image de la phase latente dans le processus d'apparition des risques. L'élément déclencheur déclenche à la fois la phase critique du risque mais également la phase réponse dans le plan de gestion de crise. Après l'apaisement du risque, une phase de rétablissement commence.

Notons que chaque fin de crise apporte un retour d'expérience (REX) traduit en termes de nouvelles mesures et un niveau de maturité plus élevé, qui va être la base de départ de la nouvelle phase de préparation au prochain risque, et ainsi de suite.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Dans cette section, nous allons présenter le cadre réglementaire et les mesures prises par les gouvernements pour gérer des situations exceptionnelles de crises dans quatre pays : France, Belgique, Luxembourg, Maroc ainsi que dans la province de Québec. Ensuite, nous effectuerons une synthèse et une analyse avant de conclure.

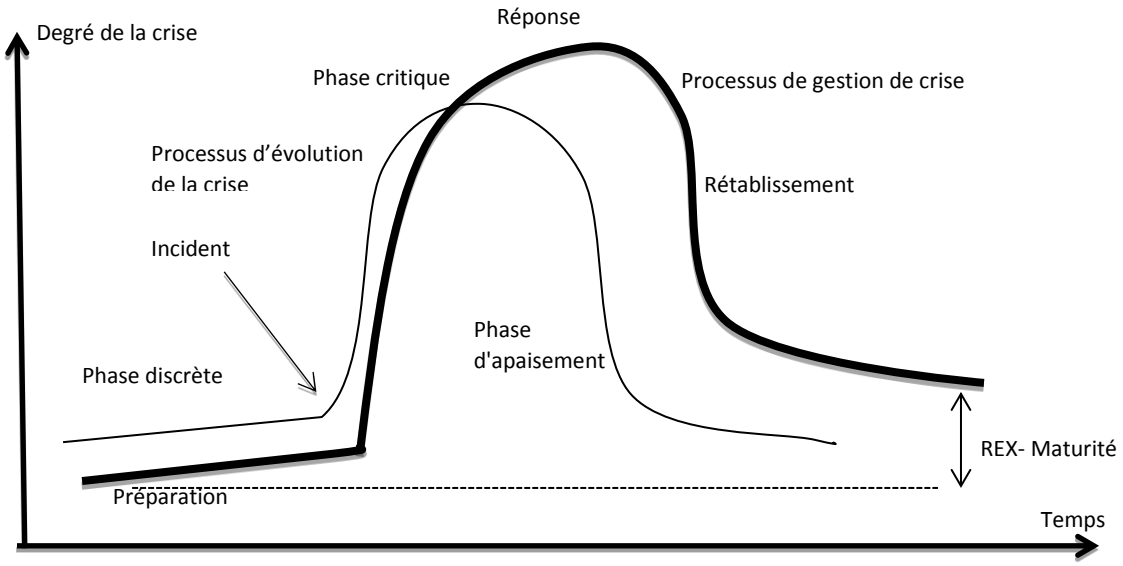


Figure 1. 5: Processus de l'évolution du risque versus processus de gestion de crises

1.2.1. Les systèmes de gestion de crises

Dans ce qui suit nous allons présenter une synthèse des différents systèmes de gestion de crises mis en place en France, Belgique, Luxembourg, Maroc et Québec. Pour ce faire, nous allons nous baser sur la classification des plans d'urgence proposée par (Haddow et al., 2014) qui classifie les plans de gestion de crise en deux grandes familles : plans généraux et plans spécifiques.

1.2.1.1. France

La loi de modernisation de la sécurité civile du 17 aout 2004 définit les mesures à mettre en place pour prévenir la population et les infrastructures des risques majeurs. Elle a favorisé une meilleure organisation des plans d'organisation de la sécurité civile et a donné lieu au nouveau dispositif ORSEC (Organisation de la Réponse de la Sécurité Civile) (Guide ORSEC, 2012).

Le système de gestion de crises Français est recentré autour d'un dispositif unique appelé ORSEC départemental. Si la crise dépasse le cadre départemental, un plan ORSEC zonal ou encore national sera déclenché. L'ORSEC départemental est un dispositif opérationnel impliquant toute la société sous une autorité commune, qui est celle du préfet, en se basant sur une cartographie de risques identifiés, tout en étant apte à s'adapter en permanence à des situations de crise particulières, pour répondre d'une manière efficace et graduée à tous types de crises (c.-à-d. catastrophe naturelle, pandémie, attaque terroriste, etc.). C'est une boîte à outils unique qui s'insère dans la philosophie générale d'adapter la réponse aux circonstances et non l'inverse (Nahon, 2014).

Le dispositif est développé en deux grand volets : des dispositions générales et d'autres spécifiques.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

1.2.1.1.1 Les dispositions générales ORSEC

Elles présentent l'ossature et la boîte à outils sur laquelle se base le préfet en fonction de la situation et des circonstances. Elles se résument, en trois grandes missions : le commandement, la communication et enfin la veille permanente et l'activation de tous les acteurs du dispositif. Ces trois missions sont nécessaires pour la gestion de tous types de crises (Direction de la défense et de la sécurité civile, 2006). Le commandement est une mission d'organisation qui consiste à bien définir les postes opérationnels ainsi que leurs supports logistiques. Quant à la communication, elle consiste à capitaliser l'information autour d'une seule Cellule d'Information. Enfin, la mission de veille et d'activation assure l'organisation du personnel de la préfecture mais aussi des autres acteurs et la mise en place d'un dispositif de gestion d'alerte. (Direction de la défense et de la sécurité civile, 2006) Ces trois missions visent à bien gérer la réponse du système face à tous types de crises. Pour ce faire, un ensemble de missions types ou encore d'outils doit être prédéfini pour favoriser une réponse proactive, telles que les missions de secours, l'évacuation de nombreuses victimes (ORSEC NoVi ou ancienne appellation Plan Rouge), l'hébergement, le ravitaillement, etc. (Direction de la défense et de la sécurité civile, 2006).

1.2.1.1.2 Les dispositions spécifiques ORSEC

Elles apportent un niveau de détails plus important par rapport aux dispositions générales. Elles consistent à étudier en détails les risques identifiés comme étant les plus ravageurs dans la zone étudiée. L'étude comporte une cartographie des aléas, l'identification des enjeux matériels et humains dans un premier temps, puis l'établissement des mesures à entreprendre en cas de crise à savoir le positionnement et l'affectation des ressources sur le terrain, et la mise à l'abri des victimes dans un second temps. Ces dispositions spécifiques s'articulent autour des Plans Particuliers d'Intervention (PPI).

Les Plans Particuliers d'Intervention (PPI): Ces plans doivent être mis en place par le préfet au niveau départemental. Ces PPI concernent les établissements à risques majeurs et notamment les établissements SEVESO à haute criticité. Ils doivent être supportés par un dossier départemental des risques majeurs (DDRM) qui recense les risques majeurs relatifs à chaque commune ainsi que les mesures de sauvegarde (les plans d'évacuation, les barrages routiers, etc.).

D'autres plans spécifiques relatifs à quelques catastrophes naturelles ont été développés sous le chapeau ORSEC, comme le plan canicule pour gérer des situations d'urgences causées par un épisode caniculaire. On trouve aussi quelques plans spécifiques qui viennent compléter les dispositions ORSEC, notamment pour les attaques terroristes sous ses différentes formes.

Vigipirate et Pirate: En France, la gestion des menaces terroristes est traitée principalement à travers un plan national qui relève de la responsabilité du Premier Ministre appelé plan VIGIPIRATE (Vigilance de prévention et de protection face aux menaces d'actions terroristes). Ce plan touche à tous les domaines d'activité de la société et vise à maintenir un taux de vigilance permanent en associant tous les acteurs du pays afin de prévenir et protéger le pays et la population de tous risques terroristes potentiels. (SIG, 2015).

Le plan VIGIPIRATE est basé sur trois grands objectifs : assurer une protection permanente du territoire français, veiller à anticiper tous type de risques terroristes et mitiger les répercussions en cas d'une attaque. Ce plan est complété par une autre famille de plans de gestion de risques terroristes spécifiques appelée la famille PIRATE) (SGDSN, 2015).

Le terrorisme peut se manifester sous forme d'une cyber-attaque en s'attaquant aux systèmes d'information. Il y a donc des mesures de gestion de ce genre de risques qui s'organisent sous forme de procédures appelées « cyber-sécurité », ainsi qu'une activité de conseil des

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

administrations et entreprises françaises (cellule zonale de sécurité des systèmes d'information).

Sachant que chaque crise sanitaire doit être palliée par une organisation du système sanitaire. Un plan d'organisation du système sanitaire (ORSAN) a été déployé pour favoriser une meilleure réponse du système.

1.2.1.1.3 Dispositif ORSAN

L'Etat Français a complété le dispositif ORSEC qui relève en grande partie de la responsabilité de la sécurité civile, par un schéma approprié à la gestion des crises sanitaires, c'est le schéma ORSAN (Organisation de la Réponse du Système Sanitaire). Ce plan prédéfinit les parcours de soins des patients à l'échelle départementale, régionale et zonale, et organise à l'avance les moyens de montée en puissance des systèmes de soins. Ce schéma est fondé sur des scénarii de crises qui sont basés sur une cartographie des risques. Cette cartographie est illustrée par des documents déjà élaborés dans le cadre du plan ORSEC, à savoir le DDRM, le PCS (Plan Communal de Sauvegarde) et les autres plans nationaux comme le plan canicule, le plan grand froid, etc. (Ministère des affaires sociales et de la santé, 2014).

Sur le plan opératoire, le schéma ORSAN se décline au niveau des établissements de santé sous forme de Plans Blancs pour les hôpitaux dont les HAD (Hospitalisation À Domicile) pour faire face à un afflux massif de victimes, et de Plans Bleus pour les établissements médico-sociaux. Il peut y avoir même des plans de renforts sous forme de Plans Blancs Élargis qui engagent tous les établissements de santé du département et des plans zonaux de mobilisation des ressources sanitaires. C'est dans ce cadre que s'intègre notre projet de recherche PrHoDom (voir section 1.4) qui traite particulièrement les plans blancs des HADs et la collaboration entre les différentes structures de soins en temps de crise.

1.2.1.2 Belgique

1.2.1.2.1 Structure générale des plans d'urgences

En Belgique, la gestion des crises et des situations d'urgence est gérée via des plans d'urgence et d'intervention selon la nature des risques. Cette gestion, comme en France, est recentré autour d'un plan général, appelé Plan d'Urgence et d'Intervention (PUI) multidisciplinaire défini au niveau Fédéral et se décline au niveau provincial et communal (Lefebvre, 2014). Ce dernier contient des dispositions générales organisées dans le cadre d'un Plan Général d'Urgence et d'Intervention (PGUI) qui forme l'armature du PUI. Etant donné qu'il y a des situations particulières qui exigent des mesures spécifiques, ce PGUI est complété par des plans particuliers d'urgence et d'intervention (PPUI) qui définissent les mesures à entreprendre en cas de risques spécifiques (Brochure d'information de la DGCC, 2013).

On trouve aussi, les Plans d'Intervention mono-disciplinaires qui définissent les différents acteurs et leurs missions dans des situations prédéfinies conformément au PUI [Lefebvre, 2014].

Au niveau opérationnel, pour des établissements à risques comme les hôpitaux, les écoles et les établissements Seveso, on trouve le Plan Interne d'Urgence (PIU). Ce document organise la réponse des acteurs face à une crise ainsi que les mesures de prévention à entreprendre pour mitiger les dégâts. (Brochure de la DGCC, 2013; Fédération Wallonie-Bruxelles, 2013 ; secrétariat général SIPPT, 2014 ; DG Centre de crise, 2015).

Dans ce qui suit, on va présenter quelques exemples de plans spécifiques (PPUI) pour faire face à des situations d'urgences considérées comme ravageuses.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

1.2.1.2.2 Exemples de plans spécifiques PPUI

Plan d'Urgence Radiologique et Nucléaire : Ce PPUI est conçu pour faire face aux accidents radiologiques et nucléaires. Il prévoit les mesures de préventions et l'affectation des tâches et des responsabilités aux différents acteurs. Il s'agit d'un PPUI qui n'est défini qu'au niveau provincial et fédéral (Lefebvre, 2014).

Plan Seveso : Ce PPUI concerne les établissements Seveso à hauts risques. Il définit plusieurs scénarios d'accidents (exemple : incendie) et prévoit les mesures de prévention et de réponse relatives à chaque scénario (Plan Seveso, 2015).

Plan d'intervention mono-disciplinaire D2 : Ce plan concerne la discipline deux (les secours médicaux, sanitaires et psychosociaux) et contient un arsenal de quatre plans spécifiques : Plan d'intervention médical (PIM), Plan d'Intervention psychosocial (PIPS), Plan d'Intervention Sanitaire (PIS) et enfin le Plan Risques et Manifestations (PRIMA). Ces plans s'articulent autour de l'organisation de l'intervention médicale en cas d'accidents nécessitant une mobilisation particulière des ressources. Cette organisation doit prévoir la montée en puissance en termes de ressources lorsqu'on dépasse les capacités habituelles de réponse (SPF Santé Publique, Sécurité de la Chaine alimentaire et environnement, 2009).

1.2.1.3. Maroc

Le royaume du Maroc est doté d'une stratégie globale de gestion des risques qui peut être considéré comme un plan générique. Cette stratégie repose sur la veille et la surveillance permanente des risques, ainsi que la mise en place des mesures de prévention et des dispositifs d'alerte et de secours. Elle est supportée par un arsenal juridique adapté au contexte national et international du pays (El Fontis, 2003).

Notons que le Maroc fait partie du projet LIFE (2015) de la Commission Européenne qui a pour objectif d'instituer un cadre juridique étoffé portant sur la gestion des risques naturels et technologiques, et de mettre en œuvre une politique de législation communautaire dans le domaine de l'environnement et du développement durable.

D'une façon générale, la réponse à une crise se fait par la création d'une cellule de crise spécifique afin de mettre en œuvre les mesures nécessaires pour limiter les dégâts et gérer la situation. Cette cellule comprend toutes les parties prenantes concernées, à savoir la protection civile, les sapeurs-pompiers, le croissant rouge, le ministère de la santé, etc. (Zahour, 2014).

Notons qu'en 2014, le Maroc a participé au Forum de Haut Niveau sur les politiques de gestions des risques de l'OCDE qui vise à une meilleure gouvernance de la gestion des risques dans les pays membres de l'OCDE. À son issue, un projet biparti entre le Maroc et l'OCDE a été mis en place afin d 'établir une meilleure politique de gestion des risques majeurs au Maroc (Ministère des Affaires Générales et de la Gouvernance, 2014).

Finalement, le Maroc s'est doté d'un dispositif spécifique anti-attentats terroristes. Ce dispositif mis en place depuis octobre 2014, est baptisé HADAR (« vigilance » en arabe). HADAR intègre les Forces Armées Royales, la Gendarmerie Royale, la Police et les Forces Auxiliaires. Il a été mis en place progressivement et couvre les différents sites sensibles du pays, notamment les aéroports. Les cellules régionales du plan sont présidées par les Walis (les gouverneurs) qui ont pour rôle d'assurer la coordination entre les différents intervenants et d'identifier les ressources et les mesures à mettre en place suivant le degré de la menace.

1.2.1.4 Luxembourg

À l'encontre des autres pays que l'on a étudiés jusqu'ici, le Luxembourg ne dispose pas de plan général d'urgence qui résume une procédure générale pour gérer tout type de risque. En effet,

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

on trouve une famille de plans d'Intervention et d'urgence (PIU) pour gérer des risques particuliers. Dans ce qui suit, nous allons en présenter quelques-uns.

Le PIU en cas d'accident nucléaire « Plan Cattenom » : C'est un plan tout récent qui date du 15 octobre 2014. Il est accompagné par une compagne de sensibilisation afin d'informer, sensibiliser et préparer la population face à un accident nucléaire ou radiologique. Ce plan vise à établir des procédures à suivre pour gérer la crise et mettre en œuvre des mesures de prévention et de protection ainsi que des moyens de secours des personnes en danger. Il prévoit aussi une procédure de montée en puissance selon le niveau de risque engendré (Gouvernement du Luxembourg, 2014).

Le PIU en cas d'intempéries « Plan Intempéries » : Ce plan a été élaboré sous la direction du Haut–commissariat à la protection nationale (HCPN) afin de se préparer à mieux faire face aux aléas météorologiques, à savoir ; rafales de vent, orages, épisode neigeux, canicule, grand froid, etc. Il définit d'abord les sources d'information fiables qui font foi pour activer une cellule de crise qui va veiller à mettre en œuvre toutes les mesures préétablies dans le plan. Il y a également une cellule opérationnelle qui se charge du suivi et du contrôle des actions menées, ainsi qu'une cellule d'évaluation du risque intempérie (CERI) qui suit l'évolution de la situation météorologique (Infocrise, 2015a).

Plan VIGILNAT : VIGILNAT est le plan gouvernemental pour faire face aux menaces terroristes. Il définit les mesures nécessaires pour assurer une veille et une protection permanente de la population ainsi que les intérêts du pays, prévenir et anticiper le plus en amont possible, et répondre d'une manière agile et proactive à une menace imminente ou une attaque terroriste. Ainsi, il définit différents types de menaces selon leur gravité, après une évaluation croisée du risque et de la vulnérabilité: faible, moyen, grave, très grave. La réponse doit être à l'image de la nature de la menace (Infocrise, 2015b).

1.2.1.5 Québec

1.2.1.5.1 Présentation du dispositif général: Plan National de Sécurité Civile (PNSC)

Au Québec, la gestion des crises est la responsabilité première de la sécurité civile. Ceci a été défini dans la loi sur la sécurité civile de janvier 2001. En effet, le Ministre de la Sécurité Publique doit élaborer, un plan national de sécurité civile (PNSC) et doit se charger de sa mise à jour annuelle. Ce PNSC doit se faire dans le cadre d'une collaboration et d'une concertation interministérielle [Gouvernement du Québec, 2015]. Ce plan vise à planifier et organiser les mesures afin de prévenir les sinistres, en atténuer les effets, protéger les personnes ainsi que leurs biens en cas de risques, et favoriser le rétablissement et le retour à la vie normale post-crise (Maltais et Rheaul, 2005).

En cas de risque majeur, la coordination des opérations et des mesures à entreprendre conformément au PNSC relève de la responsabilité de l'Organisation de Sécurité Civile du Québec (OSCQ).

Au niveau régional, on trouve l'Organisation Régionale de Sécurité Civile (ORSC) qui regroupe les représentants gouvernementaux à l'échelle régionale. Cette organisation veille à supporter les municipalités éprouvées en leur apportant le support logistique et technique afin de bien gérer la crise.

1.2.1.5.2 Dispositions spécifiques : Missions PNSC

Les dispositions spécifiques relatives au PNSC se déclinent sous formes de seize missions. Chaque mission relève de la responsabilité d'un acteur et concerne une discipline particulière. Dans ce qui suit on va en citer quelques-unes.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

La Mission Santé (MS): Elle vise à déployer une prise en charge pré-hospitalière, en cas de crise, qui inclut le traitement ainsi que le transport des victimes et leur prise en charge hospitalière et psychologique. Elle assure aussi la diffusion des informations au grand public (Gouvernement du Québec, 2015).

Mission évacuation massive: Elle se charge de l'évacuation d'une zone sinistrée et de la prise en charge de tous les sinistrés, elle organise les opérations de police d'envergure à savoir la protection de la population et des biens contre tous incidents (Gouvernement du Québec, 2015). On trouve aussi d'autres missions support comme la communication et le transport.

1.2.2. Analyse

Après avoir présenté les différents systèmes de gestion de crise et en se référant au tableau 1.2, on peut remarquer la relation entre les caractéristiques du pays et surtout l'historique des accidents qui y ont eu lieu d'une part, et la rigueur de formalisation du système de gestion de crise d'une autre part. La France, la Belgique et un peu moins le Québec sont les plus confrontés aux risques naturels et technologiques et récemment aux menaces terroristes, c'est pour cela que l'on trouve un système bien organisé et dûment formalisé pour assurer une bonne préparation et favoriser une meilleure réponse en cas de sinistre, afin de limiter la marge d'improvisation des acteurs. Pour le Maroc et Luxembourg qui sont historiquement moins confrontés à des catastrophes, le système de gestion de crise manque de formalisation pour être capable d'investir toutes situations de crise.

Nous remarquons pour la majorité des cas étudiés (à l'exception du Luxembourg) (voir tableau 1.3), l'existence d'un squelette général commun des plans de gestion de crises (i.e. ORSEC et ORSAN pour la France, PNSC pour le Québec, le PUI pour la Belgique et les procédures générale de gestion de crises pour le Maroc). Ce dispositif global s'élabore à l'échelle nationale, et se décline à des niveaux inférieurs (exemples : région, commune, ville, établissement, service, opérateurs). Cette déclinaison permet d'adapter le dispositif général aux particularités du risque mais aussi aux spécificités (c.-à-d. climatiques, géographique, géopolitiques, etc.) de la zone éprouvée, ainsi que de préciser les ressources et les moyens disponibles.

Comme compléments aux plans génériques, il peut y avoir des plans supports et des dispositifs complémentaires pour répondre à des situations particulières (exemple : Plan Canicule en France).

Nous constatons la tendance des gouvernements européens à développer des systèmes de gestion de crise ayant des structures similaires, afin de faciliter la coordination entre les pays, surtout quand la crise dépasse le territoire national et nécessite une mobilisation internationale, tel est le cas des menaces terroristes.

Au Luxembourg, vue la superficie et la population réduite du pays, ils ont eu recours directement à des plans spécifiques (exemples : Plan Cattenom, Plan Intempéries). Ce genre de plans peut s'avérer efficace en termes de réactivité vu qu'il définit au niveau du terrain les mesures de veille et de réponse face à de telles crises.

Dans ce sens, on reproche aux plans génériques un manque de flexibilité et de proactivité. Pour remédier à ce manque de proactivité, certains pays, comme la France, ont eu recours à un système de gestion de crise hybride basé sur des plans spécifiques tout en étant chapeautés par des structures génériques.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Table 1. 3: Comparaison entre les systèmes étudiés

Pays/province	Dispositif général	Plans spécifiques
France	X	X
Belgique	X	X
Luxembourg		X
Canada	X	X
Maroc	X	

Comme nous l'avons remarqué, plusieurs intervenants interagissent au sein d'un dispositif ou d'un inter-dispositif (exemple : ORSEC-ORSAN en France). Selon la phase du plan de gestion de crise et le degré du sinistre, un niveau requis de coordination doit se faire d'une manière horizontale (c.-à-d. entre les intervenants de même niveau du plan) et surtout verticale entre les intervenants agissant à des niveaux différents du plan (voir figure 1.6). Cette coordination permet d'apporter de la proactivité et de la résilience aux plans surtout dans la phase amont (phase de préparation) et la phase de réponse. Une telle coordination pourrait déceler un événement en se basant sur une analyse coordonnée des données et par conséquent éviter l'accident. Notons qu'il peut y avoir des acteurs qui interviennent à des niveaux différents du plan.

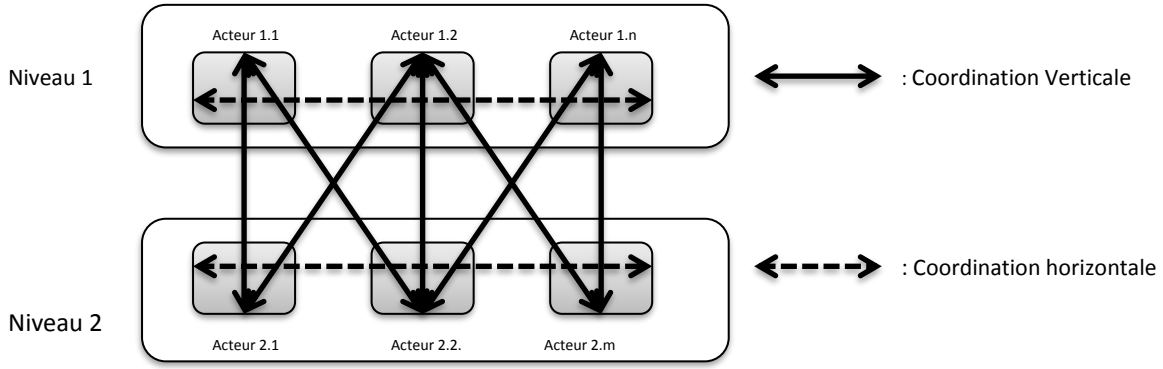


Figure 1. 6: Coordination entre les différents intervenants dans un plan de gestion de crise

La coordination s'impose aussi entre les intervenants des différents plans de gestion de différentes crises. Prenons par exemple le scénario d'une attaque terroriste qui a causé un afflux massif de victimes au sein des hôpitaux d'une région. Selon le système français de gestion de crise, trois plans sont mis en jeu, le plan VIGIPIRATE, le plan ORSEC NoVi (Nombreuses Victimes) et le plan ORSAN AMAVI (Afflux Massif de Victimes contaminées), ou en d'autres termes plus opérationnels, un Plan Blanc Elargi (PBE) avec un plan rouge chapeauté par un dispositif VIGIPIRATE. Dans ce cas, la coordination entre les différentes parties prenantes durant la phase de veille et de préparation, dans un contexte temps réel de traitement de la réponse, est d'une importance sine qua non.

Après les évènements qui ont eu lieu au second semestre de l'année 2015 en France, à savoir les inondations sur la Côte d'Azur au mois d'octobre et les attentats terroristes de Paris au mois de novembre, les présents plans de gestion de catastrophes ont prouvé leurs limites et leurs manques de coordination face à des situations qui ont fait des dégâts colossaux. La situation a

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

été gérée principalement dans l'urgence et peu anticipée. Il faut donc penser à une nouvelle génération de plans de gestion de crise basée sur une préparation plus avancée et articulée autour d'une meilleure coordination favorisant une proactivité dans la réponse. Cette nouvelle génération de plan devrait mettre au clair les procédures à entreprendre au moment de la crise surtout au niveau opérationnel. Les citoyens devraient être plus impliqués dans ces plans. Plus de sensibilisation et de formations s'avèrent aussi indispensables. Rappelons que les plans de gestion des séismes au Japon, qui se présentent sous forme de fiches réflexes et d'actes simples à appliquer au moment de l'accident, ont prouvé leur efficacité.

Pour résumer, nous remarquons que chaque pays se prépare à sa façon pour gérer les catastrophes auxquelles il est exposé. En général, nous trouvons des plans globaux qui mettent en œuvre des procédures génériques qui s'adaptent à chaque type de crise, et des plans spécifiques proposant des mesures particulières pour répondre à des situations exceptionnelles.

Néanmoins, les récentes crises naturelles et les attaques terroristes nous permettent de nous interroger sur la proactivité, l'efficacité et l'aptitude de ces systèmes de gestion des crises à mieux maîtriser leur réponse en raison de l'imprévisibilité et de la méconnaissance des situations, d'un manque de préparation, et enfin, d'un quotidien trop souvent vécu dans l'urgence et non dans la sérénité.

Après avoir mis en exergue l'historique des crises d'origines humaines et naturelles qui ont pu impacter l'humanité durant les dernières décennies, on va souligner l'impact de ce genre de crise sur le système sanitaire et introduire notre terrain d'études qui est les structures d'hospitalisation à domicile.

1.3. L'hospitalisation à domicile (HAD)

A l'ère de l'information en continu, la population mondiale suit en direct l'évolution des catastrophes et, en conséquence, il y a une forte pression sociale sur les gouvernements et les organisations pour qu'ils s'appliquent, d'une manière rapide et efficiente, à prodiguer les soins nécessaires pour minimiser les pertes de vies humaines et les souffrances des populations sinistrées particulièrement au niveau des plus faibles telles que les personnes âgées. En temps de crise, la pression exercée sur le système sanitaire se voit nettement accentuée. Une crise peut engendrer un afflux massif au niveau des centres hospitaliers ou encore une mobilisation massive des acteurs de santé. Néanmoins, les événements de ce début de siècle, nous ont permis de constater le manque d'aptitudes de notre système de santé à bien maîtriser sa réponse en raison de l'imprévisibilité et de la méconnaissance des situations, d'un manque de préparation et, enfin, d'un quotidien trop souvent vécu dans l'urgence et non dans la sérénité.

L'hospitalisation à domicile (HAD) représente un maillon indispensable du système de santé. Une structure HAD désigne un établissement de santé accueillant des patients pour une prise en charge nécessitant des soins complexes postopératoires, liés à une maladie chronique, un handicap ou dus à l'état de santé, à l'âge, ou à une prise en charge palliative et d'une manière générale à une perte d'autonomie. En HAD, ce sont les ressources qui se déplacent et se coordonnent au chevet du patient alors que dans le modèle classique de l'hospitalisation, c'est le patient qui se déplace vers la structure de prise en charge.

Le développement des HADs en France est tributaire d'une population de plus en plus vieillissante, des maladies chroniques de plus en plus évoluées, et surtout le problème habituel de manque de ressources (Zhang et al., 2010).

Ces pressions ont joué le rôle de facteurs de développement des HADs, notamment en France.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

1.3.1. L'hospitalisation à domicile en France

1.3.1.1. Dispositifs juridiques

La France a opté pour des dispositifs juridiques évolutifs pour favoriser le développement des HADs durant les 40 dernières années.

Plusieurs textes juridiques ont été publiés durant les années 70. Le 31 décembre 1970, l'existence des structures d'hospitalisation à domicile a été officialisée suite à la publication du texte[1] portant sur la réforme hospitalière. Le 29 décembre 1974, La circulaire de la CNAMTS[2] est venue appuyer la loi de 1970 pour mettre au clair les règles de fonctionnements des HADs. Suite à cela, la loi[3] du 29 décembre 1979 a défini le cadre d'action des HADs en définissant les autorisations auxquelles sont soumis les HADs privées.

Pendant les années 80, la mise en œuvre des HADs ainsi que les règles de fonctionnement ont été clarifiées suite à la publication de la circulaire du 12 mars 1986 qui a défini un certain nombre de règles portant sur la typologie des patients pris en charges en HAD ainsi que les modalités de leur acceptation. A cette date l'HAD fut reconnue comme une structure intermédiaire entre l'hôpital et le domicile du patient.

Le cadre fonctionnel de l'HAD a été complété par la réforme hospitalière de 1991 et les décrets numéro 92.11.01 d'octobre 1992 (Ben Bachouch, 2009). L'HAD a été définie comme une structure de soins permettant « *d'assurer au domicile du malade, pour une période limitée mais révisable en fonction de l'évolution de son état de santé, des soins médicaux et paramédicaux continus et coordonnés. Ces soins se différencient de ceux habituellement dispensés à domicile par la complexité et la fréquence des actes* ». Le 30 mai 2000 une circulaire vient définir les profils de malades pris en charge en HAD : « *L'hospitalisation à domicile concerne les patients atteints de pathologies graves, aiguës ou chroniques, évolutives et/ou instables qui, en l'absence d'un tel service seraient hospitalisées en établissement de santé* ».

L'adoption de la loi HPST (Hôpital, Patient, Santé et Territoire) confère à l'HAD une meilleure reconnaissance en tant qu'acteur du système sanitaire Français. En apothéose, en 2014 les HAD sont reconnues comme des centres hospitaliers qui ont les mêmes droits et devoir que les hôpitaux conventionnels.

Le tableau 1.4 retrace l'ensemble des textes de lois organisant le cadre et le fonctionnement des HADs de 1960 jusqu'à nos jours.

Table 1. 4: Les lois organisant le cadre et le fonctionnement des HADs : 1960-2018

1960-1980	1980-1992	1992-2000	2000-2006	2006-2010	2010-2018
Loi de 1970 Circulaire de 1974	Circulaire de 1986 Loi de 1991 Décrets de 1992	Circulaire de 30 Mai 2000	Circulaire de Février 2002 Ordonnance de 4 septembre 2003 Circulaires de Février 2004	Décret du 22 Février 2007 Décret du 30 Avril 2007 Circulaire	(circulaire du 4 décembre 2013 relative au fonctionnement de l'HAD).

[1] Loi n° 70-1318 du 31 décembre 1970 portant réforme hospitalière

[2] Caisse Nationale d'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés

[3] Loi n° 79-1140 du 29 décembre 1979

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

			Circulaire de Mars 2004	d'Octobre 2007 Loi HPST	

1.3.1.2 Développement des HADs en France

Depuis 1973 les HADs de France se réunissent sous la houlette de la Fédération Nationale des Etablissements d'Hospitalisation à Domicile (FNEHAD). La FNEHAD a pour rôles de:

- Promouvoir les structures d'HAD,
- Défendre l'HAD auprès des pouvoirs publics,
- Faire reconnaitre l'HAD en tant qu'acteur principal du système de santé,
- Développer l'activité de l'HAD,
- Assurer des formations aux acteurs de l'HAD, etc.
  (FNEHAD, 2017)

Le nombre des HADs en France a connu une hausse considérable depuis les années 1970. En 1973 l'HAD ne comptait que 10 structures et en 1979 elle en comptait 20 et puis 123 en 2005. En 2018 la France dispose de 309 établissements certifiés par la Haute Autorité de Santé et couvrant tout le territoire, même les zones isolées, rurales et montagneuses (FNEHAD, 2017). Le taux de recours a atteint 20.2 patients pris en charge en HAD pour 100 000 habitants. Ce dernier reste un taux global sujet à des disparités régionales importantes comme le montre la figure 1.7 (FNEHAD, 2017).

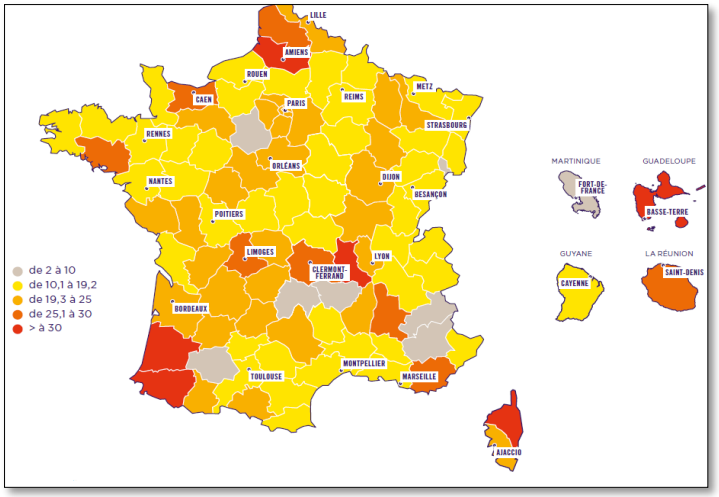


Figure 1. 7:Taux de recours sur le territoire français

On remarque que l'HAD occupe une bonne place dans les départements d'outre-mer, le Var et le Pas-de-Calais avec un taux de recours élevé. Notons que l'objectif fixé par la circulaire du 4 décembre 2013 est d'atteindre un taux de recours de 30 à 35 patients pour 100 000 habitants.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Selon la FNEHAD (2017), 109 866 patients ont bénéficié d'une prise en charge en HAD en 2016, soit 4.9 millions de journées d'hospitalisation à domicile. Ces prises en charge ont coûté 967 millions d'euros, ce qui fait 1% de l'ensemble des dépenses hospitalières et 0.5% des dépenses de l'Assurance maladie. Quant aux profils des patients, l'HAD est destinée principalement aux personnes âgées (58.5 ans en moyenne) mais elle s'étend aussi, pour une bonne partie de son activité, à la pédiatrie (4.5% de l'activité).

L'HAD est généralement initiée suite à une prescription du médecin hospitalier, mais elle peut être prescrite directement de la part du médecin traitant (30% des séjours en 2016-2017). Notons que depuis 2012 et suite au décret n° 2012-1030, l'activité de l'HAD a été élargie pour couvrir les interventions dans les EHPAD[4], les établissements sociaux et médico-sociaux.

1.3.1.3. Les modes de prises en charges

L'activité de l'HAD est recentrée autour des profils des patients les plus dépendants. Elle ne prend pas en charge les soins légers et couvre 23 modes de prise en charge. Le patient est pris en charge en HAD avec un mode de prise en charge principal et un autre dit associé ou secondaire. Le tableau 1.5 (FNEHAD, 2017) rapporte une comparaison entre 2015 et 2016 en termes de nombre de journée passée en HAD par mode de prise en charge principal.

Table 1. 5: Durée de séjour par mode de prise en charge en France en 2015 et 2016

Mode de prise en charge	Libellée	2015	2016
		Nombre de journées	Nombre de journées
1	Assistance respiratoire	124 618	120 591
2	Nutrition parentérale	115 877	116 832
3	Traitements intraveineux	271 966	295 196
4	Soins palliatifs	1 094 598	1 195 790
5	Chimiothérapie anticancéreuse	95 722	106 001
6	Nutrition entérale	317 303	323 600
7	Prise en charge de la douleur	106 647	122 160
8	Autres traitements	102 651	113 289
9	Pansements complexes et soins spécifiques	1 241 606	1 361 534
10	Post-traitement chirurgical	106 174	110 736
11	Rééducation orthopédique	33 824	33 104
12	Rééducation neurologique	53 826	50 232
13	Surveillance post-chimiothérapie anticancéreuse	171 001	180 585

[4] Etablissement d'Hébergement pour Personnes Agées Dépendantes

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

14	Soins de nursing lourds	473 408	444 589
15	Éducation du patient et/ou de son entourage	53 578	61 074
17	Surveillance de radiothérapie	3 666	4 536
18	Transfusion sanguine	595	703
19	Surveillance de grossesse à risque	120 041	107 138
20	Retour précoce à domicile après accouchement	2 704	0
21	Post-partum pathologique	69 605	71 531
22	Prise en charge du nouveau-né à risque	27 069	24 966
24	Surveillance d'aplasie	6578	6 952
29	Sortie précoce de chirurgie	0	1 954
Total		4 593 057	4 853 103

1.3.1.4 Structure de l'HAD

L' HAD est une structure complexe de par son organisation et les fonctions qu'elle assure. A l'encontre d'un hôpital conventionnel, l'HAD est un système décentralisé dont le rôle principal est la coordination de différentes activités de prise en charge du patient à son domicile. Elle fait intervenir plusieurs types d'acteurs. Ces acteurs peuvent être des personnels salariés de l'HAD ou des personnels libéraux. Dans ce qui suit on va définir brièvement le rôle de chacun des acteurs.

- Le médecin coordonnateur (MC):

C'est le référant médical de la structure. Il émet un avis concernant l'admission ou le refus de la prise en charge du patient en HAD ainsi que sa sortie. Une fois le patient pris en charge, le médecin coordonnateur assure le suivi de l'état du patient.

- Le médecin hospitalier :

Le médecin hospitalier est le médecin responsable du suivi de l'état du patient lorsqu'il est hospitalisé. Lors de la prise en charge du patient par l'HAD, il se doit de transmettre les informations nécessaires concernant le patient. Il collabore avec l'équipe médicale de l'HAD pour pouvoir établir le projet thérapeutique du patient.

- Le médecin traitant :

C'est le médecin de ville librement choisi par le patient. Il est le pivot central de l'activité de prise en charge. Aucune admission ne peut être faite sans son accord. Il participe aussi au suivi du patient.

- Infirmier coordinateur (IDEC[5]):

[5] Infirmer d'Etat Coordinateur

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

L'IDEC, appelé aussi infirmier responsable, est le coordinateur principal entre les médecins traitants, hospitaliers et coordonnateurs. Il assure le recueil de données nécessaires à l'entrée du patient en HAD ainsi que l'organisation au mieux du retour du patient à son domicile.

- Infirmier libéral (IDEL[6]) :

L'IDEL est le praticien exerçant à titre libéral. Il est désigné par l'HAD selon son secteur d'activité pour assurer la délivrance de soins selon le projet thérapeutique prédéfini.

L'HAD fait intervenir aussi une multitude de professionnels paramédicaux, psychosociaux, administratifs et logistiques.

La figure 1.8 (FNEHAD, 2017) présente quelques chiffres clés sur l'activité des intervenants majeurs en HAD en France durant l'année 2016.

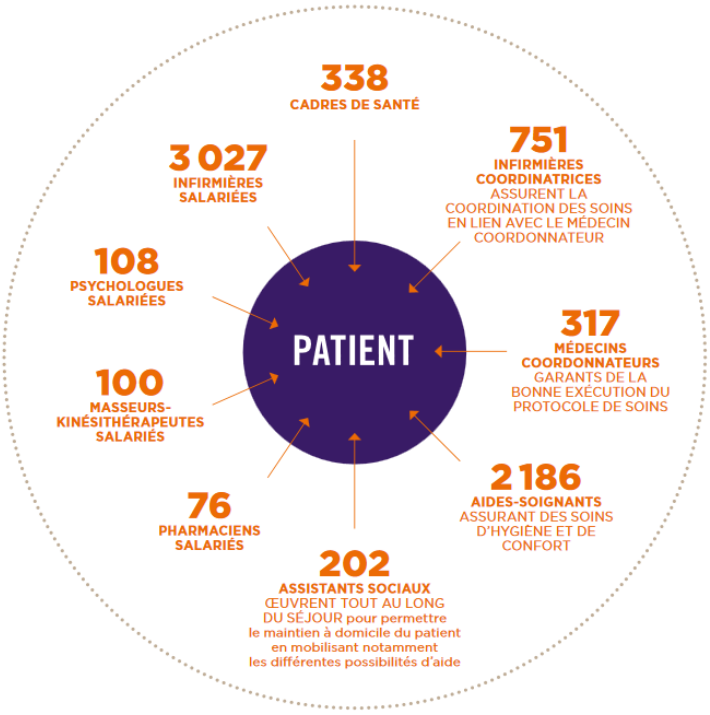


Figure 1. 8: Les intervenants en HAD

Notons que les chiffres présentés sur la figure ci-dessus ne représentent que les personnels salariés. Les personnels libéraux ne sont pas décomptés.

L'organisation de l'HAD peut changer d'une région à une autre et d'une structure à une autre. Dans ce qui suit on va présenter notre établissement partenaire « le centre hospitalier Soins et Santé ».

1.3.2. Soins et Santé

Le groupe Soins et Santé regroupe 6 structures :

- HAD : Hospitalisation à domicile
- EMSS : Equipe mobile de soins de support et palliatifs
- SSIAD : Service de soins infirmiers à domicile,
- ESAD : Equipe spécialisée Alzheimer à domicile,
- Aide à domicile,
- SIM-SANTE : Livraison du matériel médical.

[6] Infirmier d'Etat Libéral

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Dans notre projet PrHoDom (Protection des hospitalisations à domiciles) que l'on va détailler par la suite, on collabore avec la structure d'HAD de Soins et Santé.

1.3.2.1. Présentation de la structure

La structure d'Hospitalisation à Domicile de Lyon (HAD) Soins et Santé est la troisième plus grande HAD en France et a été créée en 1972. C'est un établissement hospitalier privé de type ESPIC (Etablissement de santé Privé d'Intérêt Collectif - ex PSPH) qui assure au domicile du malade un ensemble de soins coordonnés et importants en lien avec le médecin traitant. Son activité s'étend sur 3 départements, le Rhône, le nord Isère et l'Ain. Elle intervient dans les zones urbaines mais aussi rurales.

Notre équipe de recherche travaille avec Soins et Santé depuis 2007 sur l'organisation des soins (tournées des infirmiers de contrôle), sur la délivrance des médicaments (livraisons d'urgence), sur les choix de l'internalisation/ externalisation des métiers ou des services dans le cadre des financements régionaux (ARC2) ou nationaux (EN3S).

Afin d'assurer au mieux la prise en charge du patient à domicile, L'HAD doit assurer un certain nombre de fonctions à savoir la délivrance de soins via les visites infirmières, les livraisons des médicaments et des dispositifs médicaux, l'approvisionnement, la consultation médicale, la communication et l'aide à la personne. Dans ce qui suit, on va présenter les processus de deux activités critiques dans le fonctionnement de l'HAD : la fonction soins et la fonction livraison.

La technique de modélisation BPMN 2.0 (Business Process Model Notation) a été retenue pour la modélisation des processus et validée par nos collaborateurs de l'HAD Soins et Santé. C'est une notation graphique standardisée pour modéliser le savoir-faire d'une organisation à travers l'approche processus. Avec cette modélisation les différents acteurs sont bien définis et les différentes interactions décisionnelles, informationnelles et matérielles sont mises au clair.

1.3.2.2. La fonction de délivrance de Soins

La figure disponible sur le lien suivant (http://www.prhodom.disp-lab.fr/ProcessusDelivranceSoins.pdf) représente le processus de délivrance de soins. On voit clairement que c'est un processus complexe qui fait intervenir plusieurs acteurs. On a essayé de présenter tous les cas de figures possibles dans un seul processus. Le cas le plus classique est la délivrance des soins programmés par un IDEL aux domiciles des patients. Le processus se complexifie face à la réception des demandes en soins non prévus. Pendant la journée, Le cadre de santé (CDS) reçoit la demande via le standard et affecte le suivi du patient à l'IDEC ou à l'IDEL selon leurs disponibilités. S'il fait nuit, c'est l'IDE de nuit qui s'en chargera.

1.3.2.3. La fonction Livraison

La figure disponible sur le lien suivant (http://www.prhodom.disp-lab.fr/ProcessusLivraisonMedicaments.pdf) retrace les différents cas de figures que l'on peut rencontrer dans un processus de livraison de médicaments. On trouve des livraisons programmées et d'autres urgentes. Pour les livraisons programmées, le préparateur référent prépare la commande pour que le livreur se charge de sa livraison jusqu'au domicile du patient. Pour les livraisons non programmées (nouvelles ordonnances), le standard reçoit la demande et la relaye auprès du pharmacien si la PUI est opérationnelle. Le pharmacien se charge ainsi de l'analyse de la prescription et désigne un préparateur référent pour préparer la commande pour qu'elle soit livrée par la suite par le livreur. Dans le cas où la PUI n'est pas opérationnelle, si un IDEC ou un IDE de nuit est joignable (selon les horaires de travail : jour ou nuit), il analyse l'ordonnance. Puis, avec l'accord du médecin coordonnateur, il prépare la commande et informe le standard pour appeler un prestataire de livraison pour la livraison. On peut tomber

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

sur le cas où les médicaments ne sont pas disponibles dans l'armoire d'urgence, l'IDE de nuit ou d'astreinte appelle alors le médecin coordonnateur pour déplacer l'astreinte et informer la pharmacie de garde pour pouvoir livrer la commande à partir de la pharmacie de garde via un taxi livreur.

1.4. Projet PrHoDom : Problématiques et objectifs

PrHoDom pour protection d'hospitalisation à domicile qui a la même consonance que prodrome (signe avant-coureur d'une maladie, en médecine), est un projet financé par la région Auvergne-Rhône-Alpes avec une allocation de recherche. Le projet se déroule en partenariat avec l'HAD Soins et Santé.

Notre propos est de modéliser, d'évaluer, de dimensionner et d'opérationnaliser le plan blanc d'un établissement d'HAD dans le cas d'un sinistre naturel tel une crue majeure ou un épisode neigeux d'ampleur exceptionnelle, ou d'un sinistre humain tel une contamination chimique industrielle ou biologique sur le territoire de l'établissement d'une HAD, épisode qui peut s'installer dans le temps (de quelques jours à plusieurs semaines). Une crue majeure ou une contamination chimique industrielle sur un bassin de santé, vont compromettre la délivrance des soins aux domiciles des patients et des médicaments qui les accompagnent, ces soins à domicile sont très souvent réalisés par une myriade d'infirmiers libéraux et concernent des personnes âgées pour presque la moitié des patients pris en charge. Certains soins peuvent se voir reprogrammés, mais la plupart d'entre eux doivent être réalisés soit suite à une réorganisation de la logistique des soins (le personnel infirmier salarié assurant le contrôle des soins peut se déplacer au domicile des patients à l'aide de véhicules spéciaux par exemple), soit suite à une hospitalisation en courts séjours (rapatriement vers un centre hospitalier sécurisé ou un lieu d'hébergement éphémère, par exemple une école). L'application du plan blanc va donc nécessiter la mobilisation en nombre nécessaire et suffisant de ressources humaines (médecins, soignants, livreurs...) et matérielles (médicaments, lits médicalisés, véhicules spéciaux, groupes électrogènes...) suivant différentes stratégies associées au handicap et entourage des patients. L'objectif de ce travail de recherche, est de formaliser le ou les plans blancs d'un établissement d'HAD puis d'évaluer, d'organiser et planifier dans le temps les ressources humaines et matérielles nécessaires à son application, pour l'évacuation ou l'admission des patients hospitalisés ou à hospitaliser qui sont majoritairement dépendants. Cette investigation nécessite la modélisation du plan blanc à partir de la spécification détaillée des activités et des ressources humaines, matérielles, informationnelles ..., pour chaque processus métier existant et chaque processus de gestion des risques à mettre en œuvre dans le cadre du plan blanc. Une optimisation de l'usage des ressources dans l'espace et dans le temps pourra être alors recherchée en respectant la qualité des soins aux patients, des conditions de travail respectueuses des capacités des personnels et une efficience des ressources mobilisées per, pré et post catastrophe. A cette fin, différents scénarios de sinistres naturels ou humains seront étudiés et donneront lieu pour chacun d'eux à la proposition des dimensionnements, des organisations et des pratiques adéquates en termes d'emploi de ressources. Un souci de généricité sera de plus recherché, afin de généraliser le plan blanc à une variété de sinistres.

En d'autres termes, l'objectif du projet PrHoDoM est de développer des outils d'aide à la décision pour supporter les phases critiques du plan blanc à savoir la préparation et la réponse. Dans notre projet nous investiguons 3 grandes problématiques :

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

- La problématique d'accès aux domiciles : Elle concerne principalement les situations de crises de type : crues, épisodes neigeux, séismes, tornades, etc., où l'accès au domicile des patients est difficile ou impossible.
- La problématique d'accès aux soins : Elle concerne principalement les situations de crises de type : attaques terroristes, épidémies, pollutions. Elles posent une problématique d'accès aux soins, c.-à-d. de prise en charge de patients, d'administration de vaccins, d'antitoxines, d'antibiotiques, etc.
- La problématique d'accès à l'information (Guinet, 2017): Elle concerne la cybercriminalité et le cyber-terrorisme. Cette problématique fait partie du projet mais elle n'est pas traitée dans le cadre de cette thèse.

1.5. Structure de la thèse

Après avoir présenté les plans de gestion de crise et le terrain d'étude (les HADs), les investigations sont organisées en deux niveaux : une étude stratégique suivie par une étude opérationnelle.

❖ Etude stratégique :

Dans cette partie nous nous focalisons sur la phase de préparation dans le plan de gestion de crise. Nous développons une approche globale d'analyse de la vulnérabilité de l'organisation de l'HAD (acteur + flux).

L'étude sera organisée comme suit :

- Recherche bibliographique : revue de littérature sur les approches d'analyse de vulnérabilité, résilience et robustesse.

- Evaluation : proposition d'un nouveau modèle d'évaluation de la vulnérabilité à travers la mesure de la résilience et la robustesse (VAM : Vulnerability Assessment Model) face à des scénarios de crises.

- Mitigation : une étude de mitigation qui vise à proposer des contremesures de mitigation de la vulnérabilité de la structure est menée. Des outils ont été proposés pour la sélection des contremesures.

❖ Etude tactique-opérationnelle :

Les outils développés dans cette partie sont dédiés à la phase de réponse suite à une crise. Nous allons traiter deux types de crise : des crises d'origine naturelle et d'origine humaine.

- Recherche bibliographique : revue de littérature sur les modèles d'aide à la décision pour les plans de gestion de crise.

- Crise d'origine humaine : dans cette partie, nous traitons un scénario de crise d'origine humaine de type NRBC, à savoir l'intoxication de masse dans les circuits de distribution de repas susceptible d'atteindre une population plus large que les patients pris en charge par l'HAD. Il s'agit d'une problématique d'accès aux soins.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

- Crise d'origine naturelle : dans cette section, nous allons traiter la problématique d'accès aux domiciles causée par les crises naturelles comme les crues, les tornades, les épisodes neigeux de grande ampleur, etc.

1.6. Contributions

Dans cette section nous allons souligner les contributions majeures par partie.

❖ Etat des lieux et état de l'art :

Nous avons orienté notre recherche bibliographique sur trois axes:

- Présentation et comparaison des systèmes de gestion de crise dans les pays francophones (France, Belgique, Luxembourg, Maroc et Québec). L'analyse a donné lieu à une classification des plans (générique et spécifiques). Cette partie a été publiée dans la conférence internationale francophone GISEH 2016.

- Vu le manque de travaux traitant la chaîne logistique de l'HAD, nous avons étendu notre recherche bibliographique aux chaînes logistiques en général. Un état de l'art des outils d'évaluation et de gestion de la résilience, la robustesse et la vulnérabilité des chaines logistiques a été élaboré. Une classification a été faite selon l'objectif principal des articles étudiés (conceptualisation, facteurs clés, mesures, mesures et optimisation).

- La réponse à la crise en HAD fait appel à plusieurs opérations de la logistique humanitaire. Un état de l'art des modèles et des approches de réponse à des situations de crise en logistique humanitaire a été élaboré (localisation, évacuation, distribution des secours et gestion des stocks).

A l'issue de la revue de littérature, nous avons commencé l'étude de la problématique de préparation et de réponse à des menaces d'origine humaine et/ou naturelle au sein de l'HAD.

❖ Analyse stratégique

Cette partie est dédiée à la phase de préparation du plan de gestion crise qui vise à développer des outils d'aide à la décision et des indicateurs pour faciliter la bonne préparation de la structure à différents scénarios de crises. L'étude du phénomène de propagation d'un évènement dans un réseau où les nœuds ont des comportements complexes. Il s'agit d'une problématique de la théorie de réseaux. L'approche apporte les contributions suivantes :

- Identification des acteurs et des flux critiques dans les HADs : des visites de terrain des différentes fonctions de l'HAD et des réunions avec plusieurs acteurs ont été faites afin d'identifier les acteurs et les flux critiques.

- Développement d'un nouveau modèle d'évaluation de la vulnérabilité statique et dynamique des acteurs et des flux des HADs face à des scénarios de crises : le modèle est basé sur l'utilisation des graphes et des matrices pour l'élaboration des indicateurs de suivi et de mesure de la vulnérabilité. La manipulation des matrices apporte une certaine souplesse et une facilité de calcul. Le modèle combine à la fois des mesures qualitatives et quantitatives que l'on a pu rapporter sur la même échelle en définissant des règles de jugement.

- Proposition d'une méthode de classification des acteurs HADs : en utilisant le modèle de calcul de vulnérabilité, on a proposé une méthode de classification des acteurs basée sur la manipulation des matrices. Il s'agit de quatre classes d'acteurs.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

- Proposition des contremesures par classes d'acteurs.
- Proposition des outils de sélection des contremesures afin de mitiger la vulnérabilité globale des HADs : Selon la classe d'acteur, on a proposé une méthode de sélection des contremesures. En effet, un algorithme simplifié a été proposé pour l'évaluation de la proactivité d'une contremesure en vue de sa sélection pour la classe des influents. Concernant la classe des dépendants un modèle d'optimisation original baptisé OptiVam a été élaboré qui vise à sélectionner les contremesures en calculant la vulnérabilité dynamique cumulé de chaque acteur.
- Le modèle VAM (Vulnerability Assessment Model) a fait l'objet des travaux d'une première publication à la conférence internationale IFAC 2017.
- La partie portant sur la proactivité et la mitigation a été soumise à la revue internationale IJPR.

❖ Analyse opérationnelle

Cette partie est dédiée à la phase de réponse. On vise donc à développer des outils d'aide à la décision que la cellule de crise de l'HAD peut utiliser en temps de crise.

o Menaces d'origine humaine : problématique d'accès aux soins
- Proposition d'un outil de réponse face à une menace biologique d'origine humaine (intoxication massive).
- Intégration de l'évolution de l'état du patient dans le modèle d'optimisation à l'aide d'une version étendue du modèle SIR (Susceptible- Infected- Removed).
- Montrer l'intérêt de collaboration entre les HADs et les hôpitaux conventionnels face à une telle crise, c'est-à-dire l'intérêt d'un plan blanc élargi.
- Les travaux proposés dans cette partie seront présentés à la conférence internationale ILS 2018.

o Menaces d'origine naturelle : problématique d'accès aux domiciles
- Proposition d'une méthode d'évaluation de l'état des patients vis-à-vis de l'évolution de la crise et de leur état intrinsèque.
- Proposition d'un modèle de régulation entre l'évacuation et le maintien à domicile des patients face à des crises naturelles.
- Le modèle d'optimisation regroupe à la fois :
  - Un modèle de partitionnement dynamique qui vise à définir des groupes de patients (clustering) d'une période à une autre,
  - Un modèle de localisation visant à sélectionner les lieux de rassemblement à ouvrir (abris) parmi une liste de sites candidats.
  - Un modèle de dimensionnement et d'affectation des ressources en prenant en compte des coûts fixes et des coûts variables.
- Les premiers travaux élaborés dans cette partie ont été présentée à la conférence IFAC 2017. Une deuxième partie sera présentée à la conférence internationale INCOM 2018.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

CHAPITRE 2 :

ANALYSE STRATEGIQUE : ETUDE DE LA PHASE DE PREPARATION DU PLAN DE GESTION DE CRISE

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Préambule

Un plan de gestion de crise est un processus continu qui nécessite un suivi permanent, des évaluations, et des mises à jour. Comme nous l'avons présenté en introduction, il comporte trois grandes phases : phase de préparation, phase de réponse et phase de rétablissement.

Dans cette partie nous nous focalisons sur la phase de préparation. Cette dernière est une phase primordiale qui confère une certaine solidité au plan et qui nécessite une étude à part entière. Le but de cette étape est de bien se préparer à l'avance et de prendre des décisions stratégiques (collaboration, signer des contrats avec des prestataires, des exercices de préparation, etc.). D'après les retours d'expérience que l'on a eues de la part de notre partenaire, cette phase est coûteuse et risquée.

Exemple : Achat d'un matériel que l'on ne va jamais utiliser comme un bon nombre de groupe électrogène par exemple. Serait-il mieux de signer un contrat avec un loueur qui s'engage à nous fournir le matériel en cas de besoins ?

C'est à ce genre de question que les décideurs doivent faire face durant la phase de préparation.

L'objectif de cette partie est de mener une analyse stratégique de la phase de préparation des plans de gestion de crise de l'HAD. Le but est de fournir des outils d'aide à la décision efficaces et simples à comprendre par les praticiens et les gestionnaires du secteur d'HAD.

Nous commençons donc notre étude par une revue de littérature sur les travaux qui ont été menés en rapport avec notre sujet de recherche.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

2.1. Etat de l'art

Nous traitons principalement la problématique de la vulnérabilité, la résilience et la robustesse de la supply chain des HAD face à des crises sanitaires. Au vu des rares travaux portant sur l'HAD et dans le but d'avoir une idée plus consolidée et plus riche, nous avons élargi notre revue de littérature pour inclure la résilience, la robustesse et la vulnérabilité des supply chains en général.

Nous allons passer en revue les travaux les plus importants qui ont porté sur les trois concepts : résilience, robustesse et vulnérabilité, dans le cadre des supply chains. Chaque concept sera traité en détails comme le montre la figure 2.1.1.

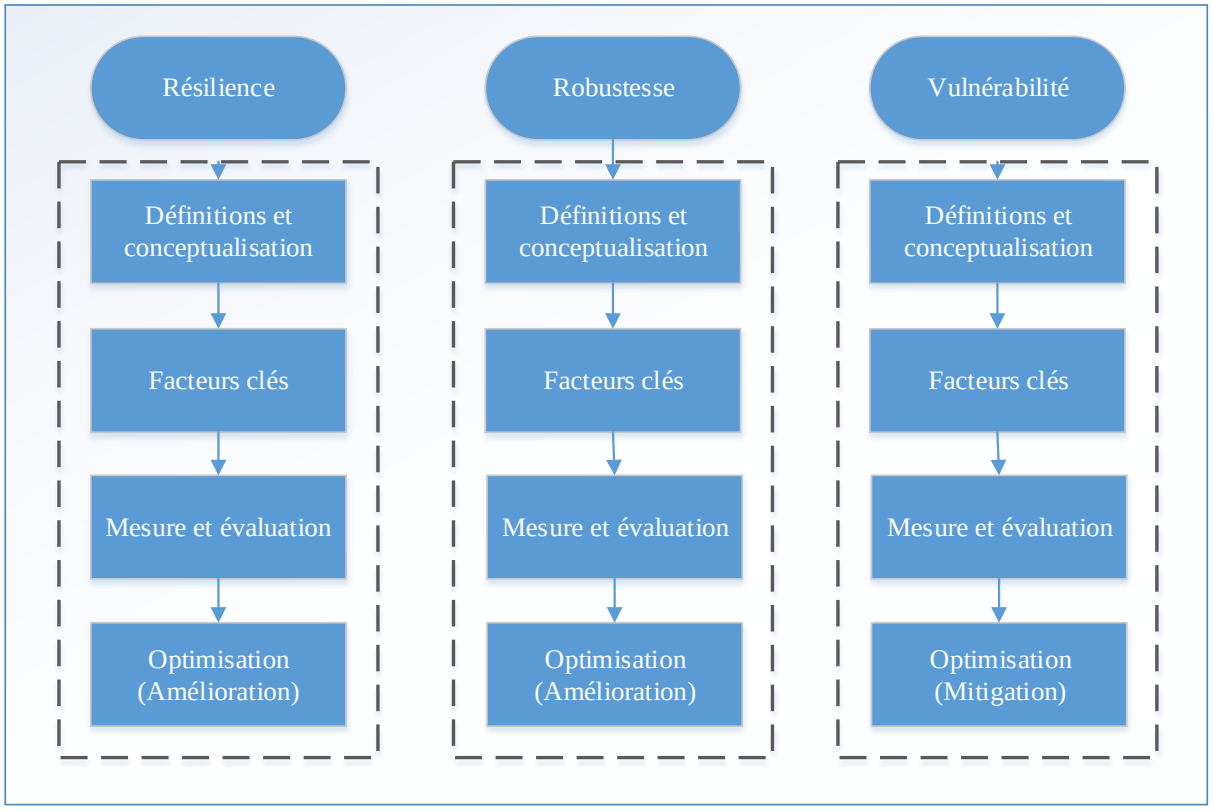


Figure 2.1. 1: Organisation de la bibliographie relevant de la résilience, la robustesse et la vulnérabilité des chaines logistiques

Après avoir présenté les travaux relevant des supply chains globales, on fera un focus pour souligner les rares travaux qui ont porté sur l'HAD.

Dans notre recherche bibliographique nous avons utilisé les bases de données suivantes : Web of Science, Science Direct, Springer, Taylor & Francis. Les articles étudiés sont publiés essentiellement entre 2008 et 2017, mais d'autres articles que nous avons jugés importants ont été analysés aussi.

Nous avons utilisé des croisements entre les deux familles de mot clés (en Anglais) suivants :

- Famille 1: supply chain, resilience, robustness, et vulnerability.
- Famille 2: conceptualisation, measurement, assessment, improvement, optimisation et mitigation.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Pour la partie concernant les supply chain des HADs nous avons ajouté le mot clé « home health care ».

Dans notre étude, nous mettons en exergue l'objectif principal du travail de recherche relevant de chaque article, ainsi que les outils et les méthodes utilisés. Les tableaux 2.1.1, 2.1.2 et 2.1.3 résument les travaux analysés ci-après. Les tableaux présentent les auteurs, l'objectif principal du travail de recherche, et les méthodes et les approches utilisées.

Dans ce qui suit nous allons passer en revue, les articles relevant de chaque concept : résilience, robustesse et vulnérabilité.

2.1.1. Résilience

2.1.1.1. Définition et conceptualisation

Le concept de résilience est à l'origine lié à la physique des matériaux. On dit qu'un matériau est résilient s'il a la capacité d'absorber de l'énergie lorsqu'il est soumis à un choc. Ce concept a été rapidement adopté dans de nombreux domaines, notamment l'ingénierie, la science de l'environnement et la gestion (Pettit, Croxton, et Fiksel 2013).

La résilience des chaînes logistiques a suscité l'intérêt de nombreux chercheurs au cours de la dernière décennie. En effet, plusieurs définitions liées au concept de résilience ont été proposées mais le consensus n'a pas encore été atteint. Certains auteurs (Kamissoko, 2013; van Kessel, 2013) ont considéré qu'un système est résilient tant qu'il peut rebondir après une perturbation et revenir à son état stable. Pour (Cabanyes Truffino, 2010), la résilience reflète une confluence dynamique de facteurs qui favorise l'adaptation malgré l'exposition aux perturbations. Dans le contexte de chaîne logistique, Laville (2006) définit la résilience comme la capacité de revenir à un état stable après avoir été perturbé. Comfort et al. (1999) ont estimé que la résilience reposait sur la capacité d'adapter les ressources et les compétences existantes à de nouvelles situations. En résumé, la résilience fait référence à certaines capacités d'adaptation des ressources et des compétences existantes pour retrouver une situation stable après une perturbation.

La littérature traitant de la résilience de la chaîne logistique est assez riche. Différentes approches et méthodes ont été utilisées. Par exemple, Fiksel (2003) a proposé un protocole pour définir la résilience dans le contexte des chaînes logistique durables. Dans (Ponomarov et Holcomb, 2009), les auteurs ont effectué une revue de littérature approfondie pour définir une perspective intégrée de la résilience. Dans (Jüttner et Maklan, 2011; Kim, Chen, et Linderman, 2015; Mensah et Merkuryev, 2014; Tukamuhabwa et al. 2015), les auteurs ont tenté de conceptualiser la résilience de la chaîne logistique à travers une revue systématique de la littérature (Pettit et al., 2013).

2.1.1.2. Facteurs clés

La résilience de la chaîne logistique repose sur de nombreux facteurs et attributs, dont l'étude a suscité l'intérêt de certains auteurs, notamment: (Ambulkar, Blackhurst et Grawe, 2015; Demmer, Vickery, et Calantone, 2011; Leat et Revoredo-Giha, 2013; Nikookar et al. 2014; Pettit et al., 2013) qui ont proposé une série d'attributs et de facteurs pour construire une stratégie résiliente pour les chaînes logistiques, en utilisant des méthodes SWOT, une revue de la littérature et des enquêtes.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

2.1.1.3. Mesure et évaluation

En ce qui concerne l'évaluation de la résilience des chaînes logistiques, Soni, Jain, et Kumar (2014) ont proposé certains facteurs et mesuré leur impact sur la résilience de la chaîne logistique en utilisant la théorie des graphes. Pettit et al. (2013) ont mis au point une méthode d'évaluation de la résilience de la chaîne logistique fondée sur les résultats recueillis lors des enquêtes et de l'analyse documentaire. Munoz et Dunbar (2015) ont utilisé la simulation pour élaborer un indicateur agrégé afin de mesurer la résilience de la chaîne logistique. Chowdhury et Quaddus (2017) ont utilisé la théorie de la capacité dynamique pour développer un outil permettant de mesurer la résilience de la chaîne logistique.

2.1.1.4. Optimisation

Concernant l'amélioration de la résilience, Klibi et Martel (2012) ont utilisé la programmation stochastique pour développer un réseau de transport et de localisation résilient sous incertitude. Certains auteurs (Cardoso et al., 2015; Gong et al., 2014; Kristianto, Helo, et Hao, 2014; Sawik, 2013) ont abordé le problème de la planification dans le contexte de la chaîne logistique résiliente à l'aide de la modélisation mathématique. Abolghasemi et al. (2015) ont utilisé la méthode SCOR, AMDE et les réseaux bayésiens afin de gérer les risques dans un contexte d'amélioration de la résilience des chaînes logistiques. Carvalho et al. (2012) ont combiné le modèle SCOR avec la simulation pour étudier l'amélioration de la résilience de la chaîne logistique selon différents scénarios. Ivanov et al. (2016) ont étudié la problématique de la réorganisation liée à la perturbation dans la chaîne logistique avec des mesures proactives et de rétablissement. Dans un autre travail, les auteurs ont fait une revue de la littérature sur la conception de la chaîne logistique en tenant compte des perturbations et des politiques de rétablissement (Ivanov et al., 2017).

Table 2.1. 1: Articles portant sur la résilience des chaines logistiques

Auteur(s)	Objectifs principaux	Approche/méthode
(Soni et al., 2014)	Identifier les facteurs de résilience et mesurer leur impact dans la chaine logistique afin de développer un indicateur pour mesurer la résilience de la chaine logistique.	Théorie des graphes
(Ambulkar et al., 2015; Demmer et al., 2011; Leat et Revoredo-Giha, 2013; Nikookar et al., 2014; Pettit, Fiksel, et Croxton, 2010)	Identifier et analyser les attributs et les facteurs pour la conception d'une stratégie de résilience de la chaîne logistique.	La méthode SWOT, Revue de littérature, enquêtes
(Pettit et al. 2013)	Développer une méthode pour évaluer la résilience d'une chaine logistique	Enquête, Revue de littérature

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

(Kim et al., 2015; Mensah et Merkuryev, 2014; Tukamuhabwa et al., 2015; Wieland et Wallenburg, 2013)	Conceptualiser la résilience de la chaine logistique	Revue de littérature, Théorie des graphes
(Spiegler, Naim, and Wikner 2012)	Analyser le lien entre la résilience et la robustesse de la chaine logistique et développer des métriques pour mesurer la résilience.	Modélisation des systèmes dynamiques (linéaire et non linéaires), simulation
Fiksel (2003)	Définir le concept de la résilience dans le cadre d'une chaine logistique durable	Revue de littérature
(Cardoso et al., 2015; Gong et al., 2014; Kristianto, Helo, et Hao, 2014; Sawik, 2013)	Traiter un problème de planification dans le cadre d'une chaîne logistique résiliente	Modélisation mathématique
(Carvalho et al., 2012; Colicchia, Dallari et Melacini, 2010)	Investir l'amélioration de la résilience de la chaîne logistique suivant plusieurs scénarios	Simulation, Modèle SCOR
(Munoz et Dunbar 2015)	Développer un indicateur agrégé de mesure de de la résilience.	Simulation
(Abolghasemi et al. 2015)	Gérer le risque et améliorer la résilience de la chaîne logistique	Modèle SCOR, AMDE, Réseau Bayésien
(Elleuch et al. 2016)	Analyser le lien entre la vulnérabilité, le risque, la résilience et l'analyse des performances des chaînes logistiques	Revue de littérature
(Klibi et Martel 2012)	Modéliser un réseau de supply chain de localisation et de transport résilient sous incertitude.	Modélisation mathématique stochastique
(Zsidisin et Wagner 2010)	Accentuer le rôle modérateur de la résilience des chaînes logistiques pour faire face à des perturbations en se basant sur une étude empirique dans les firmes américaines et allemandes	Enquête et études empiriques
(Ponomarov et Holcomb, 2009)	Présenter une perspective intégrée sur la résilience à travers une revue approfondie de la littérature.	Revue de littérature.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

(Wieland et Marcus Wallenburg, 2013)	Etude des effets des compétences relationnelles sur la résilience de la chaîne logistique.	Enquête, Modélisation par des équations structurelles
(Chowdhury et Quaddus, 2017)	Utilisation de la théorie des capabilités dynamiques pour développer un outil permettant de mesurer la résilience de la chaîne logistique.	Théorie de la capabilité dynamique
(Ivanov et al. 2016, 2017)	Etude de la problématique de la re-planification liée à la perturbation dans la chaîne logistique	Programmation linéaire

2.1.2. Robustesse

2.1.2.1. Définition et conceptualisation

Pareillement à la résilience, plusieurs définitions ont été proposées pour le concept de la robustesse. La robustesse a été communément utilisée comme le fait de pouvoir résister à l'imprécision (Salido, Barber, et Ingolotti, 2012). Weisstein (2010) définit la robustesse comme la mesure dans laquelle un système ou un composant peut fonctionner correctement en présence des entrées non valides. Snelder, van Zuylen, et Immers (2012) considère que la robustesse est la mesure dans laquelle, dans des circonstances prédéfinies, un réseau est capable de maintenir la fonction pour laquelle il a été conçu. On peut donc dire d'une manière générale que la robustesse est une propriété du système qui lui confère une aptitude à résister aux perturbations et maintenir ses fonctions nominales intactes.

2.1.2.2. Facteurs clés de la robustesse

Dans (Klibi et Martel, 2012), les auteurs ont passé en revue les modèles utilisés pour concevoir une chaîne logistique robuste. Ils ont également identifié un ensemble de facteurs susceptibles de perturber les réseaux de la chaîne logistique. Durach, Wieland et Machuca (2015) ont défini un ensemble d'antécédents et de dimensions pour la robustesse de la chaîne logistique sur la base d'une revue de la littérature. Komoto et al. (2011) ont utilisé une optimisation multi-objectif et une simulation de cycle de vie pour proposer une méthode d'analyse de la robustesse des fabricants d'Equipements d'Origine. Zhang et Wang (2011) ont fait une étude empirique basée sur l'analyse de données pour démontrer les associations entre la technologie de l'information, la performance de la chaîne logistique et sa robustesse.

2.1.2.3. Mesure de la robustesse

Afin d'évaluer la robustesse des chaînes logistiques, Dong (2006) a proposé une méthode basée sur une approche systémique pour synthétiser un indicateur de robustesse. La performance de son approche a été démontrée à travers un réseau hypothétique de chaîne logistique. Dans le même contexte d'évaluation de la robustesse, Yang, Wen et Wang (2011) ont utilisé une méthode hybride qui imbrique la méthode Taguchi et des outils de prise de décision multicritères pour évaluer la robustesse des chaînes logistiques. Le rôle des stratégies de partage de l'information a été souligné. Wu et Blackhurst (2009) ont utilisé la programmation mathématique pour mesurer la performance et la robustesse de la chaîne logistique.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

2.1.2.4. Optimisation de la robustesse

Concernant l'aspect d'optimisation, Tang (2006) a défini des stratégies robustes pour la conception des chaînes logistique afin de mieux gérer les situations de crise. Baghalian, Rezapour et Farahani (2013) ont utilisé la programmation stochastique pour développer un modèle permettant de concevoir des chaînes logistique multi-périodes et multi-produits dans le but d'améliorer leur robustesse face à différents scénarios de perturbations.

Table 2.1. 2: Articles portant sur la robustesse des chaines logistiques

Auteur(s)	Objectifs principaux	Approche /Méthode
(Durach et al. 2015)	Identifier les antécédents et les dimensions majeurs de la robustesse de la chaîne logistique.	Revue de littérature
(Rasmussen et al. 2012)	Créer un modèle résilient et robuste de la chaine logistique en se basant sur deux études de cas : Volvo Construction Equipment et Kapsch.	Enquête et études de cas
(Klibi et Martel 2012)	-Analyser et critiquer les modèles de conception des réseaux de chaînes logistiques robustes. -Identifier les facteurs environnementaux et les évènements perturbateurs qui pourraient causer des menaces aux réseaux de chaînes logistiques.	Revue de littérature
(Baghalian et al., 2013)	Développer un modèle stochastique pour la conception des chaînes logistiques multi périodes, multi produits, robustes faces à des scénarios de perturbations.	Modélisation mathématique stochastique
(Tang 2006)	Définir des stratégies robustes pour la conception des chaines logistiques afin de mieux gérer les situations de crises.	Enquête et Revue de littérature
(Wu et Blackhurst, 2009)	Proposition d'une mesure de la performance et de la robustesse de la chaîne logistique pondérée sur la base de la performance et l'efficacité du réseau.	Programmation mathématique non-linéaire
(Zhang et Wang, 2011)	Investigation empirique des associations entre la technologie de l'information, la robustesse et la performance de la chaîne logistique.	Etude empirique, Questionnaire, Analyse de données
(Komoto et al., 2011)	Analyser la robustesse de la chaîne logistique pour les OEM (fabricants d'équipement d'origine) dans une perspective de cycle de vie en utilisant la simulation de cycle de vie des produits.	Optimisation multi-objectif, simulation de cycle de vie de produits

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

(Yang et al., 2011)	Évaluation de la robustesse des stratégies de partage de l'information sur la chaîne logistique.	Taguchi hybride, smart, topsis, l'analyse relationnelle grise (GRA).
(Dong, 2006)	Développement d'un indicateur de robustesse du réseau de la chaîne logistique basé sur un réseau de chaîne logistique hypothétique utilisé pour démontrer l'approche proposée.	Approche systémique

2.1.3. Vulnérabilité

2.1.3.1. Définition et conceptualisation

Contrairement à la résilience et la robustesse, la vulnérabilité a une mauvaise connotation. (Petit, 2009) le définit comme «le potentiel d'un système à être affecté par des risques internes et / ou externes.». Selon Kamissoko, Péres et Zaraté (2013) la vulnérabilité est l'incapacité d'un composant du système à résister à l'événement d'un danger et de récupérer efficacement sa fonction nominale pendant une période de temps donnée. Elleuch et al. (2016) ont défini la vulnérabilité comme une variable exogène qui détermine le risque par l'intensité de l'impact généré ou causé.

2.1.3.2. Facteurs clés de la vulnérabilité

Peck (2005), Wagner et Bode (2006) ont défini et analysé un ensemble de facteurs de la vulnérabilité de la chaîne logistique à l'aide d'enquêtes et d'analyses bibliographiques. Wilson (2007) a utilisé la simulation des systèmes dynamiques pour analyser l'impact du risque de transport sur la vulnérabilité de la chaîne logistique. Wu et al. (2007) ont utilisé les Réseaux de Petri pour analyser la vulnérabilité des chaînes logistique causée par la propagation des interruptions sur les délais de livraison. Berle, Asbjørnslett, et Rice (2011) ont utilisé une analyse formelle de la sécurité pour analyser la vulnérabilité des chaînes logistiques maritimes. Klibi et Martel (2012) ont proposé une approche pour modéliser les risques causés par les perturbations de la chaîne logistique en prenant en compte les sources de vulnérabilité à l'aide d'une simulation de Monte Carlo.

2.1.3.3. Mesure de la vulnérabilité

Faisal, Banwet et Shankar (2007) ont modélisé les risques et ont mesuré la vulnérabilité sur les supply chains en utilisant la théorie des graphes. Bogataj et Bogataj (2007) ont utilisé la modélisation mathématique pour évaluer la vulnérabilité afin de maximiser la valeur actualisée nette (VAN) des revenus. Neureuther et Kenyon (2009) ont utilisé la théorie de la fiabilité pour développer une méthode permettant de synthétiser un indicateur de risque et de vulnérabilité afin d'améliorer la compétitivité des chaînes logistiques. Wagner et Neshat (2012) ont développé une méthode pour calculer un indicateur permettant d'inférer la vulnérabilité de la chaîne logistique et de comparer différents types d'entreprises, en utilisant la théorie des graphes. Hennet et Mercantini (2010) ont proposé une série d'indicateurs pour mesurer la vulnérabilité de la chaîne logistique en utilisant la méthode ARIMA. Chen and Gong (2013) ont intégré le coût de la vulnérabilité parmi d'autres coûts afin d'évaluer la performance de la chaîne logistique en utilisant l'analyse numérique.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

2.1.3.4. Mitigation de la vulnérabilité

Certains travaux traitaient de mitigation de la vulnérabilité. Faisal, Banwet et Shankar (2006) ont identifié et modélisé les facteurs de vulnérabilité dans les chaînes logistiques et proposé quelques recommandations d'atténuation en utilisant la théorie des graphes. Stecke et Kumar (2009) ont défini un ensemble de facteurs qui favorisent la vulnérabilité et proposé des stratégies de mitigation basées sur l'analyse de différentes données historiques et des études de catastrophes.

Notons que nous pouvons trouver quelques travaux où les concepts (résilience, robustesse et vulnérabilité) ont été abordés ensemble. Par exemple, Vlajic, van der Vorst et Haijemas (2012) ont utilisé la simulation par événements discrets afin d'évaluer la vulnérabilité de la chaîne logistique dans le but de concevoir une chaîne logistique robuste. Elleuch et al. (2016) ont fait une revue de la littérature pour analyser le lien entre la vulnérabilité, la résilience et la performance des chaînes logistiques. Spiegler et al. (2012) ont analysé la relation entre la résilience et la robustesse dans les chaînes logistiques et ont développé des métriques pour évaluer la résilience basée sur la simulation et la modélisation dynamique du système. Wieland et Wallenburg (2013) ont utilisé la modélisation par équation structurelle pour montrer que la robustesse est la dimension proactive de la résilience, contrairement à la dimension réactive qui est représentée par l'agilité.

Table 2.1. 3: Articles portant sur la vulnérabilité des chaines logistiques

Auteur(s)	Objectifs principaux	Approche/Méthode
Wagner et Bode (2006), Peck(2005)	Définir et analyser les facteurs de la vulnérabilité de la chaîne logistique	Enquête/Revue de littérature
Peck (2006)	Analyser la relation entre la vulnérabilité de la chaîne logistique et la notion du risque.	Revue de littérature
Wagner et Neshat (2012)	Calculer un indicateur qui renseigne sur la vulnérabilité des chaînes logistiques et comparer différentes catégories de firmes.	Théorie des graphes
Faisal et al. (2006)	Identifier et modéliser les facteurs de vulnérabilité pour mitiger les risques dans la chaîne logistique	Théorie des graphes
Bogataj et al. (2007)	Evaluer la vulnérabilité des supply chain afin de maximiser les valeurs actualisées nets (VAN) des revenus.	Modélisation mathématique
Vlajic et al. (2011)	Développer un nouveau cadre intégré pour la modélisation des sources de la vulnérabilité afin de reconcevoir des supply chain robuste. Un test a été effectué sur l'industrie des viandes.	Etude de cas, analyse de performance
Vlajic et al. (2012)	Evaluer la vulnérabilité des supply chain dans le but de concevoir un modèle de supply chain plus robuste	Simulation à évènement discret, méthode VULA
Hennet et al. (2010)	Développer des indicateurs de mesure de vulnérabilité de la supply chain	La méthode ARIMA
Chen et al. (2013)	Développer une approche d'évaluation de performance d'un réseau de supply chain en prenant en compte plusieurs coûts dont le coût de vulnérabilité.	Analyse numérique

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Neureuther et al. (2009)	Développer une méthode pour générer un indicateur d'évaluation de risque et de vulnérabilité pour améliorer la compétitivité de la supply chain.	Analyse numérique, Théorie de la fiabilité
Berle et al. (2011)	Analyser la vulnérabilité des supply chain maritimes en utilisant l'analyse formelle de la sécurité	Analyse formelle de la sécurité
Wilson (2007)	Analyser l'impact des risques de transport dans la vulnérabilité des supply chain.	Simulation des systèmes dynamiques
Wu et al. (2007)	Développer une méthodologie d'analyse des perturbations dans les supply chains	Réseau de Petri
Klibi et al (2012)	Développer une approche de modélisation des risques de perturbations de la supply chaine en tenant compte des sources de vulnérabilité.	Simulation Monte Carlo
Melnyk et al. (2009)	Analyser les perturbations dans les supply chains.	Simulation à évènements discrets
Elleuch et al. (2016)	Analyser le lien entre la vulnérabilité, le risque, la résilience et l'analyse des performances des supply chains.	Revue de littérature
Stecke et Kumar (2009)	Définitions des sources de perturbations de la chaîne logistique et les facteurs qui favorisent la vulnérabilité.	Analyse de données

2.1.4. Discussions

Au vu des travaux analysés ci-dessus, on peut constater que la conceptualisation, l'identification des facteurs, la mesure et l'optimisation de la résilience, la robustesse et la vulnérabilité, dans le cadre des chaines logistiques, ont attiré l'attention des chercheurs, et ont été abordées par une multitude d'approches et de méthodes.

Pour la conceptualisation et la définition des facteurs clés les enquêtes, l'analyse des données et la revue de littérature ont été le plus utilisé en termes d'approche et de méthodes d'investigation. Pour l'évaluation et la mesure, on remarque que la théorie des graphes a été adoptée par beaucoup de chercheurs grâce à sa facilité pour mettre en œuvre les relations conceptuelles entre les antécédents et les facteurs clés. Dans la plupart des travaux, les auteurs ont utilisé le calcul du permanent matriciel. Le permanent est un outil d'algèbre linéaire calculé par la formule présentée ci-dessous.

$$per(A) = \sum_{\sigma \in \delta(n)} \prod_{i=1}^{n} a_{i,\sigma(i)} \qquad (2.1)$$

Avec A est une matrice carrée, et δ(n) représente le groupe symétrique (l'ensemble des permutations d'indice n).

Le permanent est utilisé généralement pour mesurer l'impact global de la perturbation sur la chaine logistique. Néanmoins, cet indicateur est un indice agrégé qui ne reflète pas l'impact sur chaque composant de la supply chain, à savoir les différents acteurs et les différentes fonctions. De plus, il est lourd en termes de calcul lorsqu'il s'agit de grands réseaux.

En termes d'optimisation, on constate que la programmation linéaire et la simulation ont été largement utilisées dans un contexte de refonte de la chaîne logistique.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Au mieux de notre connaissance, il n'y a pas de travail dédié à la supply chain qui combine les trois concepts (résilience, robustesse et vulnérabilité) dans une même approche. Cependant, Kamissoko, Pérès et Zaraté (2013) ont été les pionniers à explorer un cadre hybride de résilience, de robustesse et de vulnérabilité en même temps. Les auteurs ont proposé une méthode d'évaluation de la vulnérabilité basée sur l'évaluation de la résilience et de la robustesse. Mais l'étude a été consacrée aux réseaux d'infrastructures critiques.

En ce qui concerne la suppy chain de l'HAD, la littérature est trop rare. Rest, Trautsamwieser, et Hirsch (2012) ont étudié cette problématique. Ils ont défini une série de menaces potentielles pouvant affecter l'HAD dans les zones rurales et urbaines sur la base des directives de l'Association nationale pour les soins à domicile et les hospices (NAHC). Rest et Hirsch (2015) ont fait une analyse de vulnérabilité dans une HAD. Ils ont défini un ensemble de facteurs de succès pour les services d'HAD et ont mis en évidence l'impact des scénarios de crise (catastrophes naturelles, épidémies, panne d'électricité, etc.) sur les facteurs de succès.

Notons qu'aucun des travaux cités ci-dessus n'aborde clairement le problème d'évaluation et de mitigation des vulnérabilités des supply chain de l'HAD. Aucune contre-mesure n'a été proposée pour améliorer la résilience et la robustesse et atténuer la vulnérabilité de ces dernières. Dans notre projet, nous visons à remédier à ce gap en proposant une étude complète.

Notre approche prend en compte les 3 concepts d'analyse (résilience robustesse et vulnérabilité). Nous commençons par une modélisation à base de graphes et de matrice dont l'efficacité a été prouvée dans la littérature. Nous définissons des critères et des règles d'évaluation dédiée aux particularités de la supply chain des HADs. Puis nous présentons notre modèle de calcul de la vulnérabilité. Nous introduisons le concept de la vulnérabilité dynamique qui n'a pas été clairement étudié dans la littérature. Nous finissons notre étude par la proposition de contremesures pour améliorer la résilience et la robustesse, et mitiger la vulnérabilité de la chaine logistique des HADs.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

2.2. Evaluation de la vulnérabilité de la structure d'hospitalisation à domicile

Introduction

L'HAD est devenue un acteur principal dans le système de santé (Rest et Hirsch, 2015). Au cours des dernières décennies, l'HAD a suscité beaucoup d'intérêt et a gagné en importance. Néanmoins, le fait qu'elle soit géographiquement décentralisée et mobilise de nombreux intervenants (infirmiers, livreurs, médecins, hôpitaux, etc.) rend lourde et complexe sa gestion des activités et des ressources, et par conséquent plus vulnérable en temps de crise. Afin de gérer au mieux la situation de crise et en atténuer les répercussions, voire les éviter, il faut d'abord mesurer les impacts de crise sur le fonctionnement de l'HAD.

Subséquemment, notre objectif est d'évaluer la vulnérabilité de la structure d'HAD face à des situations de crise.

La nécessité d'une phase d'évaluation de la vulnérabilité est indéniable, car c'est l'une des tâches les plus importantes du processus de gestion de risques. Cette phase doit prendre en compte les composants du système, la disposition et les interactions entre les différents acteurs, mais aussi leurs modes de défaillance basés sur un ensemble de scénarios de menaces (Baker, 2003). L'objectif principal de cette phase est d'évaluer la préparation du système face à une menace potentielle.

Dans cette section, nous proposons une approche d'évaluation de la vulnérabilité de la structure d'HAD. On commencera d'abord par la présentation des différentes étapes de l'approche, puis on finira par la mise en évidence de l'approche à travers une étude de scénario de crise.

Les travaux développés dans ce chapitre ont fait l'objet d'une publication à la conférence internationale IFAC 2017.

2.2.1. Généralité sur l'approche

Nous cherchons à développer un ensemble d'indicateurs d'évaluation de la vulnérabilité par rapport à chaque composant (acteur et flux) du système de prise en charge en HAD, afin de mesurer la criticité de la situation à laquelle la structure est confrontée. Nous proposons ensuite une approche pour évaluer la vulnérabilité de la structure d'HAD en tenant compte de plusieurs critères et de différentes dépendances et influences entre les acteurs. L'approche est basée sur la théorie des graphes et les opérations matricielles, et apporte les fonctions suivantes :

- Définir un ensemble de critères pour l'évaluation de la vulnérabilité de chaque acteur et chaque flux face à différents types de crise.

- Fournir des indicateurs pour évaluer la vulnérabilité des acteurs et des flux en fonction de la résilience des acteurs et de la robustesse des flux, en utilisant des opérations matricielles.

- Définir la notion de vulnérabilité dynamique qui prend en compte les interactions des acteurs dans le réseau et mesure leur évoluion à travers le temps.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

- Evaluation de la vulnérabilité globale de la structure à travers un indicateur composite.

Notre approche peut se résumer dans une démarche avec les étapes suivantes :

1- Modélisation de l'HAD
2- Modélisation de la crise
3- Evaluation de la vulnérabilité statique
4- Evaluation de la vulnérabilité dynamique
5- Evaluation de la vulnérabilité globale.

2.2.2. Modélisation de l'HAD

2.2.2.1. L'HAD : une chaîne logistique particulière

Vue d'un angle logistique, l'HAD est une chaîne logistique (supply chain) particulièrement complexe opérant dans un milieu très contraint. Des contraintes d'ordre opérationnelle à savoir, le respect des délais de livraison, la qualité des soins fournis, la régularité, l'optimisation des coûts, et surtout des contraintes éthiques du moment que l'on opère dans le système de santé et que des vies humaines, sont mises en jeu.

La gestion de la chaîne logistique des HADs, en temps normal, présente un ensemble de défis supplémentaires par rapport aux chaînes logistiques des hôpitaux conventionnels, car les fournitures (médicaments, lits médicalisés, dispositifs médicaux, etc.) doivent être livrées aux patients géographiquement dispersés. Ces défis s'accentuent en temps de crise quand les fonctions vitales comme la délivrance de soins et la livraison des médicaments pourraient être mises à mal.

La chaîne logistique des HADs engage plusieurs acteurs (infirmiers, docteurs, hôpitaux, etc.). Ces derniers échangent une multitude de flux de différentes natures mettant en jeu des relations clients-fournisseurs. Ces relations clients-fournisseurs créent des relations d'influence/dépendance.

Exemple : L'infirmière ne pourra effectuer ses soins qu'après une livraison préalable de médicaments au domicile du patient. Le livreur ne pourra effectuer la livraison que lorsque le préparateur de la pharmacie aura bien préparé la commande. Le préparateur ne pourra préparer la commande que lorsque la pharmacie aura bien été approvisionnée de la part des fournisseurs et ainsi de suite…

Après une analyse détaillée des processus métiers de notre partenaire Soins et Santé, des visites de terrains et des discussions avec les praticiens et les gestionnaires, nous avons pu identifier les acteurs et les flux principaux de la chaîne logistique de l'HAD que l'on va prendre en compte dans notre étude.

Le tableau 2.2.1 résume les familles d'acteurs ainsi que leurs fonctions principales.

Table 2.2. 1: Les familles d'acteurs principales de l'HAD et leurs missions

Indice	Nom	Mission
0	Patients	Recevoir les soins médicaux à domicile
1	Infirmiers	Visiter le patient à son domicile pour donner des soins médicaux

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

2	PUI[7]	Préparer la fourniture nécessaire (dispositifs médicaux, médicaments, etc.) à livrer aux patients
3	Fournisseurs	Approvisionner la PUI en termes de médicaments et de dispositifs médicaux
4	Livreurs	Assurer les livraisons aux domiciles des patients
5	Médecins	Faire les visites médicales et établir les diagnostics
6	Hôpitaux	Recevoir et transférer les patients selon leurs capacités de prise en charge (nombre de lits, etc.)
7	Transports sanitaires	Transporter les patients
8	Collecteurs de DASRI[8]	Collecter les déchets médicaux au domicile du patient

Ces acteurs échangent des flux de différentes natures : des flux matériels (ou physiques) qui consistent principalement à faire des déplacements physiques (visite de soins, livraison, logistique, etc.) et des flux informationnels (appels téléphoniques, appels visio, e-mails, etc…). Dans notre étude on se focalise sur les flux matériels mais l'approche peut être facilement adaptée aux flux informationnels.

Indépendamment de leurs natures, on peut classer les flux en 3 familles :

- Les flux entrants : Ils représentent les flux qu'un acteur reçoit des acteurs adjacents
- Les flux sortants : Ils représentent les flux qu'un acteur livre aux autres acteurs.
- Les flux internes : Ils représentent les flux échangés entre les acteurs de la même famille (entre médecins, entre infirmiers, etc.)

Le tableau 2.2.2 résume les différents flux principaux échangés entre les acteurs.

Table 2.2. 2: La nature des flux de la chaîne logistique de l'HAD

Flux	**Nature du flux**
(0,7)	Récupérer le patient de son domicile pour une visite hospitalière ou une ré-hospitalisation
(0,4)	Collecter les médicaments non consommés, dispositifs médicaux, à la fin du séjour du patient en HAD

[7] PUI : Pharmacie à Usage Interne

[8] DASRI : Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieux

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

(0,6)	Les patients vont aux hôpitaux avec l'aide des membres de leurs familles.
(6,0)	Les patients reviennent à la maison avec l'aide des membres de leurs familles.
(6,1)	Les infirmiers hospitaliers peuvent travailler dans des bureaux libéraux
(1,0)	Des visites de soins programmés ou urgents
(1,6)	Renforcement des hôpitaux par des infirmiers libéraux (par exemple pendant la crise).
(4,0)	Des livraisons programmées ou urgentes
(4,6)	Livraison de médicaments de la PUI aux pharmacies des hôpitaux dans le cadre de la collaboration.
(4,2)	Retour des médicaments non consommés, dispositifs médicaux, à la fin du séjour.
	Livraison de médicaments récupérés des hôpitaux dans le cadre de la collaboration (mutualisation des pharmacies).
(6,4)	Récupérer les médicaments de la part des hôpitaux dans le cadre de collaboration (mutualisation des pharmacies).
(6,7)	Récupérer les patients des hôpitaux
(7,0)	Transport des patients récupérés des hôpitaux à leurs domiciles
(7,6)	Transport des patients récupérés de leurs domiciles vers les hôpitaux pour une visite hospitalière ou une ré-hospitalisation
(2,4)	Récupérer les médicaments de la PUI par les livreurs

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

(3,2)	Approvisionner la PUI de l'HAD
(3,6)	Approvisionner les pharmacies des hôpitaux
(5,0)	Consultation médicale
(5,6)	Renforcement des hôpitaux par des médecins de ville (pendant la crise)
(6,5)	Les médecins hospitaliers travaillent en HAD en tant que profession libérale
	Les infirmières des hôpitaux travaillent en HAD en tant que profession libérale
(8,0)	Collecter les déchets médicaux aux domiciles des patients

Après avoir identifié les acteurs et les flux que nous allons prendre en compte dans notre étude d'analyse de vulnérabilités, nous allons procéder à la modélisation.

2.2.2.2. Modélisation par digraphe

La modélisation par digraphe d'un réseau permet une présentation visuelle qui décrit la réalité et représente les acteurs impliqués et leurs échanges et interactions. Un graphe peut être représenté à travers un schéma reliant un ensemble de sommets par des arêtes. Les arcs peuvent être orientés dans le cas d'un graphe orienté appelé aussi digraphe.

Chaque chaîne logistique, quel que soit le secteur, implique différents acteurs échangeant différents flux qui peuvent être représentés à l'aide d'un digraphe. En HAD, le digraphe G = (A, F), avec A = 0 ... NA représente les acteurs impliqués dans la chaîne logistique de l'HAD, et $F = F(i,j)$, avec i, j $\in A$ représente le flux délivré de l'acteur i à l'acteur j. Le digraphe G, comprend, donc, tous les composants essentiels (acteurs et flux) pour le bon fonctionnement de l'HAD et qui peuvent être compromis en temps de crise.

Notons que dans la littérature, la théorie des graphes a été utilisée efficacement dans l'analyse de la vulnérabilité de la chaîne logistique (Faisal et al. 2007; Soni, Jain, et Kumar 2014b).

La figure 2.2.1 représente le digraphe de l'HAD qui comporte toutes les familles d'acteurs (0..8) ainsi que les flux échangés comme expliqué dans le tableau 2.2.2. Notons que les flux internes, qui devraient être représentés par des boucles, ne sont pas pris en compte dans le graphe pour des raisons de clarté mais ils sont tout de même pris en compte dans notre analyse.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

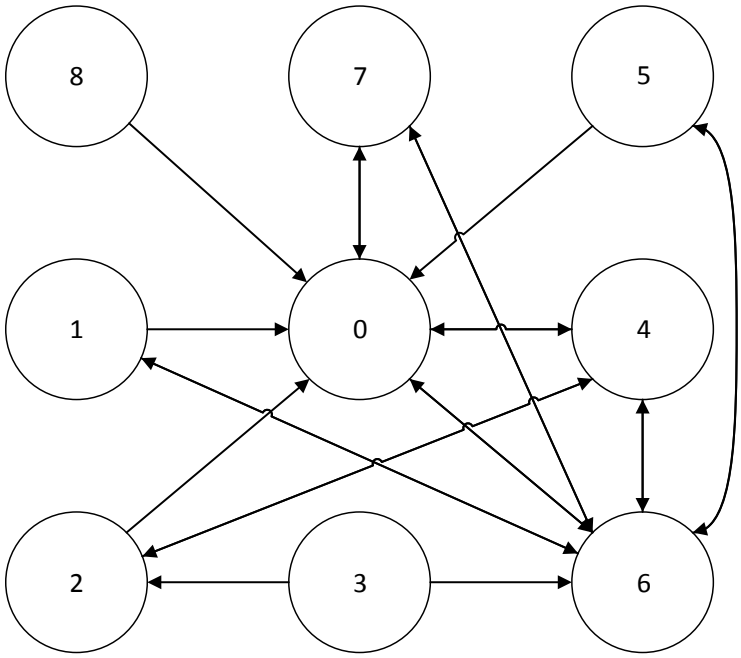


Figure 2.2. 1: Digraphe de la chaîne logistique de l'HAD

2.2.2.3. Représentation matricielle

2.2.2.3.1. Matrice de flux

La représentation matricielle facilite la manipulation des variables et permet l'utilisation d'un large éventail d'outils mathématiques tels que les métriques de graphes et les opérations matricielles qui pourraient être utiles pour notre analyse.

Une matrice d'adjacence F pour un graphe à *NA* sommets est une matrice carrée de dimension NA*NA dont l'élément non-diagonal *F(i,j)* représente le nombre d'arêtes liant le sommet i au sommet j. Quant à l'élément diagonal *F(i,i),* il représente le nombre de boucles au niveau de chaque sommet.

La matrice d'adjacence *F* d'un graphe fini G (avec un nombre fini de sommets et d'arêtes) présente un certain nombre de caractéristiques :

- F est unique ;
- Pour un graphe simple et fini, F est binaire ;
- Si G est un graphe simple non orienté alors *F* est symétrique, sinon elle est asymétrique ;
- F dispose d'une propriété intéressante appelé « propriété de l'itéré » : le nombre de chemin de longueur p reliant le sommet i au sommet j est représenté par le coefficient $F^p(i,j)$, avec F^p est la matrice *F* élevée à la puissance p (multiplication de *F p* fois par elle-même).

En se basant sur le digraphe *G* présenté sur la figure 2.2.1, nous pouvons construire la matrice d'adjacence *F* correspondante. G est un graphe simple, orienté et fini. Par conséquent, *F* définie par l'équation (2.2.1), est une matrice binaire et asymétrique qui représente principalement les connexions (arêtes) à travers les flux entre les acteurs (sommets), désormais appelée matrice de flux ou matrice d'interconnexion.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

$$F = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.2.1)$$

2.2.2.3.2. Matrice de dépendance

Un acteur peut recevoir plusieurs flux de différents acteurs. Prenons l'exemple du patient qui reçoit des soins de la part des infirmiers, des livraisons de la part des livreurs, des visites de la part du service de la collecte de DASRI, etc. En réalité, ces flux n'ont pas la même importance pour l'acteur en question. Plus clairement, la perturbation des différents flux n'a pas le même impact sur la fonction de cet acteur. L'idée est d'associer un poids à chaque flux pour caractériser son importance relative. Cette importance relative a pour but de mettre en exergue la notion de dépendance/influence. Kamissoko (2013) a défini l '«influence» comme «un composant B est influencé par un composant A s'il y a au moins un état de défaillance de A provoquant un état de défaillance inacceptable de B».

Exemple : les flux livrés par l'infirmier et ceux livrés par la collecte de DASRI n'ont pas la même importance pour le patient. De ce fait, le patient est beaucoup plus dépendant vis-à-vis des infirmiers que de la collecte de DASRI. Par conséquent, on peut dire que les infirmiers ont plus d'influence que la collecte de DASRI sur les patients.

On va donc créer une matrice de flux pondérée *WF*, que l'on va appeler matrice de dépendance.

WF est une matrice de flux pondéré qui prend en compte le poids de chaque flux. Afin de construire *WF*, nous avons eu recours à la consultation des experts. Les experts sont les managers et les praticiens de l'HAD. Par conséquent, nous utiliserons une grille de jugement qui sera soumise aux experts afin de définir les niveaux de dépendance. Pour ce faire nous avons défini une règle de jugement. La règle est la suivante:

Règle de jugement : Plus le flux est important pour l'acteur (destinataire du flux), plus sa dégradation / rupture (celle du flux) peut perturber le fonctionnement de cet acteur, alors plus le niveau de dépendance de cet acteur est élevé.

Nous avons soumis la grille présentée dans le tableau 2.2.4 aux gestionnaires et aux praticiens. Les experts font leurs jugements sur la dépendance en utilisant l'échelle présentée dans le tableau 2.2.3.

Table 2.2. 3: Echelle de jugement

Jugement verbal	**Valeur assignée (a_{ij})**
Dépendance très faible	1

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Dépendance faible	3
Dépendance moyenne	5
Dépendance forte	7
Dépendance absolue	9

Notons que les experts peuvent utiliser des valeurs intermédiaires (2, 4, 6, 8 et 10) pour affiner leurs jugements.

Table 2.2. 4: Grille d'évaluation du niveau de dépendance

Acteurs	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

En se basant sur le tableau ci-dessus et en utilisant l'équation (2.2.2), nous pouvons construire la matrice de dépendance *WF*.

$$WF(i,j) = \frac{a_{ij}}{a_{max}}; \forall i, \forall j = 0..NA \qquad (2.2.2)$$

Avec:

$a_{max} = 10$;

$NA + 1 =$ Nombre d′acteurs.

2.2.3. Modélisation de la crise

La crise peut être vue à travers l'impact sur le fonctionnement des acteurs et les perturbations sur les flux. Par conséquent, nous allons intégrer la crise comme une perturbation dans le réseau. Cette perturbation est l'image de la vulnérabilité de la structure face à une telle crise.

Notre objectif est d'évaluer la préparation de l'HAD (plus précisément la chaîne logistique de l'HAD) face à différent scénarios de crise. Pour ce faire nous allons proposer une approche d'analyse de vulnérabilité.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

La vulnérabilité de l'HAD est une vulnérabilité composite qui intègre à la fois la vulnérabilité des acteurs et celle des flux. Comme nous l'avons signalé, dans la littérature, il y a beaucoup de travaux qui ont traité la problématique d'analyse de vulnérabilité, de résilience et de robustesse des chaînes logistiques. Néanmoins, les travaux qui nous ont inspiré le plus étaient ceux de Kamissoko (2013) qui a travaillé sur la problématique d'évaluation de vulnérabilité des infrastructure critiques, à savoir les réseaux de distribution des eaux, les chemins de fer, etc. L'originalité de l'approche de Kamissoko (2013) c'est la prise en compte à la fois de la résilience et de la robustesse pour l'évaluation de la vulnérabilité. (Kamissko et al. 2013) a prouvé que ce trio est indissociable pour effectuer une bonne analyse de vulnérabilité d'une structure. Il propose l'équation (2.2.3) pour le calcul de la vulnérabilité d'un composant du réseau (sommet ou arrête).

$$v = 1 - Rs * Rb \qquad (2.2.3)$$

Avec :

v= vulnérabilité du composant;

Rs= Résilience du composant;

Rb= Robustesse du composant;

Dans notre approche, nous allons prendre en compte les notions de vulnérabilité, de résilience et de robustesse dans un même cadre mais d'une manière différente que celle de Kamissoko (2013).

Concernant les chaînes logistiques des HADs, il s'agit des acteurs humains et des flux matériels (et informationnels). Nous allons mesurer l'impact sur la résilience des acteurs et la robustesse des flux.

Afin d'avoir des variables qui ont la même tendance, ce qui nous facilitera l'analyse et nous permettra de mieux comprendre le fonctionnement du système, nous allons procéder à une transformation de variable.

Concernant la résilience, nous choisissons de mesurer la partie complémentaire de la résilience que l'on appellera « manque de résilience ». La vulnérabilité évolue dans le même sens que le manque de résilience.

Il en sera de même pour la robustesse. On mesurera donc le manque de robustesse au lieu de la robustesse.

Il est recommandé de définir un ensemble de critères afin de mieux évaluer l'impact de la crise. Pour cela, un atelier a été organisé auquel des praticiens du terrain et des experts à la fois du terrain et du monde académique, travaillant sur les HADs, ont participé. Le principe est de définir un ensemble de critères génériques permettant de décrire l'état de la structure de l'HAD face à différents types de crises. Ces critères doivent répondre aux caractéristiques suivantes:

- Etre facile à mesurer,
- Décrire l'état de la structure (acteurs et flux) en temps normal et en temps de crise.
- Prendre en compte les particularités de l'HAD.

Les acteurs et les flux ne perçoivent pas la crise de la même manière. Subséquemment, l'évaluation de son impact sur la résilience et la robustesse ne se fait pas de la même manière.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Il convient donc de définir des critères quantitatifs et qualitatifs relatifs aux acteurs et d'autres dédiés aux flux.

2.2.3.1. Impact sur les acteurs : le manque de résilience

Dans cette partie, nous allons nous focaliser sur l'évaluation du manque de résilience des acteurs, dénoté par *LRS* (Lack of Resilience en Anglais). Trois critères ont été définis : capacité de réponse, niveau de préparation, et niveau de responsabilité. Pour les mêmes raisons de monotonie citées ci-dessus, nous allons évaluer les critères suivants :

- Manque de capacité de réponse,
- Manque de préparation,
- Responsabilité.

2.2.3.1.1. Manque de capacité de réponse *IC*

Nous allons dénoter ce critère par IC (Insufficiency of Capacity en Anglais).

En HAD, la capacité de réponse en termes de ressources (humaines et matérielles) est particulièrement importante surtout en temps de crise. Ce critère décrit le manque de capacité de réponse en termes de ressources. En d'autres termes il mesure le nombre de ressources que l'on peut mobiliser en temps de crise par rapport au nombre de ressources nécessaires pour maintenir le bon fonctionnement de l'HAD.

Afin d'évaluer ce critère, nous devons définir les paramètres suivants.

- Manque de ressources *LR* (Lack of Resources): Nombre de ressources manquantes pour répondre à la demande.
- Manque de ressources acceptable *ALR* (Acceptable Lack of Resources) : Nombre de ressources manquantes pouvant être tolérées temporairement pour maintenir l'activité. C'est un seuil fixé par les décideurs à ne pas dépasser.

On peut donc calculer le ratio R_{IC} défini par l'équation (2.2.4).

$$R_{IC} = 1 + \frac{LR}{ALR} \qquad (2.2.4)$$

En se basant sur la valeur du ratio R_{IC}, on peut évaluer le critère *IC* en suivant les règles d'évaluation présentées ci-dessous :

$IC =$ { R_{IC}, *si* $1 < R_{IC} \leq 2$: Etat nominal, l'activité est maintenue (sous contrôle).

3, si $R_{IC} > 2$: Manque majeur qui ne peut pas être accepté (peu importe de combien il dépasse le seuil, nous le fixons à 3 : valeur plafond).

2.2.3.1.2. Manque de préparation (*P*)

P est un critère qualitatif. Il évalue le niveau de préparation (par manque de préparation) de l'acteur en question. Il décrit le manque de formation, de précaution et de prévention. En d'autres termes, il reflète la maturité de la culture de gestion de crise au sein de la structure par rapport à chaque famille d'acteurs. Par exemple, le manque de préparation diminue si l'acteur a suivi une formation ou a participé dans un exercice de plan de gestion de crise.

Ce critère peut être évalué comme suit :

- P = 1 : état nominal, pas de manque visible de préparation.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

- 1 <P ≤2 : L'acteur est plus ou moins préparé à gérer certaines perturbations, mais il y a un manque de préparation (la valeur 2 peut être considérée comme un seuil).
- P = 3 : l'acteur n'est pas du tout préparé à gérer la crise, il va improviser.

2.2.3.1.3. Responsabilité (*R*)

La responsabilité est un critère qualitatif dédié à l'évaluation du niveau de responsabilité de l'HAD pour intervenir afin de faire face à la crise. Ce critère est généralement disproportionnel au degré de la crise. Parfois, la crise dépasse la responsabilité de la structure de l'HAD et celle-ci devient «légalement» interdite d'intervenir, même de sécuriser ses patients, ce qui est le cas d'une catastrophe majeure. Il appartient aux gestionnaires de décider de ce critère, en fonction du cadre législatif et du type de sinistre.

Ce critère peut être évalué comme suit :

- R = 0 : l'acteur est légalement interdit d'intervenir.
- 0 <R≤1 : position neutre, l'acteur peut participer en tant que bénévole.
- 1 <R≤ 2 : engagement partiel.
- R = 3 : première responsabilité, l'acteur doit intervenir.

Afin de synthétiser un indice qui reflète le niveau de manque de résilience de l'acteur, on propose un indice similaire à celui utilisé dans la méthode AMDEC. L'indice de priorité du risque RPN (Risk Priority Number) proposé par (Kutlu et Ekmekçioğlu, 2012) est calculé comme suit :

$$RPN = Gravité * Occurrence * Détectabilité \quad (2.2.5)$$

D'une manière analogue à *RPN*, on introduit la matrice (*LRS*) de manque de résilience des acteurs définie par l'équation (2.2.6), (2.2.6)' et (2.2.7).

LRS est une matrice diagonale, par construction, qui résume l'état de manque de résilience de chaque famille d'acteurs.

$$LRS(i,j) = IC(i) * P(i) * R(i);\ \forall i = j \quad (2.2.6)$$

$$LRS(i,j) = 0;\ \forall i \neq j \quad (2.2.6)'$$

$$LRS = \begin{pmatrix} LRS(0,0) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & LRS(NA,NA) \end{pmatrix} \quad (2.2.7)$$

2.2.3.2. Impact sur les flux : le manque de robustesse

Les flux sont des composants importants du réseau (c'est-à-dire la structure de l'HAD). Ils assurent l'interconnexion entre les différentes parties prenantes. Ces derniers pourraient être dégradés, voire interrompus en période de crise. La perturbation de chaque flux peut être considérée comme une vulnérabilité du réseau (Kamissoko, 2013).

De la même manière que les perturbations des acteurs mesurés à travers l'impact sur la résilience, nous devons évaluer les dégradations potentielles sur les flux en fonction d'un ensemble de critères. L'évaluation est faîte sur la base de la robustesse de chaque flux (interne, entrant, sortant).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Par conséquent, nous prenons en compte le fameux triplet classique de caractérisation des flux ; la qualité, le coût et le délai. Dans notre cadre nous évaluons le manque de robustesse, il est, donc, plus pratique de manipuler (Manque de qualité (*Q*), coût (*C*), délai (*D*)).

2.2.3.2.1. Manque de qualité (*Q*)

La norme ISO 8402-1986 définit la qualité comme «l'ensemble des caractéristiques et propriétés d'un produit ou d'un service qui répond à ses besoins exprimés ou implicites». Cette définition peut être facilement adaptée à notre contexte. Ainsi, le manque de qualité dans un contexte de vulnérabilité des flux est le niveau de dégradation des caractéristiques du flux qui peut influer sur la satisfaction du consommateur du flux par rapport au standard de qualité qui régule le secteur (secteur de santé). En France, cette norme de qualité est définie par les directives de la Haute Autorité de Santé (HAS). Ainsi, *Q* peut être évalué comme suit :

- Q = 1 : Le flux est livré de bonne qualité.
- 1 <Q≤2 : La qualité est dégradée mais peut être acceptée (la valeur 2 est un seuil).
- Q = 3 : La dégradation de la qualité est totalement inacceptable.

2.2.3.2.2. Coût (*C*)

Ce critère mesure le coût de la ressource utilisée pour délivrer le flux (par exemple la visite de patient à pied, par véhicule, par téléconsultation, etc.). Cela reflète l'aspect financier de la crise. Il peut être plus ou moins coûteux que le service en temps nominal.

De la même manière que le critère *IC*, nous définissons les paramètres suivants.

- C_0 : Coût pour délivrer le flux dans un état normal, coût standard.
- C_1 : Coût pour livrer le flux en temps de crise.
- $AC = C_1 - C_0$: coût supplémentaire.
- $AAC = (C_1-C_0)_{acceptable}$: coût supplémentaire acceptable (seuil);

Nous définissons le ratio R_C comme suit :

$$R_C = 1 + \frac{AC}{AAC} \qquad (2.2.8)$$

En se basant sur le ratio R_C, on peut évaluer le critère *C*.

$$C = \begin{cases} 1, \text{ si } R_C \leq 1 : \text{ nous ne tenons pas compte des gains économiques en temps de crise.} \\ R_C, \quad si\ 1<R_C\leq 2 : \text{ un surcoût acceptable. La valeur 2 est une valeur seuil.} \\ 3, \text{ si } R_C > 2 : \text{ dès qu'on dépasse le seuil on affecte 3 au critère } C. \end{cases}$$

2.2.3.2.3. Délai (*D*)

Ce critère mesure le retard de livraison des flux causé par la crise par rapport à la situation nominale.

Le délai "*D*" peut être évalué de manière similaire au critère "*C*". Ainsi, nous devons définir les variables suivantes :

- D_0: durée standard de livraison de flux en temps normal.
- D_1: durée de livraison de flux en temps de crise.
- $DL = D_1 - D_0$: retard généré en temps de crise.
- $ADL = (D_1 - D_0)_{acceptable}$: retard toléré (seuil), cela dépend du type de crise et de son intensité.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Nous définissons le ratio R_D comme suit :

$$R_D = 1 + \frac{DL}{ADL} \quad (2.2.9)$$

Ainsi, le critère D peut être évalué comme suit :

En se basant sur le ratio R_D, on peut évaluer le critère D.

$D =$ { *1*, si $R_D \leq 1$: Pas de retard.
{ R_D, *si* $1 < R_D \leq 2$: un retard acceptable. La valeur 2 est une valeur seuil.
{ 3, si $R_D > 2$: dès qu'on dépasse le seuil on affecte 3 au critère D.

Notons que les critères *Q*, *C* et *D* sont présentés avec des matrices : *Q(i,j)*, *C(i,j)* et *D(i,j)*. Les matrices *Q*, *C* et *D* ont forcément la même forme que la matrice de flux *F*.

De la même manière que le manque de résilience *LRS*, on va définir la matrice de manque de robustesse à travers les équations (2.2.10) et (2.2.11).

$$LRB(i,j) = Q(i,j) * C(i,j) * D(i,j);\ \forall i, \forall j \in A \quad (2.2.10)$$

$$LRB = \begin{pmatrix} LRB(0,0) & \cdots & LRB(0,NA) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ LRB(NA,0) & \cdots & LRB(NA,NA) \end{pmatrix} \quad (2.2.11)$$

LRB résume la dégradation de flux suite à la crise. Notons que la diagonale représente l'état des flux internes non présentés graphiquement sur le graphe G (Figure 2.2.1).

2.2.4. Evaluation de la vulnérabilité

Dans la littérature, nous pouvons trouver plusieurs définitions de la «vulnérabilité». En général, les auteurs présentent la vulnérabilité comme la dégradation des états inhérents du système. Dans notre approche, nous adoptons la définition donnée par Kamissoko (2013): «La vulnérabilité est l'incapacité d'un composant à résister à la survenance d'un événement redouté et à récupérer efficacement sa fonction nominale pendant une période de temps donnée». Cette définition met en évidence la relation entre la vulnérabilité, la résilience et la robustesse. Dans le contexte de l'HAD, la vulnérabilité est la dégradation des fonctions critiques de la structure qui peuvent avoir un impact sur la continuité de la prestation de soins. En d'autres termes, la vulnérabilité est essentiellement liée à l'état des acteurs et des flux.

Dans cette section, nous développerons des indicateurs de vulnérabilité qui donnent une idée des perturbations aux opérations des acteurs et de la dégradation des flux échangés en tenant compte de la dépendance entre les acteurs. Pour cela nous allons introduire comment calculer les vulnérabilités des différents composants de la structure (acteurs et flux).

L'HAD telle que l'on représente dans notre approche est un réseau connecté qui présente des relations d'influence/dépendance. Dans ce cadre nous allons faire notre analyse de vulnérabilité en 2 niveaux : vulnérabilité statique et vulnérabilité dynamique. On va présenter les deux concepts ainsi que leurs calculs dans les sections qui suivent.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

2.2.4.1. Evaluation de la vulnérabilité statique

La vulnérabilité statique mesure la dégradation de la structure perçue juste après que la crise survienne. Elle ne prend pas en compte la continuité de l'activité en temps de crise. La continuité de l'activité implique un fonctionnement en mode dégradé.

On va proposer des indicateurs d'évaluation de la vulnérabilité statique pour les acteurs et pour les flux.

2.2.4.1.1. Mesure de la vulnérabilité statique des flux

Au moment où la crise survient, les flux se voient immédiatement dégradés. La dégradation est perçue sur les caractéristiques intrinsèques du flux autour des trois critères d'évaluation du manque de robustesse, c.-à-d. manque de qualité, coût et délai.

La vulnérabilité du flux ne dépend pas uniquement de l'état du flux (manque de robustesse du flux) mais aussi de l'état de l'acteur qui le transporte (manque de résilience de l'acteur). Par conséquent, la vulnérabilité du flux est la combinaison du manque de robustesse du flux d'une part, et du manque de résilience de l'acteur d'une autre part.

Exemple : Dans le scénario d'une crue, nous pouvons constater :

- Manque de robustesse : les délais de livraison se voient augmenter à cause de la difficulté d'accès aux domiciles.
- Manque de résilience des livreurs : Les livreurs ne sont pas bien préparés pour gérer ce genre de situations, ils vont improviser et ceci pourrait causer des problèmes et peut impacter la qualité du flux.
- Vulnérabilité : Un flux livré en retard par un acteur qui n'est pas préparé à gérer une telle crise, devient un flux vulnérable.

On propose un indicateur d'évaluation de la vulnérabilité statique du flux défini par la matrice *FVI* (Flow Vulnerability Index).

L'équation (2.2.12) montre le calcul de vulnérabilité statique d'un flux.

$$FVI(i,j) = LRS(i,i) * LRB(i,j);\ \forall i, \forall j \in A \qquad (2.2.12)$$

La formule (2.11) peut être présentée sous forme matricielle à travers l'équation (2.2.13).

$$\begin{pmatrix} FVI(0,0) & \cdots & FVI(0,NA) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ FVI(NA,0) & \cdots & FVI(NA,NA) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} LRS(0,0) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & LRS(NA,NA) \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} LRB(0,0) & \cdots & LRB(0,NA) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ LRB(NA,0) & \cdots & LRB(NA,NA) \end{pmatrix} \qquad (2.2.13)$$

Notons que l'écriture sous forme matricielle nous permet une implémentation plus facile, moins coûteuse en termes du temps de calcul.

2.2.4.1.2. Mesure de la vulnérabilité statique des acteurs

Dans cette partie, on va se focaliser sur l'évaluation de la vulnérabilité statique de chaque famille d'acteurs. En effet, Pour les familles d'acteurs, la vulnérabilité dépend des acteurs eux-mêmes (flux internes) mais aussi des états des flux dont ils ont besoin pour bien accomplir leurs tâches (les flux entrants). Comme les flux n'ont pas le même poids, il faut prendre en compte le niveau de dépendance entre les acteurs. Par conséquent, la vulnérabilité des familles d'acteurs

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

n'est autre que le cumul de vulnérabilité des flux internes et des flux entrants pondérés (en prenant en compte le niveau de dépendance *WF*).

On propose, donc, un indicateur d'évaluation de la vulnérabilité statique pour chaque acteur. On dénote l'indicateur par *AVI* (Actor Vulnerability Index). *AVI* est calculé conformément à l'équation (2.2.14).

$$AVI(j) = \sum_{i=0}^{NA} WF(i,j) * FVI(i,j)\,;\ \forall \mathrm{j} \in \mathrm{A} \qquad (2.2.14)$$

2.2.4.2. Evaluation de la vulnérabilité dynamique

Après avoir subi la perturbation, la structure peut continuer à fonctionner même en mode dégradé. La vulnérabilité dynamique reflète l'état de l'HAD à travers le temps. L'idée est de voir comment le système réagit suite à la perturbation et en l'absence de toute contremesure. Il y a des acteurs et des flux qui ne sont pas directement touchés par la crise, mais ils seront tout de même impactés au bout d'un moment. Cet impact s'explique par les interconnexions et les niveaux de dépendance entre les acteurs. On peut trouver le cas d'un acteur qui n'est pas grièvement touché par la crise, mais il est, en même temps, très dépendant d'un acteur vulnérable, il deviendra à son tour vulnérable.

En d'autres termes, la vulnérabilité dynamique reflète la propagation de la perturbation dans le réseau (la chaîne logistique de l'HAD) et la prise en compte des effets dominos (ou encore les évènements en cascade). Cette propagation est principalement liée à l'interdépendance entre les acteurs.

Les événements en cascade ont été pris en compte dans l'analyse de vulnérabilité. Khakzad et al. (2016) et Khakzad et Reniers (2015) ont utilisé des métriques de graphes consolidées avec des Réseaux Bayésiens pour valider leurs résultats. Dans notre cas, la modélisation des Réseaux Bayésiens ne peut pas être utilisée car il s'agit d'un graphique cyclique. En sachant que les réseaux bayésiens ne s'appliquent que sur des graphes acycliques. Comme on peut le voir sur la figure 2.1, le graphe G est fortement cyclique (les flèches à double sens forment des boucles). Pour surmonter ce problème, nous présenterons une méthode basée sur des outils graphiques et matriciels pour introduire le concept de vulnérabilité dynamique dans notre contexte.

Le but est d'évaluer l'état des acteurs et des flux à travers le temps. Un état du système est l'ensemble des propriétés du système connues à une période. Nous introduisons donc le concept de la « période ».

- Période (p) : une période $p \in PE$ est un laps de temps requis pour que tous les flux circulent une fois dans le réseau. En d'autres termes, dans une période (p), chaque flux doit être délivré une fois. Dans la réalité les flux ne mettent pas la même durée pour circuler dans le réseau. Cependant, cette période « théorique » nous permet d'avoir une idée sur l'évolution des états des acteurs et des flux à travers le temps.

Dans ce qui suit on va détailler le calcul de la vulnérabilité dynamique relatif aux flux et aux acteurs.

2.2.4.2.1. Mesure de la vulnérabilité dynamique des acteurs

On définit un indicateur d'évaluation de la vulnérabilité dynamique de chaque acteur j à chaque période p. On le dénote par la matrice *DAVI (j,p)* (Dynamic Actor Vulnerability Index). On procède d'abord par une initialisation, puis on définit la manière d'évolution de la vulnérabilité des acteurs.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

- **Initialisation**

Au moment de la survenue de la crise, la vulnérabilité dynamique n'est autre que la vulnérabilité statique du moment qu'il n'y pas eu encore de propagation. Cette initialisation est effectuée conformément à l'équation (2.2.15).

$$DAVI(j,1) = AVI(j);\ \forall j \in A \qquad (2.2.15)$$

- **Propagation**

La vulnérabilité d'un acteur à une période (p + 1) dépend de l'état de l'acteur lui-même et aussi de l'état du réseau à la période précédente « p », en tenant compte du niveau de dépendance entre les acteurs. L'équation (2.2.16) montre l'évolution de la vulnérabilité des acteurs à travers les périodes.

$$DAVI(j,p+1) = \sum_{i=0}^{NA} WF(i,j) * DAVI(i,p) * FVI(i,j)\ ;\ \forall j \in A, \forall p \in PE \qquad (2.2.16)$$

2.2.4.2.2. Mesure de la vulnérabilité dynamique des flux

On définit un indicateur d'évaluation de la vulnérabilité de chaque flux à chaque période, dénoté par le cube *DFVI (i,j,p)* (Dynamic Flow Vulnerability Index). On commence par une initialisation puis on définit la dynamique de propagation de la vulnérabilité des flux.

- **Initialisation**

Pareillement à l'initialisation de la vulnérabilité des acteurs, la vulnérabilité dynamique des flux est égale à la vulnérabilité statique à la première période telle que définie dans l'équation (2.2.17).

$$DFVI(i,j,1) = FVI(i,j);\ \forall i, \forall j \in A \qquad (2.2.17)$$

- **Propagation**

La dégradation initiale du flux, c'est-à-dire *FVI (i, j)*, sera aggravée d'une période à une autre par l'aggravation de l'état de l'acteur qui véhicule le flux, c'est-à-dire l'acteur i. La propagation est essentiellement portée par l'état de l'acteur comme le montre l'équation (2.2.18).

$$DFVI(i,j,\mathrm{p}+1) = DAVI(i,p) * FVI(i,j);\ \forall i, \forall j \in A, \forall p \in PE \qquad (2.2.18)$$

La dynamique de propagation de vulnérabilité telle que définie dans les équations ci-dessus, et telle qu'on a défini dans la notion de « période », nous permet de mettre en évidence la notion du niveau d'influence.

En effet, un acteur j peut recevoir plusieurs flux (flux entrants) de plusieurs acteurs. On trouve des acteurs de premier niveau dénoté par N1 de j, qui sont ceux qui lui livrent directement les flux. L'acteur j peut être aussi impacté (influencé), indirectement, par d'autres acteurs qui ne lui livrent pas directement des flux, mais qui sont connecté à des acteurs qui lui sont de premier niveau. La figure 2.2.2 montre la structure d'un réseau à deux niveaux pour un acteur j.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

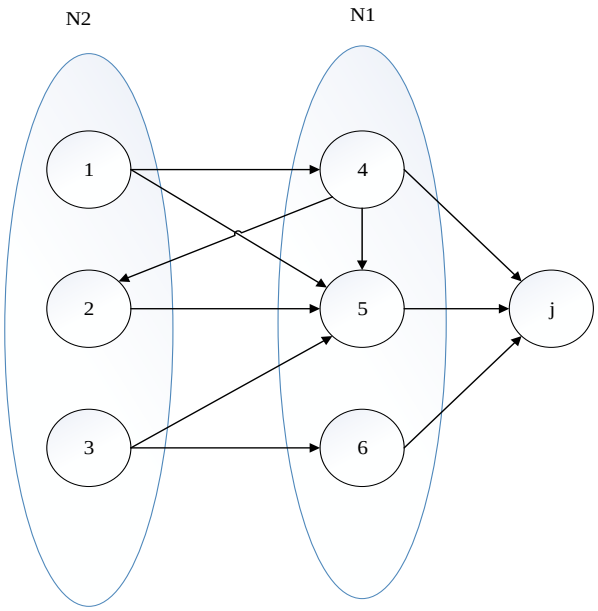


Figure 2.2. 2: représentation des niveaux d'influence d'un réseau

Notre modèle de calcul de vulnérabilité dynamique nous permet donc prendre en compte la propagation de vulnérabilité par niveau. Si on veut aller jusqu'à la prise en compte de l'influence d'un niveau « m » dans notre calcul, on n'aura qu'à calculer la vulnérabilité dynamique jusqu'à la période p=m.

Notons qu'un acteur de niveau N1 (exemple: acteur 4), peut avoir un effet sur un autre acteur de même niveau (acteur 5) ou d'un autre niveau (acteur 2). Cet acteur aura donc plusieurs impacts sur l'acteur j, que nous prenons en compte dans notre modèle via cette analyse dynamique.

2.2.4.3. Evaluation de la vulnérabilité globale

Afin d'évaluer l'impact de la perturbation sur l'ensemble de la chaîne logistique de l'HAD, nous avons besoin de synthétiser un indicateur unique pour décrire la situation du réseau à une période p.

La Vulnérabilité globale *OV (p)* (Overall Vulnerability) est un indicateur synthétique qui déduit le niveau de dégradation causé par la crise sur l'ensemble du système à une période p. Il est calculé comme l'agrégation de la vulnérabilité des différents composants du réseau. Notre analyse sera basée sur les flux représentés par le cube *DFVI (i, j, p)*. La vulnérabilité globale de la structure à une période « p » *OV (p)* peut être calculée comme la somme de tous les composants du cube *DFVI* pour une période donnée «p» en tenant compte du niveau de dépendance entre les acteurs tel que décrit dans l'équation (2.2.19).

$$OV(p) = \sum_{i=0}^{NA} \sum_{j=0}^{NA} WF(i,j) * DFVI(i,j,p);\ \forall p \in PE \qquad (2.2.19)$$

Cet indicateur nous permet, entre autres, de comparer la réponse du système face à différents types de crises.

En guise de résumé, nous venons de définir un modèle d'évaluation de vulnérabilité, que nous baptiserons VAM (Vulnerability Assessment Model). La figure (2.2.3) résume les différentes étapes du VAM ainsi que les équations de calcul principales utilisées dans chaque étape.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

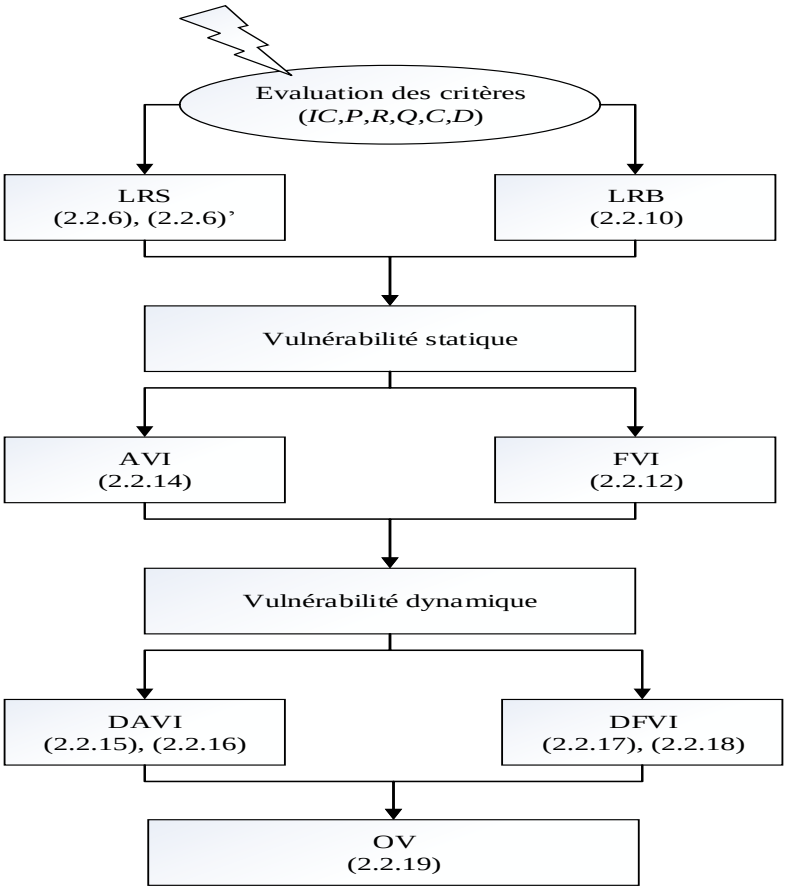


Figure 2.2. 3: Les différentes étapes du VAM

2.2.5. Etude de cas

2.2.5.1. Scénario

Suite à une analyse de la situation épidémiologique depuis début janvier, l'ARS (l'Agence Régionale de Santé) confirme une recrudescence de l'activité grippale qui marque le début de l'épidémie saisonnière de grippe en France. Cette recrudescence est particulièrement marquée sur la région Rhône -Alpes. Dix cas graves, décédés, ont été enregistrés depuis le début de l'épidémie, ainsi qu'une centaine qui ont été admis en réanimation. Cette période a été toujours marquée par l'exacerbation des virus grippaux mais elle est particulièrement aiguë cette année. Actuellement, les virus grippaux Influenza B et A/H1N co-circulent.

- **Conséquences:**

La grippe pandémique aiguë est une crise sanitaire complexe car elle peut avoir plusieurs impacts sur l'ensemble de la chaîne logistique de l'HAD. Nous résumons ci-dessous les impacts majeurs que nous intégrerons dans notre modélisation de crise à travers les critères prédéfinis.

• Une partie du personnel peut être touchée par la grippe, alors la capacité de réponse sera impactée.

• Le nombre de patients admis en HAD augmentera considérablement. Par conséquent, la structure fera face à un afflux massif composé de patients appartenant à l'HAD et d'autres provenant des hôpitaux.

• Comme présenté dans (Barkaoui, Guinet et Wang, 2017), un afflux massif va entraîner une dégradation de la qualité et des retards dus à la surcharge des ressources actuelles.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

• La responsabilité du système de santé (HAD et hôpitaux) est de premier niveau.

• Les demandes d'antibiotiques et d'antiviraux reçues par la pharmacie interne augmentera et aura un impact sur la demande logistique envoyée aux fournisseurs.

• Nous supposons que les acteurs continueront à utiliser les mêmes moyens de livraison pendant la crise, alors le critère coût C ne sera pas impacté.

2.2.5.2. Application du VAM

Dans cette section, nous allons utiliser les équations et les règles de décision présentées dans les sections précédentes définissant le VAM pour pouvoir tester l'application du modèle sur un scénario hypothétique mais vraisemblable.

2.2.5.2.1. Matrice de dépendance

Après avoir soumis la grille de décision (Table 2.2.4) aux experts. Les jugements ont été faits d'une manière collégiale entre les experts et les praticiens.

Déroulement du jugement :

Chaque famille d'acteurs décide de l'ordre d'importance de chaque flux entrant.

Exemple : un ensemble d'infirmières ne remplissent que la colonne relative aux infirmiers (deuxième colonne). On est parti du principe que c'est l'acteur en question qui maitrise le mieux le niveau d'importance de chaque flux entrant dont il a besoin pour effectuer sa tâche au mieux.

A la fin, la grille compilée et remplie sera soumise à la validation de l'ensemble des experts, sinon on reboucle en cas de non validation.

Suite à une réunion de travail nous sommes parvenus au résultat suivant. Le résultat de jugement est présenté dans le tableau 2.2.5.

Table 2.2 .5: Grille de jugement remplie

Acteurs	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
0	3	0	0	0	5	0	4	6	0
1	8	0	0	0	0	0	3	0	0
2	0	0	0	0	8	0	0	0	0
3	0	0	8	1	0	0	8	0	0
4	6	0	6	0	1	0	5	0	0
5	7	0	0	0	0	2	3	0	0
6	4	4	0	0	5	4	5	6	0
7	7	0	0	0	0	0	6	1	0
8	4	0	0	0	0	0	0	0	1

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

En utilisant l'équation (2.2.2) et les résultats du tableau ci-dessus, nous pouvons construire la matrice de dépendance *WF* définie dans l'équation (2.2.20).

$$WF = \begin{pmatrix} 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.1 & 0 & 0 & 0.8 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0 & 0.6 & 0 & 0.1 & 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0 & 0 & 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 \end{pmatrix} \quad (2.2.20)$$

2.2.5.2.2. Evaluation des critères

En utilisant les règles de décisions relatives à chaque critère présenté dans la section 2.2.3 et en se référant aux experts, nous pouvons établir nos jugements.

- **Evaluation de LRS**

Le tableau 2.2.6 résume le calcul relatif au critère de manque de capacité *IC*.

Table 2.2 .6: Evaluation du critère IC

Acteurs	**LR**	**ALR**	**R_{IC}**	**IC**
Patients	0	-	1	1
Infirmiers	4	1	5	3
PUI	2	1	3	3
Fournisseurs	1	1	2	2
Livreurs	5	2	3.5	3
Médecins	2	2	2	2
Hôpitaux	40	10	5	3
Transports sanitaires	6	2	4	3
Collecteurs de DASRI	2	2	2	2

Après avoir évalué les critères de manque de préparation P et le niveau de responsabilité R, nous pouvons synthétiser le manque de résilience de chaque acteur en utilisant les équations (2.2.6) et (2.2.6)'. Le tableau 2.2.7 résume le calcul de manque de résilience *LRS* de chaque acteur.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Table 2.2. 7: Evaluation du manque de résilience LRS des acteurs

Acteurs	**IC**	**P**	**R**	**LRS**
Patients	1	1	1	1
Infirmiers	3	1.2	3	10.8
PUI	3	1.5	3	13.5
Fournisseurs	2	2	2	8
Livreurs	3	1.5	3	13.5
Médecins	2	1.2	3	7.2
Hôpitaux	3	1	3	9
Transports sanitaires	3	1.2	3	10.8
Collecteurs de DASRI	2	3	2	12

En utilisant l'équation (2.2.7) nous pouvons construire la matrice *LRS*.

$$LRS = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10.80 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 13.50 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 13.50 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7.20 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10.80 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 12 \end{pmatrix} \quad (2.2.21)$$

- **Evaluation de *LRB***

En utilisant les règles de jugement relatif aux critères Q, C et D, nous construisons les matrices présentées dans les équations (2.2.22), (2.2.23) et (2.2.24).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

$$Q = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1.2 & 1 & 0 \\ 1.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1.2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1.2 & 0 & 0 \\ 1.3 & 1.2 & 0 & 0 & 1.2 & 1.2 & 1.2 & 1.2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.1 \end{pmatrix} \quad (2.2.22)$$

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.2.23)$$

$$D = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.3 & 1.2 & 0 & 0 & 1.3 & 0 & 0 \\ 1.6 & 0 & 1.5 & 0 & 1.5 & 0 & 1.5 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 3 & 0 & 0 \\ 1.3 & 3 & 0 & 0 & 1.5 & 3 & 2 & 1.4 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 0 \\ 1.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.2 \end{pmatrix} \quad (2.2.24)$$

En utilisant l'équation (2.2.10) nous assurons le calcul de la matrice de manque de robustesse *LRB* telle que présenté dans l'équation (2.2.25).

$$LRB = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1.2 & 1 & 0 \\ 1.68 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.68 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.50 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.30 & 1.40 & 0 & 0 & 1.30 & 0 & 0 \\ 1.60 & 0 & 1.50 & 0 & 1.50 & 0 & 1.50 & 0 & 0 \\ 2.40 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 3.60 & 0 & 0 \\ 1.69 & 3.60 & 0 & 0 & 1.80 & 3.60 & 2.40 & 1.68 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 0 \\ 1.50 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.32 \end{pmatrix} \quad (2.2.25)$$

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

- **Evaluation de la vulnérabilité statique**

En utilisant la formule (2.2.11) nous pouvons calculer la matrice de vulnérabilité statique des flux *FVI* (équation (2.26)).

$$FVI = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1.200 & 1 & 0 \\ 18.144 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 18.144 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 20.250 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10.400 & 11.52 & 0 & 0 & 10.400 & 0 & 0 \\ 21.600 & 0 & 20.250 & 0 & 20.250 & 0 & 20.250 & 0 & 0 \\ 17.280 & 0 & 0 & 0 & 0 & 21.600 & 25.920 & 0 & 0 \\ 15.210 & 32.400 & 0 & 0 & 16.200 & 32.400 & 21.600 & 15.120 & 0 \\ 21.600 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 21.600 & 21.600 & 0 \\ 18 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15.840 \end{pmatrix} \quad (2.2.26)$$

En se référant à la formule (2.2.14), on peut calculer le vecteur de vulnérabilité statique *AVI* (équation 2.2.27).

$$AVI = \begin{pmatrix} 68.275 \\ 12.960 \\ 20.470 \\ 1.152 \\ 26.825 \\ 17.280 \\ 55.904 \\ 11.832 \\ 1.584 \end{pmatrix} \quad (2.2.27)$$

- **Evaluation de la vulnérabilité dynamique**

Dans cette étude de cas nous allons nous limiter à la période (p=3) dans notre calcul de vulnérabilité dynamique.

En se basant sur les équations (2.2.15) et (2.2.16) nous pouvons calculer le vecteur *DAVI (j,3)* pour chaque acteur j, comme le montre l'équation (2.2.28).

$$DAVI(*,3) = \begin{pmatrix} 48340 \\ 16537 \\ 10617 \\ 1.5288 \\ 18186 \\ 19989 \\ 40845 \\ 13592 \\ 3.9743 \end{pmatrix} \quad (2.2.28)$$

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

De la même manière, en utilisant les équations (2.2.17) et (2.2.18), nous construisons la matrice de vulnérabilité dynamique de flux à la période p=3 (équation (2.2.29)).

$$DFVI(*,*3) = \begin{pmatrix} 1295.7 & 0 & 0 & 0 & 1295.7 & 0 & 1554.8 & 1295.7 & 0 \\ 13146 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 13146 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6794 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 13.8019 & 15.2882 & 0 & 0 & 13.8019 & 0 & 0 \\ 18855 & 0 & 17676 & 0 & 17676 & 0 & 17676 & 0 & 0 \\ 13810 & 0 & 0 & 0 & 0 & 17262 & 20714 & 0 & 0 \\ 19408 & 41342 & 0 & 0 & 20671 & 41342 & 27561 & 19293 & 0 \\ 12392 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 12392 & 12392 & 0 \\ 45.163 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 39.7434 \end{pmatrix}$$

(2.2.29)

- **Evaluation de la vulnérabilité globale**

Pour pouvoir calculer la vulnérabilité globale à la période 3, *OV(3)*, on utilise l'équation (2.2.19).

$$OV(3) = 168111.0927$$

Notons que tous les calculs ont été effectués sur Matlab 2010b.

2.2.5.3. Analyse

Les valeurs de *DAVI* et *DFVI* augmentent considérablement puisque nous traitons de la multiplication de grands nombres. Quoi qu'ils donnent une idée de l'intensité de la vulnérabilité de chaque composant de la chaîne logistique de l'HAD, leur manipulation et leur interprétation sont lourdes. Pour cela, nous recourons à la normalisation des valeurs. Par conséquent, pour chaque période, nous pouvons définir un nouvel indicateur que nous appellerons indicateur de priorité de vulnérabilité *VPI (j,p)* (Vulnerability Priority Index) qui donne une idée du classement des différents acteurs et de l'évolution dans le temps, en termes de vulnérabilité.

Cet indice de priorité attribue une priorité pour l'acteur en question pour qu'il soit traité en urgence du moment qu'il est plus vulnérable.

Le *VPI* est calculé selon la formule présentée dans l'équation (2.2.30).

$$VPI(j,p) = \frac{DAVI(j,p)}{\sum_{i=0}^{NA} DAVI(i,p)} \; ; \forall j \in A, \forall p \in PE \qquad (2.29)$$

Le tableau 2.2.8 résume le calcul du *VPI* de chaque acteur pour la première et la troisième période et les résultats sont présentés dans l'ordre décroissant des acteurs en termes de vulnérabilité.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Table 2.2. 8: L'indice de priorité de vulnérabilité des acteurs

Acteur	DAVI (j,1)	VPI (i,1)	Rang	DAVI (j,3)	VPI (i,3)	Rang
0	68,275	0,315675831	1	48340	0,287547248	1
1	12,96	0,059921769	6	16537	0,098369235	5
2	20,47	0,094644954	4	10617	0,063154512	7
3	1,152	0,005326379	9	1,5288	9,09396E-06	9
4	26,825	0,12402789	3	18186	0,108178201	4
5	17,28	0,079895692	5	19989	0,118903226	3
6	55,904	0,258477358	2	40845	0,242963743	2
7	11,832	0,054706356	7	13592	0,0808511	6
8	1,584	0,007323772	8	3,9743	2,36409E-05	8

En se basant sur les résultats rapportés dans le tableau ci-dessus, on peut remarquer directement que l'ordre des acteurs classés par ordre de *VPI* décroissant, a changé de la première période à la troisième période. Prenons l'exemple des médecins (5), qui étaient les 5èmes acteurs les plus vulnérables à la première période, et sont devenus les 3èmes à la troisième période.

A contrario, la PUI (2) était le 4ème acteur en termes de priorité et est devenu le 7ème acteur à la fin de l'horizon. Le fait de descendre dans le classement de priorité ne veut pas dire que l'acteur est devenu moins vulnérable, parce qu'on constate que le *DAVI* a continué à augmenter pour tous les acteurs, et certains acteurs ont eu des augmentations de vulnérabilité plus importantes que d'autres. Cette différence d'augmentation s'explique par le niveau de dépendance des acteurs. En effet, les acteurs dont la vulnérabilité a augmenté considérablement sont ceux qui ont le plus de dépendance vis-à-vis des autres acteurs. Ces derniers reçoivent plus de flux impactés par la crise. Conformément à l'équation (2.2.16), la vulnérabilité d'un acteur est fortement liée aux vulnérabilités des flux qu'il reçoit et du niveau de dépendance *WF* vis-à-vis du réseau.

L'impact de la crise mérite d'être abordé dans le contexte d'un réseau plutôt que d'une analyse unique liée à chaque composant isolé. La prise en compte de la propagation de la vulnérabilité est importante autant pour les flux que pour les acteurs. Si on arrêtait notre analyse de vulnérabilité à la première période, on aurait eu un classement d'acteurs différents que celui de la dernière période. Sachant que cet indicateur de priorité *VPI* est un indicateur d'aide à la décision qui permet aux décideurs de choisir les acteurs cibles dans leurs politiques de mitigation et de préparation face aux scénarios de crise étudiés, l'analyse aurait été donc faussée si on n'aurait pas pris en compte la vulnérabilité dynamique qui est étroitement liée à la matrice de dépendance *WF*. Par conséquent, il convient de prendre en compte l'aspect dynamique de la crise à travers la propagation et la prise en compte des évènements en cascade afin de mieux

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

évaluer l'impact sur la durée et de bien évaluer la résilience, la robustesse et la vulnérabilité globale de la structure.

Conclusion

Dans cette section, nous avons défini notre approche d'analyse de vulnérabilité qui commence par une modélisation de la chaîne logistique de l'HAD par un digraphe. Après avoir modélisé l'HAD, le modèle VAM a été introduit. Le VAM est un modèle d'évaluation de vulnérabilité statique et dynamique. L'approche a montré l'aisance de son implémentation et son application sur un scénario de crise hypothétique qui est la pandémie grippale. Les résultats et les analyses ont montré l'intérêt de la prise en compte de la propagation de la vulnérabilité dans le réseau et l'importance de l'interdépendance entre les acteurs.

Après avoir effectué l'évaluation de la vulnérabilité de la structure avec tous ces composants, l'étape suivante est de concevoir des contremesures pour mitiger cette vulnérabilité et rendre la structure plus résiliente, plus robuste et donc moins vulnérable.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

2.3. Proactivité de la chaîne logistique des hospitalisations à domiciles

Introduction

Dans la section 2.2, nous avons proposé une approche d'évaluation de la vulnérabilité de la chaîne logistique des HADs basée sur le modèle VAM. La phase d'évaluation est importante pour bien préparer la structure pour faire face à des scénarios de crises sanitaires. On ne peut gérer la vulnérabilité que si on peut la mesurer. Une bonne évaluation de la vulnérabilité nous permet d'identifier les points de faiblesse et de force de la structure. Le but est de déterminer les pistes d'amélioration afin de mitiger la vulnérabilité globale de la chaîne logistique de l'HAD.

L'objectif ultime de la phase de préparation des plans de gestion de crise est de rendre la structure plus proactive. La proactivité par définition est la bonne préparation avant de succomber aux conséquences (Decottégine 2014).

Dans ce chapitre nous allons définir une stratégie d'amélioration de la proactivité de l'HAD en proposant des contremesures de mitigation. Pour ce faire nous allons proposer une classification des acteurs et proposer des stratégies proactives pour chaque type d'acteurs.

2.3.1. Introduction des concepts : Influence, dépendance

En se basant sur l'analyse portée sur les *VPI* de chaque acteur, présentée dans la section 2.2.5.3 et en se référant au tableau 2.2.8, on remarque que les acteurs ne perçoivent pas la crise de la même manière. En effet, il y a des acteurs dont le *VPI* a augmenté et d'autres dont le *VPI* a baissé. Les acteurs qui se voient leurs *VPI* croître sont des acteurs qui ont le plus de connexions (flux entrants) et qui sont majoritairement dépendants vis-à-vis du réseau. Cependant, les acteurs dont le *VPI* a baissé, sont ceux qui étaient impactés par la crise au début, mais ils n'ont pas été trop impacté par la propagation de la vulnérabilité dans le réseau du moment qu'ils n'ont pas beaucoup de dépendances vis-à-vis du réseau. De ce fait nous pouvons identifier deux axes d'analyse :

- *Degré de dépendance* (à ne pas confondre avec le niveau de dépendance *WF*) : c'est le degré de dépendance d'un acteur vis à vis du réseau. Il est proportionnel au nombre de connexions (flux entrants). En termes de calcul, ce n'est autre que la vulnérabilité dynamique (*DAVI)* d'un acteur, qui est calculée par la somme de chaque colonne de la matrice *DFVI* en prenant en compte le niveau de dépendance *WF* conformément aux équations (2.2.15) et (2.2.16).

  $$DAVI(j,1) = AVI(j);\ \forall j \in A \quad (2.2.15)$$

  $$DAVI(j,p+1) = \sum_{i=0}^{NA} WF(i,j) * DAVI(i,p) * FVI(i,j)\ ;\ \forall j \in A, \forall p \in PE \quad (2.2.16)$$

- *Degré d'influence* : c'est le degré d'influence d'un acteur sur le réseau. C'est l'équivalent de la vulnérabilité transmise par l'acteur envers le réseau. Cette influence peut être évaluée à travers les flux dégradés qu'un acteur envoie à d'autres acteurs.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

L'influence d'un acteur "i" à une période p désignée par *Inf (i, p)* est calculée comme la somme de la ligne "i" du cube *DFVI (i, j, p)* à une période p en tenant compte du degré de dépendance des autres acteurs, comme indiqué dans l'équation (2.3.1).

$$Inf(i,p) = \sum_{j=0}^{NA} WF(i,j) * DFVI(i,j,p)\,;\ \forall i \in A, \forall p \in PE \qquad (2.3.1)$$

Ainsi, pour une période p donnée, la vulnérabilité globale *OV(p)* est égale, d'une part, à la somme de l'influence des différents acteurs et d'autre part, égale à la somme de la vulnérabilité dynamique des acteurs comme montré dans l'équation (2.3.2).

$$OV(p) = \sum_{i=0}^{NA} Inf(i,p) = \sum_{j=0}^{NA} DAVI(j,p)\,;\ \forall p \in PE \qquad (2.3.2)$$

Par conséquent, la somme des degrés d'influence est égale à la somme des degrés de dépendance. Il s'agit donc d'une conservation de la vulnérabilité.

Conservation de la vulnérabilité : En l'absence de toutes actions externes (contremesures), pour une période donnée p, la vulnérabilité transmise par certains acteurs du réseau est totalement absorbée par d'autres acteurs.

En se basant, sur cette analyse dépendance-influence nous pouvons faire un classement des acteurs de la chaîne logistique de l'HAD.

2.3.2. Classes d'acteurs

Sur la base du niveau de contribution de l'acteur dans la vulnérabilité globale de la structure, nous pouvons définir différentes classes d'acteurs. Un outil simple et efficace, à savoir le principe 80-20, également connu sous le nom du principe de Pareto est appliqué. Nous identifierons les acteurs qui apportent le plus de dégradation dans le système et d'autres qui reçoivent le plus de dégradation en raison de leur niveau de dépendance élevé *WF (i, j)*. Une analyse à deux axes sur le niveau d'influence mesuré par *Inf (i,p)* et le niveau de dépendance mesuré par *DAVI (i, p)* est menée. Nous pouvons définir quatre classes d'acteurs.

- Influents (I)
- Dépendants (Dp)
- Critiques (Cr)
- Neutres (N)

2.3.2.1. Les influents (I)

Cette classe contient les acteurs qui injectent le plus de vulnérabilité dans le réseau. Ce caractère d'influence est révélé par le fait que ces acteurs perçoivent la crise, à travers les critères prédéfinis (*IC, P, R, Q, C, D*), d'une manière plus aiguë que les autres, et que d'autres acteurs en sont fortement dépendants. En conséquence, une grande partie de la vulnérabilité perçue par ces acteurs sera injectée dans le réseau. Afin d'énumérer les acteurs appartenant à cette classe, nous utilisons le principe de Pareto adapté au calcul *OV (p)* basé sur l'estimation de l'influence. La méthode peut être résumée avec les étapes suivantes :

(1) Lister les acteurs dans l'ordre décroissant de leur degré d'influence à la dernière période *lp* (last period), c'est-à-dire *Inf (i, lp)*.
(2) Attribuer une valeur d'influence cumulée à chaque acteur.
(3) Un acteur est reconnu comme influent si son influence cumulée est inférieure ou

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

égale à un pourcentage *L%* de *OV (lp)* comme indiqué dans la figure 2.3.1. Dans notre étude, nous considérons *L = 80*.

2.3.2.2. Les dépendants (Dp)

L'acteur dépendant est un acteur qui a besoin de recevoir un soutien (flux dans notre contexte) afin d'accomplir correctement ses tâches. Cet acteur est fortement lié au réseau par les flux et principalement affecté par son niveau élevé de dépendance *WF (i, j)*. Cet acteur peut être résilient et ne perçoit pas grièvement la crise à travers (*IC, P, R*) ; et délivre un flux robuste pas trop affecté par la crise à travers (*Q, C, D*). Néanmoins, il est connecté à d'autres acteurs fortement impactés, il deviendra également vulnérable en raison de son niveau de dépendance élevé. Le degré de dépendance d'un acteur j à une période p n'est autre que son *DAVI (j, p)*. De la même manière que les acteurs influents, en utilisant le calcul de *OV (lp)* basé sur le *DAVI*, nous pouvons définir la classe des acteurs dépendants.

(1) Lister les acteurs dans l'ordre décroissant de leur vulnérabilité dynamique à la dernière période *lp*, c'est-à-dire *DAVI (j, lp)*.
(2) Affecter une valeur de vulnérabilité dynamique cumulée à chaque acteur.
(3) Un acteur est reconnu comme dépendant si son *DAVI* cumulé (j, *lp*) est inférieur ou égal à *L%* (*L* = 80) de *OV (lp)*, comme présenté dans la figure 2.3.1.

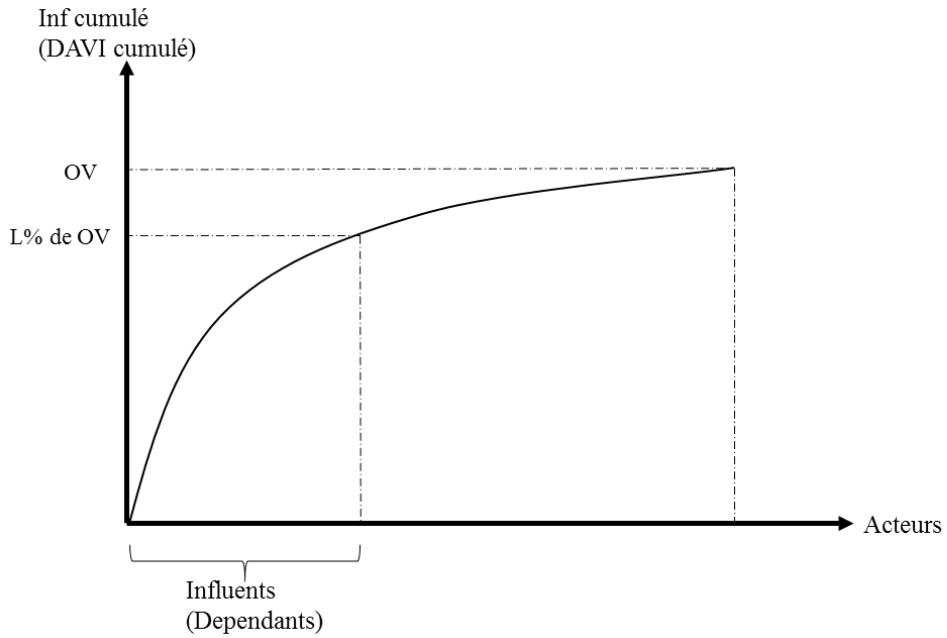


Figure 2.3 .1: Illustration de la méthode basée sur le principe de Pareto

2.3.2.3. Les acteurs critiques (Cr)

La classe critique est l'intersection des influents et des dépendants. Un acteur critique est à la fois influent et dépendant pour une période donnée (*lp*).

En termes de stratégie de proactivité, ces acteurs sont les plus prioritaires. Les acteurs critiques doivent figurer en première ligne du plan d'action de la structure.

2.3.2.4. Les acteurs neutres (N)

Les acteurs neutres ne sont ni influents ni dépendants. Ils n'injectent pas de vulnérabilité considérable dans le réseau et ils ne sont pas très dépendants vis-à-vis d'autres acteurs

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

vulnérables. Ils peuvent être exclus de notre analyse de vulnérabilité. Les décideurs ne doivent pas se soucier de ces acteurs dans le plan d'action.

La figure 2.3.2 illustre les différentes classes d'acteurs pour mettre en évidence la relation ensembliste entre les classes.

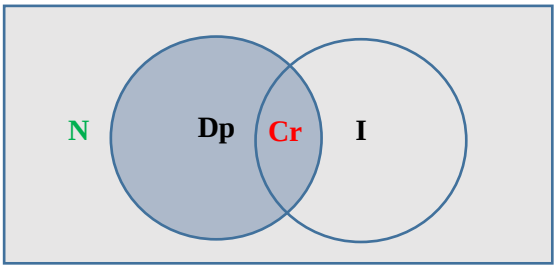


Figure 2.3. 2: Illustration des classes d'acteurs

La figure 2.3.3 représente les quatre classes d'acteurs sur le plan (*Inf* cumulé, *DAVI* cumulé).

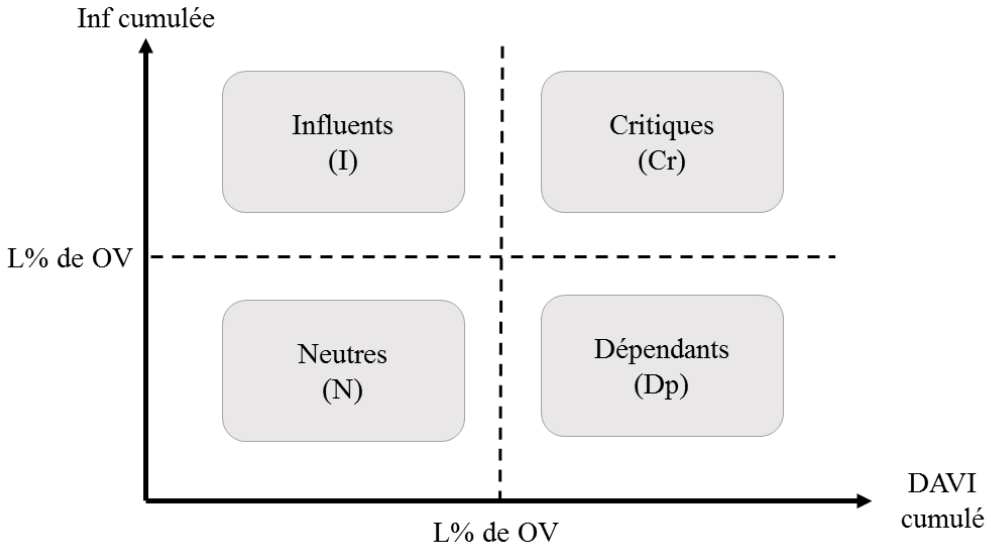


Figure 2.3. 3: Les classes d'acteurs

A l'aide de cette classification, nous pouvons proposer une autre modélisation systémique de la chaîne logistique de l'HAD, dans le contexte de l'évaluation de la vulnérabilité.

2.3.3. Modélisation systémique de la chaîne logistique de l'HAD

Un modèle peut être développé en se basant sur la représentation du système ayant les perturbations (la crise) perçues à travers les différents critères (*IC*, *P*, *R*, *Q*, *C* et *D*) comme données d'entrée, et la dégradation du système évaluée par la vulnérabilité globale comme résultat de sortie.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

La figure 2.3.4 représente la modélisation basée sur le système de l'HAD.

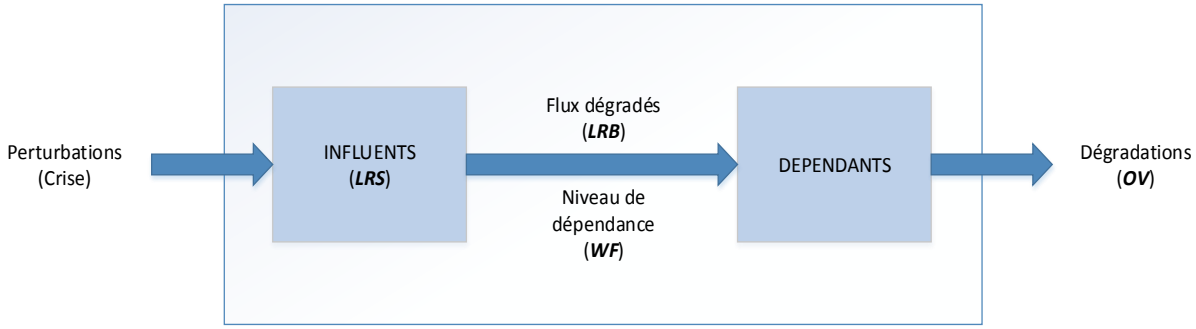


Figure 2.3. 4: Modélisation systémique de la chaîne logistique de l'HAD

Dans la figure 2.3.4, nous pouvons voir que la crise modélisée comme perturbations sera d'abord absorbée par les influents et évaluée à travers leurs critères intrinsèques (*IC, P et R*) puis injectée partiellement selon le degré de dépendance *WF (i, j)* à travers les flux dégradés, et transféré des influents aux dépendants. La dégradation sur les sorties sera évaluée à travers les critères *Q, C et D*. En sortie du modèle on obtient *OV (p)* grâce au VAM.

Notons que les acteurs critiques sont représentés simultanément dans les cases des influents et des dépendants. Cette représentation ne prend pas en compte toutes les caractéristiques de la chaîne logistique de l'HAD, puisque nous négligeons les acteurs neutres et les interactions entre les acteurs de la même classe, qui sont marginaux selon l'analyse de classification que nous avons faite. Cependant, cette modélisation représente les principaux composants du modèle, en termes de vulnérabilité, et nous permettra de concevoir les politiques de mitigation dans la section suivante.

2.3.4. Contremesures de mitigation

La phase de mitigation dans le plan de gestion de crises est essentielle. Il permet aux décideurs de tester des scénarios hypothétiques et d'obtenir des décisions managériales d'ordre stratégique. Cette phase est fortement liée à la proactivité de la structure, car elle permet aux gestionnaires de préparer leur boîte à outils de contremesures qu'ils utiliseront en temps de crise (avant et après).

Jusqu'à présent, nous avons proposé une méthode pour évaluer la vulnérabilité de l'HAD face à la crise potentielle à travers différents indicateurs et nous avons proposé une classification des acteurs. Dans cette section, nous proposons un ensemble de contremesures basées sur la phase d'évaluation mais aussi sur la classification des acteurs. L'objectif est de proposer des contremesures pertinentes pour chaque classe d'acteurs afin d'améliorer leur résilience et leur robustesse et d'atténuer par la suite la vulnérabilité globale de la chaîne logistique de l'HAD.

Nous devons d'abord identifier les leviers sur lesquels nous pouvons agir. Sur la base du graphe présenté dans la figure 2.3.4, on peut remarquer que les influents sont ceux qui absorbent une partie importante de la crise, puis injectent leur influence dans le réseau. Afin de limiter l'impact des Influents sur le réseau, nous devons contrôler leur résilience (*LRS*) à travers *IC, P et R*. Les perturbations absorbées seront transmises par des flux dégradés selon le niveau de dépendance *WF*. La robustesse *LRB* des flux transmis et le niveau de dépendance *WF* des acteurs dépendants sont les éléments clés pour atténuer la vulnérabilité transmise. Par conséquent, nous avons trois leviers clés pour contrôler la vulnérabilité globale de la structure, à savoir :

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

- *LRS* (IC, P et R) des Influents,
- *LRB* (Q, C et D) des flux livrés des influents aux dépendants,
- Le niveau de dépendance *WF* des dépendants.

2.3.4.1. Contremesures de mitigation pour les acteurs influents

Dans cette section, nous traitons les acteurs influents en fonction de leur résilience et de la robustesse de leurs flux sortants.

Nous proposons ci-après une liste non exhaustive de contremesures relatives à chaque critère. Toutes les contremesures sont génériques dans le sens où elles peuvent être appliquées à chaque acteur. Certaines contremesures sont tactiques ou opérationnelles (exemple : gestion des ressources), et d'autres semblent être stratégiques et nécessitent plus de temps pour leur mise en place (exemple : la préparation). Les contremesures sont notées *M (i)*.

- Manque de capacité de réponse (*IC*) :
    - Allouer plus de ressources dans le réseau : *M (1)*
        - Appel aux infirmières travaillant à leur compte, aux médecins de ville, etc.
        - Utiliser les ressources de la réserve sanitaire,
        - Consolider la collaboration Hôpital-HAD.
        - Collaborer avec plus de prestataires de services (par exemple, les livreurs).

- Manque de préparation (*P*) :
    - Augmenter la fréquence des exercices de gestion de crise : *M (2)*
    - Organiser des campagnes de sensibilisation auprès du personnel et des collaborateurs : *M (3)*

- Responsabilité (*R*) :

Nous n'avons pas beaucoup d'actions sur ce critère puisqu'il appartient au cadre réglementaire. Nous supposons que même l'externalisation de certaines fonctions comme les livraisons, n'atténue pas la responsabilité principale de la structure HAD. Néanmoins, nous pouvons améliorer le degré de sensibilisation des collaborateurs, comme les transporteurs et les livreurs, à la criticité de la situation.

- Manque de qualité (Q) :
    - Préparer des protocoles à respecter même en temps de crise : *M (4)*
    - Organiser des formations sur les pratiques de qualité et la gestion du stress en période de crise : *M (5)*

- Coût (C) :
    - Optimiser le choix du bon moyen de transport en fonction de la situation (embouteillages, conditions météorologiques ...) : *M (6)*
    - Utiliser la Visio-consultation plutôt que des visites physiques quand c'est possible (pour les médecins) : M (7)

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

- Retard (D) :
    - Utiliser Visio-consultation plutôt que des visites physiques lorsque la situation le permet (pour les médecins) : *M (7)*
    - Optimiser le routage des transports (visites, livraisons, etc.) : *M (8)*

En se basant sur la liste des contremesures ci-dessus, les gestionnaires doivent choisir les bonnes contremesures en fonction de la nature de la crise à laquelle ils sont confrontés. Pour cela, nous proposons les étapes suivantes afin d'évaluer l'impact de chaque contremesure et nous permettre de comparer leurs différents impacts sur la vulnérabilité globale de la chaîne logistique de l'HAD. Notons qu'une contremesure peut améliorer un critère d'une part et dégrader un autre critère d'autre part.

Nous utiliserons les notations et définitions suivantes :

• *OV (lp) :* Vulnérabilité globale à la dernière période *lp* sans aucune contremesure.

• OV_1 *[M (i), lp] :* Vulnérabilité globale à la dernière période *lp* après la mise en place de la contremesure *M (i).*

• *PR [M (i), lp] :* Proactivité de la contremesure *M (i).*

Nous définissons la proactivité *PR* d'une contremesure comme le gain relatif en termes de vulnérabilité globale après la mise en œuvre d'une contremesure.

(1) Calculer *OV (lp)* avec VAM;
(2) Calculer OV_1 *[M (i), lp]* avec VAM ;

(3) Calculer $PR[M(i), lp] = \frac{OV(lp) - OV_1[M(i),lp]}{OV(lp)}$ (2.3.3)

- Si *PR [M (i), lp]* > 0, alors Retenir *M(i)*;
- Si *PR [M (i), lp]* ≤ 0 alors Rejeter *M(i)* ;

(4) Faire un ordre décroissant de l'ensemble des contremesures en fonction de la valeur de *PR*. Plus la proactivité *PR* est élevée, plus la contremesure est recommandée.

2.3.4.2. Contremesures de mitigation pour les acteurs dépendants

Dans cette section, nous traitons le degré de dépendance des acteurs dépendants vis-à-vis des influents. L'idée est de proposer des contremesures *CM* (à ne pas confondre avec les contremesures M pour les influents) afin de d'agir sur le niveau de dépendance *WF*.

Afin d'agir sur le poids *WF*, il faut soit supprimer les flux qui vont dégrader le fonctionnement du système, soit changer le chemin préférentiel du flux qui consiste à faire une refonte (ou redesign) de la chaîne logistique standard. En modifiant la trajectoire des flux, nous pouvons diminuer le degré de dépendance vis-à-vis de certains acteurs et l'augmenter vis-à-vis d'autres acteurs.

Exemple : Si nous demandons aux infirmières de prendre un ensemble de livraisons médicales aux patients afin de remplacer, en partie, les livreurs, nous diminuons la dépendance des patients vis-à-vis des livreurs mais nous l'augmentons vis-à-vis des infirmiers.

La refonte de la chaîne logistique de l'HAD dédiée aux situations de crise aiguës peut atténuer la vulnérabilité globale du système en temps de crise. Nous visons à établir la meilleure

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

distribution de *WF* en tenant compte des contremesures possibles que nous pouvons mettre en œuvre.

2.3.4.3. Proactivité des contremesures *PR'*

Le critère de sélection des contremesures *CM (m)* est la proactivité *PR'[CM (m), lp]*. Nous proposons donc un modèle de programmation linéaire basé sur le VAM visant à minimiser la vulnérabilité globale de la structure et donner une meilleure distribution des niveaux de dépendance *WF (i, j)*.

Le modèle est baptisé optiVAM pour faire référence à l'aspect d'optimisation en utilisant le VAM présenté précédemment. Nous rappelons les équations principales du modèle VAM ci-dessous :

$$FVI(i,j) = LRS(i,i) * LRB(i,j);\ \forall i, \forall j \quad (2.2.12)$$

$$AVI(j) = \sum_{i=0}^{NA} WF(i,j) * FVI(i,j)\ ;\ \forall \mathrm{j} \quad (2.2.14)$$

$$DAVI(j,1) = AVI(j);\ \forall j \quad (2.2.15)$$

$$DAVI(j,p+1) = \sum_{i=0}^{NA} WF(i,j) * DAVI(i,p) * FVI(i,j)\ ;\ \forall j, \forall p \quad (2.2.16)$$

$$DFVI(i,j,1) = FVI(i,j);\ \forall i, \forall j \quad (2.2.17)$$

$$DFVI(i,j,\mathrm{p}+1) = DAVI(i,p) * FVI(i,j);\ \forall i, \forall j, \forall p \quad (2.2.18)$$

$$OV(p) = \sum_{i=0}^{NA} \sum_{j=0}^{NA} WF(i,j) * DFVI(i,j,p);\ \forall p \quad (2.2.19)$$

De la même manière que la proactivité *PR* des contremesures *M (i)* pour les Influents, on peut calculer la proactivité *PR'* des contremesures *CM (m)* dédiés aux dépendants, en utilisant l'équation (2.3.4).

$$PR'[CM(m), lp] = \frac{OV(lp) - OV'[M(i), lp]}{OV(lp)} \quad (2.3.4)$$

Avec :

- *OV (lp)* : Vulnérabilité globale à la dernière période *lp*, sans aucune contremesure, calculée avec VAM.
- *OV' [CM (m), lp]* : Vulnérabilité globale à la dernière période *lp* après la mise en œuvre de la contremesure *CM (m)*, calculée avec optiVAM.
- *PR '[CM (m), lp]* : Proactivité de la contremesure *CM (m)* à la dernière période *lp*.

Un atelier avec les managers et praticiens (infirmiers, livreurs, médecins, etc.) de l'HAD avec laquelle nous travaillons dans notre projet PrHoDoM (l'HAD Soins et Santé) a été organisé afin de proposer une liste de contremesures possibles que nous pouvons mettre en œuvre. Nous sommes parvenus à une liste de contremesure. Nous associons à chaque *CM* une matrice d'impact *CME* pour définir l'effet global sur tous les flux (voir la colonne « impacts sur le niveau de dépendance » dans le tableau 2.3.1).

Le tableau 2.3.1 résume une liste de contremesures *CM (m)* relatives aux flux échangés *F (i, j)* et leurs impacts *CME (i, j, m)* sur le niveau de dépendance.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Table 2.3. 1: Les contremesures et leurs impacts sur le niveau de dépendance

Flux	**Contremesures**	**Dénotation**	***CME(i,j,m)*: impacts de CM(m) sur le niveau de dépendance *WF(i,j)***
F(0,7)	Un membre de la famille peut accompagner le patient à l'hôpital au lieu du transport sanitaire	*CM(1)*	CME(0,7,1)=-2/10 ; CME(0,0,1)=+2/10
F(0,4)	Infirmiers en relais à une partie de la tâche des livreurs lors de leurs passages chez le patient	*CM(3)*	CME(0,4,3)=-3/10 ; CME(1,0,3)= +3/10
	Optimiser le routage des tournées de collecte des livreurs	*CM(4)*	CME(0,4,4)=-2/10
F(0,6)	Minimiser le nombre de visites avec l'aide des membres de la famille (sans transport sanitaire)	*CM(18)*	CME(0,6)=-3/10
F(6,0)	Minimiser le nombre de retours à la maison avec l'aide des membres de la famille (sans transport sanitaire)	*CM(19)*	CME(6,0,19)=-2/10 CME(0,0,19)=-2/10
F(1,0)	Possibilité de reprogrammer les soins, de les reporter (minimiser la fréquence de visite)	*CM(5)*	CME(1,0,5)=-2/10
F(1,6)	Appel aux retraités et à la réserve du personnel de santé en guise de renfort en temps de crise	*CM(6)*	CME(1,6,6)=-1/10
	Minimiser le recours aux cabinets libéraux	*CM(7)*	CME(1,6,7)=-1/10
F(4,0)	Les infirmiers peuvent effectuer un certain nombre de livraisons	*CM(8)*	CME(4,0,8)=-2/10 ; CME(1,0,8)= +2/10
	Collaborer avec plus d'un fournisseur pour minimiser la dépendance.	*CM(9)*	CME(4,0,9)=-1/10
F(4,6)	Utilisation des taxi-livreurs (ubérisation).	*CM(10)*	CME(4,6,10)=-3/10

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

F(4,2)	Infirmiers en relais à une partie de la tâche des livreurs lors de leurs passages chez le patient	*CM(3)*	CME(4,2,3)=-3/10; CME(1,0,3)=+3/10
	Utilisation de taxi-livraison de l'hôpital à la pharmacie interne en cas d'urgence.	*CM(11)*	CME(4,2,11)=-2/10
F(6,4)	Utilisation de taxi-livraison de l'hôpital à la pharmacie interne en cas d'urgence.	*CM(11)*	CME(6,4,11)=-2/10
F(6,7)	Un membre de la famille peut accompagner le patient à l'hôpital.	*CM(12)*	CME(6,7,12)=-2/10 ; CME(0,0,12)=+2/10; CME(0,6,12)=+2/10
F(7,0)	Un membre de la famille peut accompagner le patient à l'hôpital.	*CM(12)*	CME(7,0,12)=-3/10 ; CME(0,0,12)=+2/10
	Reporter le transport avec l'aide d'une infirmière au chevet du patient.	*CM(2)*	CME(7,0,2)=-2/10 ; CME(1,0,2)=+2/10
F(7,6)	Un membre de la famille peut accompagner le patient à l'hôpital au lieu du transport sanitaire	*CM(1)*	CME(7,6,1)= -2/10 ; CME(0,0,1)= +2/10
F(2,4)	Les infirmiers peuvent effectuer un certain nombre de livraisons	*CM(8)*	CME(2,4,8)=-2/10 ; CME(1,0,8)=2/10
	Utilisation des taxi-livreurs (ubérisation).	*CM(10)*	CME(2,4,10)= -2/10
F(3,2)	Collabore avec plusieurs fournisseurs.	*CM(13)*	CME(3,2,13)=-4/10
F(5,0)	Utilisation de Visio-consultation quand c'est possible avec l'aide d'un infirmier ou d'un membre de la famille.	*CM(14)*	CME(5,0,14)=-4/10; CME(1,0,14)=+1/10; CME(0,0,14)=+1/10
F(6,5)	Collaborer avec les médecins de ville.	*CM(15)*	CME(6,5,15)=-2/10
	Minimiser l'appel aux médecins hospitaliers.	*CM(16)*	CME(6,5,16)=-1/10
F(8,0)	Les livreurs peuvent faire partie de la tâche pour la collecte de DASRI.	*CM(17)*	CME(8,0,17)=-2/10 ; CME(4,0,17)= +2/10

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

2.3.4.4. Présentation du modèle OptiVAM

Dans cette section nous allons présenter le modèle optiVAM en détails.

- Paramètres :

  - F (i, j): matrice de flux binaire de l'HAD (matrice d'adjacence);

  - *FVI (i,j)*: l'indicateur de vulnérabilité statique des flux;

  - *WF (i, j)*: la matrice initiale de dépendance;

  - *CME (i, j, m)*: impact de chaque contremesure m;

  - *Y (k)*: valeurs possibles du niveau de dépendance,

  - *lp*: dernière période de calcul de la vulnérabilité dynamique;

  - *NC*: nombre de contremesures;

  - *NA*: nombre d'acteurs.

- Variables de décision :

  - *WFC (i, j)*: matrice résultante de la dépendance après la mise en œuvre des contremesures;

  - *W (i, j, k)*: variable binaire égale à 1 si le poids *WFC (i, j)* est égal à *Y (k)*, et égal à 0 sinon.

  - *CM (m)*: variable binaire, égale à 1 si la contremesure *m* est sélectionnée, et 0 sinon.

  - *DAVI '(j, p)*: variable réelle, égale à la vulnérabilité dynamique de l'acteur j dans la période p, après la mise en œuvre des contremesures.

  - *DFVI '(i, j, p)*: variable réelle, égale à la vulnérabilité dynamique du flux *(i, j)* dans la période *p*, après la mise en œuvre des contremesures.

- Fonction objectif :

$$Minimize\ OV(lp) = \sum_{j=0}^{NA} DAVI'(j, lp) \qquad (2.3.5)$$

La fonction objectif vise à minimiser la vulnérabilité globale de la chaîne logistique de l'HAD calculée à la dernière période *lp*.

$$DFVI'(i, j, 1) = FVI(i, j);\ \forall i, \forall j \in A \qquad (C2.3.1)$$

Les contraintes (C2.3.1) assurent la mise en place de l'état initial de chaque flux.

$$WFC(i, j) = \sum_{k=1}^{10} Y(k) * W(i, j, k) \qquad (C2.3.2)$$

Selon l'équation (2.2.1) ($WF(i, j) = \frac{a_{ij}}{a_{max}}; \forall i, \forall j = 0..NA$) *WF (i, j)* ne peut prendre qu'une valeur *Y(k)* dans un ensemble dénombrable fini et défini comme suit :

Y (k) ∈ {1 /10, 2/10, ..., 9/10,1}, k = 1..10.

Par conséquent, WFC (i, j) doit prendre des valeurs dans le même domaine de définition. Les contraintes (C2.3.2) assurent cette condition.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

$$DAVI'(j,1) = \sum_{i=0}^{NA} WFC(i,j) * FVI(i,j)\ ;\ \forall j \qquad \text{(C2.3.3)}$$

Les contraintes (C2.3.3) assurent l'initialisation de l'état de chaque acteur.

$$DFVI'(i,j,p+1) = DAVI'(i,p) * FVI(i,j);\ \forall i, \forall j, \forall p = 1..lp-1 \qquad \text{(C2.3.4)}$$

Les contraintes (C2.3.4) visent à calculer l'indicateur de vulnérabilité des flux dynamiques par rapport à chaque flux.

$$DAVI'(j,p+1) = \sum_{i=0}^{NA} WFC(i,j) * DAVI'(i,p) * FVI(i,j)\ ;\ \forall j, \forall p \qquad \text{(C2.3.5)}$$

Les contraintes (C2.3.5) permettent le calcul de l'indice de vulnérabilité dynamique des acteurs.

$$\sum_{k=1}^{10} W(i,j,k) = F(i,j)\ ;\ \forall i, \forall j \qquad \text{(C2.3.6)}$$

Contraintes (C2.3.6) garantissent que *WFC (i, j)* prendra une valeur unique *Y (k)* puisque *F(i, j)* est binaire, et que la nouvelle distribution du poids de dépendance *WFC* dans le réseau ne va pas créer de nouvelles connexions ni omettre certains flux. Il va juste réguler les poids sur les connexions existantes dans le réseau.

$$WFC(i,j) = WF(i,j) + \sum_{m=1}^{NC} CM(m) * CME(i,j,m)\ ;\ \forall i, \forall j \qquad \text{(C3.7)}$$

Les contraintes (C2.3.7) permettent la sélection de contremesures, et par conséquent le calcul du poids cumulé de dépendance *WFC (i, j)* basé sur le poids standard *WF (i, j)* et les impacts *CME (i, j, m)* des contremesures sélectionnées.

En outre, le modèle optiVAM, tel que défini ci-dessus présente une non-linéarité due à une multiplication de deux variables réelles [*WFC (i, j) * DAVI '(i, j)]* dans les contraintes (C2.3.5). Par conséquent, nous devons linéariser cette expression.

Sachant que :

$$WFC(i,j) = \sum_{k=1}^{10} Y(k) * W(i,j,k) \qquad \text{(2.3.6)}$$

On peut donc écrire :

$$WFC(i,j) * DAVI'(i,p) = \sum_{k=1}^{10} Y(k) * W(i,j,k) * DAVI'(i,p)\ ;\ \forall i, \forall j, \forall p \qquad \text{(2.3.7)}$$

Notons que *DAVI '(i, p)* est une variable réelle bornée, il existe, donc, une grande valeur *HV* telle que:

$$DAVI'(i,p) \leq HV;\ \forall i, \forall p \qquad \text{(2.3.8)}$$

[*W (i, j, k) * DAVI '(i, p)*] est une multiplication d'une variable binaire *W (i, j, k)* et d'une variable réelle bornée *DAVI' (i, p)* qui présente, donc, une non linéarité. Afin de linéariser cette expression, nous devons ajouter une variable réelle et 4 contraintes.

Soit *Z (i, j, k, p)* une variable réelle telle que :

$$Z(i,j,k,p) = W(i,j,k) * DAVI'(i,p);\ \forall i, \forall j, \forall k, \forall p \qquad \text{(2.3.9)}$$

Nous ajoutons les contraintes suivantes :

$$Z(i,j,k,p) \geq 0;\ \forall i, \forall j, \forall k, \forall p \qquad \text{(C2.3.8)}$$

$$Z(i,j,k,p) \leq W(i,j,k) * HV;\ \forall i, \forall j, \forall k, \forall p \qquad \text{(C2.3.9)}$$

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

$$Z(i,j,k,p) \leq DAVI'(i,p);\ \forall i, \forall j, \forall k, \forall p \quad \text{(C2.3.10)}$$

$$Z(i,,j,k,p) \geq DAVI'(i,p) - \{[1 - W(i,j,k)] * HV\};\ \forall i, \forall j, \forall k, \forall p \quad \text{(C2.3.11)}$$

Ainsi, nous pouvons remplacer les contraintes (C2.3.5) par les contraintes (C2.3.12) définies ci-dessous.

$$DAVI'(j,p+1) \geq \sum_{i=0}^{NA}\{\left[\sum_{k=1}^{10}\left(Y(k) * \mathrm{Z}(i,j,k,p)\right)\right] * FVI(i,j)\}\ ;\ \forall j, \forall p = 1..lp-1$$
(C2.3.12)

Ainsi, nous avons défini le modèle optiVAM dans sa forme linéaire.

Dans la section suivante, nous analysons une étude de cas basée sur le même scénario de crise que nous avons considéré dans la section 2.2 : le scénario de pandémie grippale.

2.3.5. Étude de cas

Rappel du scénario: Suite à une analyse de la situation épidémiologique depuis début janvier, l'ARS confirme une recrudescence de l'activité grippale qui marque le début de l'épidémie saisonnière de grippe en France. Cette recrudescence est particulièrement marquée sur la région du Rhône -Alpes. Dix cas graves, décédés, ont été enregistrés depuis le début de l'épidémie, ainsi qu'une centaine ont été admis en réanimation. Cette période a été toujours marquée par l'exacerbation des virus grippaux mais elle est particulièrement aiguë cette année. Actuellement, les virus grippaux Influenza B et A/H1N co-circulent.

2.3.5.1 Classification des acteurs

Afin de classer les acteurs de la chaîne logistique de l'HAD, nous devons d'abord calculer la vulnérabilité globale *OV* au cours de la dernière période, c'est-à-dire la période 3. En utilisant l'équation (2.2.19) ou (2.3.2), nous obtenons :

$$OV(3) = 168111.0927$$

2.3.5.2 Définition de la classe des acteurs influents (I)

Nous calculons le degré d'influence *Inf (i, 3)* conformément à l'équation (2.3.1). Le tableau 2.3.2 représente le classement des acteurs par ordre décroissant de leurs influences cumulées.

Table 2.3. 2: Calcul de l'influence cumulée des acteurs

Acteurs	***Inf (i,3)***	**Inf cumulée**	**% de *OV(3)***
6	76528,24203	76528,24203	0,455224226
4	32524,11409	109052,3561	0,648692209
5	19333,47303	128385,8292	0,763696357
7	17348,23871	145734,0679	0,866891444
1	14460,22867	160194,2965	0,952907354
2	5435,235918	165629,5325	0,985238569

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

0	2435,908903	168065,4414	0,999728445
3	23,61183437	168089,0532	0,999868899
8	22,0395479	168111,0927	1

Selon les règles présentées dans la section 2.3.2.1, nous pouvons construire la classe des influents.

$$I = \{6,4,5\}$$

2.3.5.3. Définition de la classe des acteurs dépendants (Dp)

Nous calculons le degré d'influence *DAVI (i, 3)* conformément à l'équation (2.16). Le tableau 2.3.3 représente le classement des acteurs en fonction de leur *DAVI* cumulé.

Table 2.3. 3: Calcul de DAVI cumulé

Acteurs	***DAVI (i,3)***	***DAVI* cumulé**	**% de *OV(3)***
0	48339,96	48339,96419	0,287547736
6	40844,63	89184,59896	0,5305099
5	19989,12	109173,7198	0,649414135
4	18186,15	127359,8656	0,757593467
1	16536,71	143896,5806	0,855961247
7	13592,28	157488,8587	0,936814199
2	10616,73	168105,5896	0,999967265
8	3,974345	168109,5639	0,999990906
3	1,528824	168111,0927	1

Selon les règles présentées dans la section 2.3.2.2, nous pouvons construire la classe des acteurs dépendants.

$$Dp = \{0, 6, 5, 4\}$$

Par la suite, nous pouvons déduire la composition des classes des acteurs critiques et des acteurs neutres.

$$Cr = \{6, 5, 4\}$$

$$N = \{1, 2, 3, 7, 8\}$$

Les acteurs neutres n'ont pas d'impact énorme sur la vulnérabilité globale de la chaîne logistique de l'HAD. Ils n'ont pas besoin de contremesures supplémentaires pour mitiger leurs vulnérabilités.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

En ce qui concerne les acteurs critiques, une attention particulière doit être attribuée à cette classe d'acteurs. Nous remarquons que cette classe comprend les livreurs, les médecins et les hôpitaux. Les livreurs et les médecins seront traités comme influents et dépendants avec les contremesures appropriées.

Les hôpitaux relèvent des acteurs exogènes (ne font pas partie des acteurs internes de l'HAD), mais ils jouent un rôle clé dans la chaîne logistique de l'HAD. Ce n'est pas dans le contexte de cette thèse de traiter leur niveau de résilience en termes de capacité de réponse, de niveau de préparation et de niveau de responsabilité. Néanmoins, il est possible d'établir des collaborations bilatérales entre les HADs et les hôpitaux. Ce type de relation doit être basé sur la confiance et l'échange. Le système de santé doit être cohérent en termes de stratégie de gestion de crise. Nous venons de voir à travers le scénario étudié l'impact mutuel entre l'HAD et les hôpitaux en termes de vulnérabilité. L'une des solutions les plus urgentes consiste à intégrer clairement les structures d'HAD dans les plans de gestion des crises hospitalières et vice-versa. Les programmes bilatéraux de formation et de préparation auraient pour rôle de sensibiliser les différents acteurs et, par conséquent, améliorer la proactivité globale du système de santé.

2.3.5.4. Contremesures de mitigation pour les acteurs influents

Les résultats présentés dans le tableau 2.3.2 montrent que 3 des 9 acteurs absorbent près de 80% de la vulnérabilité globale *OV(3)*. Il suffirait d'agir de manière efficace sur ces 3 acteurs pour pouvoir maîtriser une grande partie de la vulnérabilité injectée dans le réseau. En effet, les 3 acteurs sont concernés par les contremesures en tant qu'influents.

Les hôpitaux sont des acteurs externes et nous n'avons pas nécessairement de contrôle sur leur système de gestion de crise. Pour les deux autres acteurs, les contremesures suivantes sont présélectionnées pour être évaluées en termes de proactivité.

Contremesures présélectionnées : *M (1), M (2), M (3), M (7), M (8).*

Notons que *M (4)* et *M (5)* ne sont pas recommandés car la qualité des flux de livreurs et de médecins est satisfaisante.

Le tableau 2.3.4 présente les différentes contremesures et leurs proactivités relatives *PR*.

Table 2.3. 4: Calcul de la proactivité PR des contremesures M(i)

M(i)	**Définition**	***OV_1 [M(i), 3]***	***PR [M(i), 3] %***	**Rang**
M(1)	Ajout de 3 livreurs et 1 médecin	130540	22,34	1
M(2)	Faire des exercices de gestion de crise pour les livreurs et les médecins	147905	12,01	4
M(3)	Organiser des campagnes de sensibilisation pour les livreurs et les médecins	153221	08,85	5

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

M(7)	Utiliser la visio-consultation plutôt que des visites physiques lorsque la situation le permet pour les médecins	146848	12,64	3
M(8)	Optimiser les tournées des livreurs et les médecins	142574	15,19	2

Le tableau 3.4 montre que toutes les contremesures présélectionnées peuvent être maintenues du moment qu'elles dégagent une proactivité positive. On constate que deux contremesures *M (1)* et *M (8)* sortent du lot avec respectivement 22,34% et 15,19% de proactivité. Nous remarquons directement l'effet de la capacité de réponse de ces acteurs influents ainsi que l'impact positif de l'optimisation. Il vaudrait mieux avoir toujours une réserve en termes de ressources qui pourraient être mobilisées en temps de crise. De plus, l'aspect d'optimisation est fortement recommandé. Par conséquent, un outil d'optimisation pour le routage des véhicules devrait être mis en place. Enfin, l'utilisation de la visio-consultation semble être prometteuse même si elle n'est pas réellement accessible à tous les établissements d'HAD, et n'est pas valable pour toutes les pathologies.

2.3.5.5. Contremesures de mitigation pour les acteurs dépendants

Dans cette section, nous traitons les acteurs dépendants, à savoir : les patients, les hôpitaux, les médecins et les livreurs. Toutes les contremesures sont présélectionnées sauf *CM (13)*. La pré-sélection a été faite sur les contremesures qui concernent les flux qui engagent les acteurs dépendants.

Nous résolvons optiVAM en utilisant CPLEX 12.6.2. La résolution n'a pris que quelques fractions de secondes. Les résultats montrent que le modèle a sélectionné 13 contremesures : *CM (1), CM (4), CM (15), CM (6) CM (7), CM (8), CM (9), CM (10), CM (11), CM (12), CM (14), CM (15), CM (16).*

La mise en œuvre de l'ensemble des 13 contremesures donne un *OV'(3)* résultant égal à 60872.014, ce qui signifie une proactivité cumulée de 63.79% par rapport à la valeur de *OV (3)* initiale de 168111.0927. On peut donc constater l'impact énorme d'agir sur le niveau de dépendance des acteurs dépendants. Cependant, il est difficile de mettre en œuvre 13 contremesures en même temps. Ceci conduit à donner une refonte complète de l'HAD, ce qui est assez perturbant au niveau opérationnel. Un compromis entre la proactivité et la stabilité du fonctionnent doit donc être recherché. Les gestionnaires peuvent définir le nombre de contremesures à sélectionner et évaluer leur proactivité.

Pour les besoins de l'analyse de sensibilité, nous ajoutons la contrainte (C2.3.13) au modèle optiVAM afin de limiter le nombre de contremesures à sélectionner en même temps.

$$\sum_{m=1}^{19} CM(m) \leq NC \qquad \text{(C2.3.13)}$$

Avec :

- *NC* : Nombre maximum de contremesures à sélectionner.

Le tableau 2.3.5 montre la valeur de la proactivité pour différentes *NC*.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Table 2.3 .5: Calcul de la proactivité PR' pour différent NC

NC	***CM(m)***	***OV'(3)***	***PR'* % cumulée**
1	CM(10)	136472.536	18,82
2	CM(10), CM(15)	118460.018	29,53
3	CM(10),CM(15),CM(11)	104243.751	37,99
4	CM(10),CM(15),CM(11), CM(1)	93238.199	44,53
5	CM(10),CM(15),CM(11), CM(1),CM(12)	84532.123	49,71

La contrainte (C2.3.13) nous permet de sélectionner les contremesures les plus proactives. Par conséquent, nous pouvons faire un classement basé sur le niveau de proactivité. Sur la base des résultats présentés ci-dessus, nous remarquons que *CM(10), CM(15) et CM(11)* se distinguent des autres, ce qui signifie que ce sont les contremesures les plus efficaces. Les gestionnaires peuvent établir des contrats de collaboration avec les entreprises de taxi-livreurs pour leur disponibilité immédiate en temps de crise. Ceci rejoint un concept en pleine expansion qui est l'ubérisation. En outre, des contrats avec des cabinets de médecins privés et libéraux sont également recommandés et pourraient donner de bons résultats.

Conclusion

Dans cette section, nous avons poursuivi notre analyse stratégique dédiée à la phase de préparation du plan de gestion de crise pour les HADs. L'objectif était d'améliorer la préparation de la chaîne logistique de l'HAD dans le cadre des scénarios de crise. L'essentiel de ce travail est de proposer des contremesures proactives pour atténuer l'effet des perturbations sur le fonctionnement de la structure HAD. Sur la base de la phase d'évaluation de vulnérabilité présentée dans la section 2.2, nous avons proposé une classification des acteurs en quatre classes (Influents (I), Dépendants (Dp), Critiques (Cr) et Neutres (N)), suite à une analyse sur deux axes (Influence, dépendance) et utilisant une méthode basée sur le principe de Pareto (80-20). Pour les influents, les contremesures ont été conçues pour améliorer le niveau de résilience (manque de résilience *LRS*) de chaque acteur et la robustesse (manque de robustesse *LRB*) de chaque flux livré des influents aux dépendants. Alors que pour les acteurs dépendants, un programme linéaire a été proposé, basé sur le VAM et baptisé optiVAM qui vise à sélectionner des contremesures efficaces afin de trouver la meilleure distribution des niveaux de dépendance *WF* entre les acteurs.

L'approche a été testée sur un scénario hypothétique de grippe pandémique aiguë. L'étude montre que les hôpitaux sont des acteurs prépondérants dans la chaîne logistique de l'HAD. Par conséquent, il est recommandé d'établir des collaborations bilatérales en termes de gestion de crise entre les structures d'HAD et les hôpitaux. Il est également approprié pour l'HAD de

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

trouver le bon compromis entre la stabilité de la structure actuelle et la mise en œuvre de contremesures afin d'améliorer la proactivité de la chaîne logistique face aux différentes crises.

Ainsi nous avons fini la partie d'analyse stratégique concernant la phase de préparation des plans de gestion de crise. Dans ce qui suit, nous allons entamer l'analyse opérationnelle dédiée à la phase de réponse.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

CHAPITRE 3 :

ANALYSE OPERATIONNELLE : ETUDE DE LA PHASE DE REPONSE DU PLAN DE GESTION DE CRISES

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Préambule

Dans cette partie d'analyse opérationnelle du plan de gestion de crise, nous nous focalisons sur la phase de réponse du plan blanc de l'HAD. La phase de réponse à la crise commence dès l'apparition d'un élément déclencheur. Ce dernier peut être une alerte, une information confirmative dans le cas des catastrophes naturelles, ou la survenue même de la crise dans le cas des crises d'origine humaine de type attaque terroriste ou intoxication malveillante, etc.

Dans le contexte de l'HAD dès la réception de l'information de la part des patients, de l'agence régionale de santé ou de la direction territoriale, le processus d'activation de la cellule de crise (voir processus sur le lien suivant : http://www.prhodom.disp-lab.fr/ProcessusPlanBlanc.pdf) est déclenché.

Le but de cette partie est de développer des outils d'aide à la décision pour soutenir la cellule de crise en temps d'urgence. Aujourd'hui notre partenaire ne dispose pas de ce genre d'outils. N'ayant pas vécu de crise de grande ampleur, les membres de la cellule de crise seront obligés d'improviser pour prendre les solutions leur semblant les meilleures. L'objectif est donc de minimiser cette marge d'improvisation qui est toujours une source d'erreurs et de risques surtout lorsqu'il s'agit de secourir des vies humaines.

Dans ce qui suit une revue de littérature sur les travaux qui ont été menés en rapport avec notre problématique, est discutée.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

3.1. Etat de l'art

Notre recherche bibliographique porte principalement sur la réponse de la chaîne logistique de l'HAD face à une crise sanitaire d'origine naturelle et/ou d'origine humaine. Comme nous l'avons signalé précédemment, les travaux portant sur la gestion des urgences en HAD sont très rares.

D'un point de vue plus global, la réponse à la crise en HAD implique des activités et des opérations de logistique humanitaire de type, évacuation, localisation, gestion de stock, etc. Nous avons donc étendu notre recherche aux modèles de réponse étudiés dans le cadre de la logistique humanitaire.

Nous étudions principalement les articles publiés entre 2007 et 2017. Mais un bon nombre de travaux intéressants qui ont été publiés avant 2007 sont également étudiés. Nous attribuons une attention particulière aux modèles d'optimisation et de simulation. Nous avons utilisé les bases de données suivantes : Web of science, Science Direct, Springer, Taylor & Francis.

Pareillement à la première partie de bibliographie concernant l'analyse stratégique, nous avons défini deux familles de mots clés. La recherche a été faite sur la base des croisements entre ces deux familles de mots clés.

- Famille 1' : emergency, catastrophe, natural disaster, man-made disaster,
- Famille 2' : humanitarian logistics, humanitarian relief, crisis management, logistics response,

Quelle que soit l'origine de la crise, il y a un certain nombre de décisions majeures à prendre et un nombre d'opérations à mettre en œuvre : évacuation de la population dans les zones en danger, distribution des secours, localisation des lieux de rassemblements (les abris), allocation de ressources, gestion de stocks, etc.

Dans ce cadre, Caunhye, Nie et Pokharel (2012) a effectué un état de l'art sur les modèles d'optimisation utilisés dans la logistique de réponse aux situations d'urgence.

Chen et al. (2014) a proposé une classification à trois niveaux des travaux portants sur la logistique humanitaire :

- Niveau 1 : orientation logistique (localisation, évacuation etc.),
- Niveau 2 : type de la catastrophe (naturel, humaine, intégrée),
- Niveau 3 : méthodes et approches utilisées dans la résolution du problème.

Dans notre contexte, nous allons étudier les articles portants sur la logistique humanitaire mais en lien avec les activités qui peuvent être déployées par l'HAD pour répondre à une crise quelconque.

Nous avons identifié les sous-problèmes suivants :

- La localisation des lieux de rassemblements (les abris),
- L'évacuation de la population en danger vers les lieux de rassemblement,
- Distribution des secours à la population évacuée et à celle maintenue à domicile,
- La gestion des stocks des produits à livrer et des médicaments à administrer.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

3.1.1. La localisation des lieux de rassemblements (abris)

La localisation concerne la construction de nouvelles infrastructures dans la phase de préparation à la crise, et le choix d'ouverture des sites déjà construits dans la phase de réponse. La plupart des travaux portants sur la localisation utilisent la programmation mixte en nombres entiers (Caunhye et al., 2012).

La majorité des travaux traitent des problèmes mono-période du moment que la plupart de travaux de localisation sont dédiés à la phase de préparation stratégique.

Le problème de localisation dans la phase de réponse consiste principalement à choisir le ou les meilleurs sites parmi une liste de candidats potentiels selon les critères prédéfinis (coût de fonctionnement, coût d'ouverture, durée de transport, etc.).

Le problème de localisation généralisé est, dans la plupart des cas, modélisé comme un problème de couverture maximale (maximal covering problem). Ainsi on maximise le nombre de personnes à affecter aux sites ouverts. Plusieurs auteurs ont utilisé cette modélisation dont (Alsalloum et Rand, 2006; Dessouky et al., 2009; Doerner et al., 2005; Jia et Dessouky, 2007a, 2007b ; Murali, Ordóñez, et Dessouky, 2012; Tricoire, Graf, et Gutjahr, 2012).

Li et al. (2012) ont développé un modèle de programmation à deux niveaux pour optimiser le choix des emplacements des lieux de rassemblement sous différentes conditions basées sur différents scénarios d'ouragans. Goerigk, Grün et Heßler (2014) ont combiné la localisation des points de collecte et les lieux de rassemblement avec le besoin d'ordonnancement et ont développé une heuristique pour résoudre le problème.

D'autres auteurs se sont focalisés sur le problème de localisation mais en phase de préparation pour choisir les emplacements des sites à ouvrir en temps de crise, et ont utilisé la méthode du p-médian (Xi et al., 2013) et la méthode du p-centre (Huang, Kim et Menezes,s 2010).

Certains auteurs ont combiné le modèle de couverture maximale avec la théorie de la File d'Attente (Galvão, Chiyoshi et Morabito 2005; McLay, 2009; Takeda, Widmer, et Morabito, 2007). Notons que la simulation a été également utilisée pour étudier les scénarios d'afflux sur les sites à ouvrir (Whitworth, 2006).

3.1.2. L'évacuation des personnes en danger vers les lieux de rassemblements

La littérature traitant des problèmes d'évacuation est assez riche. Beaucoup d'intérêt a été attribué à l'évacuation des bâtiments suite à une catastrophe telle qu'un incendie.

Pelechano et Malkawi (2008) ont passé en revue les modèles de simulation traitant de l'évacuation des bâtiments en cas d'incendies. La simulation a été utilisée en particulier dans les études d'évacuation microscopiques qui capturent les détails du comportement des évacués en temps de catastrophe (Kaup et al., 2002). Wu et al. (2007) ont intégré un système d'information géographique (SIG) dans un modèle de simulation à événement discret en utilisant le logiciel Arena pour simuler le processus d'évacuation et dimensionner les ressources à mobiliser. Chen, Guinet et Ruiz (2014) ont étudié le scénario d'évacuation d'un hôpital suite à une alerte de crue en combinant un modèle d'optimisation pour le dimensionnent de ressources humaines et matérielles avec un modèle de simulation pour simuler les flux d'évacuation.

En ce qui concerne les études d'évacuation macroscopique qui portent sur l'évacuation des zones en danger. Les auteurs recourent à l'optimisation basée sur des outils de recherche

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

opérationnelle. Dans ce genre d'études, on néglige certains détails du problème tels que le comportement de l'évacué. Sayyady et Eksioglu (2010) ont proposé un modèle linéaire mixte et une méthode de recherche Tabou pour gérer l'évacuation des zones menacées en utilisant le système des transports en commun.

Récemment, une nouvelle variante du problème d'optimisation des tournées de véhicules (Vehicle routing problem VRP), appelée BEP (Bus Evacuation Problem), qui consiste à transporter des évacués d'un ensemble de points de collecte vers un ensemble de points de rassemblement prédéfinis appelés abris, en utilisant des bus avec des capacités limitées, a suscité l'intérêt des chercheurs. Le BEP a été clairement étudié d'abord par Bish (2011), où il a modélisé le BEP et a proposé deux heuristiques efficaces pour résoudre le problème. Goerigk, Grün et Heßler (2013) ont développé des heuristiques différentes pour trouver les limites inférieures et supérieures du problème et les ont implémentées dans un cadre intégré. Goerigk et Grün (2014) ont formulé une version linéaire mixte et robuste du BEP, où le nombre exact de véhicules n'est pas connu à l'avance.

Kongsomsaksakul, Yang, et Chen (2005) ont développé un programme à deux niveaux pour modéliser l'évacuation à la suite de la prévision d'une crue. Le premier niveau est dédié à la recherche d'un ensemble de points de collecte optimaux pour rassembler les évacués, tandis que le second trouve le meilleur choix d'itinéraires. Tzeng, Cheng et Huang (2007) ont proposé un modèle multi-objectif basé sur la théorie des Ensembles Flous et visant à minimiser à la fois le coût et le temps de déplacement, mais aussi à maximiser le niveau de satisfaction. Yi et Özdamar (2007) ont proposé une formulation du problème qui vise à coordonner la logistique du support et la dynamique d'évacuation avec un souci d'équilibre entre les différents services. Tayfur et Taaffe (2009) ont proposé un modèle de programmation entière pour dimensionner les ressources impliquées dans les activités d'évacuation dans un horizon temporel prédéfini. Song, He et Zhang (2009) ont combiné la localisation avec le problème de routage sous l'incertitude de la demande pour trouver le meilleur itinéraire d'évacuation. Bish (2011) ont utilisé une formulation linéaire mixte pour classer les différents types de personnes à évacuer.

3.1.3. Distribution des secours (relief distribution)

La distribution de secours concerne l'affectation des secours et le choix des modes de distribution. Campbell, Vandenbussche et Hermann (2008) ont modélisé la distribution des secours en tant que problème de tournées de véhicule dans le but de minimiser le temps de livraison. Clark et Culkin (2013), Doerner et al. (2005), Naji-Azimi et al. (2012) et Nolz et al. (2010) ont proposé une formulation basée sur le problème de tournée de couverture (Covering tour problem) pour modéliser ce problème. Ekici, Keskinocak et Swann (2008) ont développé un modèle mathématique pour estimer les besoins alimentaires et ont proposé un modèle de réseau de distribution alimentaire.

Lee et al. (2006), Rytilä et Spens (2006) et Ke and Zhao (2008) ont utilisé la simulation pour prendre en compte l'incertitude et traiter des scénarios réels. Hu and Zhao (2011) et Wang, Wang et Zeng (2009) ont utilisé des équations différentielles pour la modélisation de l'incertitude pour l'estimation de la demande. Jamrog, Shatz et Smith (2007) ont utilisé des chaînes de Markov pour modéliser l'évolution de la maladie de l'anthrax. Chen, Guinet et Ruiz (2016) ont proposé un modèle linéaire pour la réponse à une attaque terroriste biologique avec l'anthrax. L'étude a été faite pour un scénario d'étude sur une demande des Hospices Civils de Lyon.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

La théorie des Ensembles Flous a été également utilisée pour mitiger l'effet des incertitudes pour prioriser les zones affectées par la crise. Sheu (2007) a utilisé la méthode de clustering basée sur les Ensembles Flous pour regrouper les zones affectées et leurs assigner des degrés de priorités. Tzeng Cheng et Huang (2007) a proposé un modèle d'optimisation floue visant à minimiser le coût de transport et maximiser le niveau de satisfaction.

3.1.4. Gestion de stocks

En logistique humanitaire, après avoir évacué la population il faut bien lui assurer les secours nécessaires en termes de soins, de médicaments, de nourriture, etc. Subséquemment, la gestion de stock de ces produits est concernée.

Ozguven et Ozbay (2013) et Taskin et Lodree (2010) ont proposé des modèles d'optimisation avec l'objectif de minimiser le coût total. Ozbay et Ozguven (2007) a développé un modèle de gestion de stock stochastique qui détermine les quantités optimales de réapprovisionnement. Ils étudient des scénarios d'intervention d'urgences à long terme. Wein, Craft, et Kaplan (2003) ont formulé une série d'équations différentielles pour le dimensionnement des stocks nécessaires des antibiotiques pour répondre à une attaque bioterroriste.

En temps de réponse à la crise, la collaboration entre plusieurs entrepôts est nécessaire pour l'échange des produits (médicaments par exemple) et afin de rendre la disponibilité de ces derniers immédiate en temps voulu. Dans ce cadre la Théorie des Jeux a été utilisée pour mettre en œuvre cette mutualisation des entrepôts avec la prise en compte de plusieurs facteurs dont l'accord d'aide mutuelle entre les différentes parties prenantes (Adida, DeLaurentis et Lawley, 2011; Delaurentis, Adida et Lawley, 2008; DeLaurentis, Adida et Lawley, 2009).

3.1.5. Discussion

Au vu des travaux présentés, on peut affirmer que la logistique humanitaire est d'une importance indéniable qui a suscité l'intérêt des chercheurs dans de nombreuses disciplines. En termes de modélisation, il s'agit d'un contexte qui fait appel à plusieurs sous problèmes, à savoir la localisation, l'évacuation, la gestion de stocks, etc. Les travaux sont nombreux et nous avons sélectionné ceux que nous avons jugés les plus pertinents en rapport avec notre thématique de recherche.

En termes de méthodes et approches utilisées, la programmation mathématique a été la plus utilisée. D'autres méthodes ont été marginalement utilisées, à savoir la Simulation, la Théorie des Jeux, et les réseaux de File d'Attente.

La majorité absolue des travaux traitent des problèmes mono-période alors qu'il serait bien commode de prendre en compte l'aspect temporel dans la gestion de crise. La plus part des crises ont un impact important dans la durée, telle que les crues, les intoxications biologiques, etc.

Notons aussi que la majorité des travaux présentés n'ont pas été fondés sur des cas réels ou des scénarios réalistes capturant les détails de la vie réelle.

Les problématiques ont été étudiées séparément, sauf pour quelques cas de combinaison telle que localisation-allocation et localisation-évacuation. Il serait mieux de prendre en compte les problématiques concernées dans un cadre intégré. Les décisions portant sur l'un des problèmes peuvent influer sur un autre surtout dans un contexte dynamique et multi-période.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Il faut signaler qu'aucun des travaux cités ci-dessus n'a traité clairement la réponse à une crise dans le contexte d'HAD. L'HAD présente un certain nombre de particularité qu'il faut prendre en compte lors de notre étude, à savoir :

- L'HAD est une structure avec une logistique particulière. Prenons le cas de l'évacuation, les patients ne peuvent pas se déplacer du moment que ce sont, en général, des personnes âgées et non autonomes dispersées.
- L'HAD fait appel à plusieurs types de ressources humaines (médecins, infirmiers, livreurs, etc.) qui travaillent dans un cadre réglementaire très stricte.
- L'HAD fait partie d'un système de santé national, et en temps de crise une coordination inter-établissement des moyens doit se faire au mieux.

Pour remédier à ces gaps identifiés nous proposons une étude par scénarios basés sur des cas réels dédiés à la gestion des urgences en HAD et en collaboration avec notre partenaire dans le projet PrHoDom, l'HAD Soins et Santé.

Nous proposons donc :

- Un modèle de réponse à une crise d'origine humaine de type intoxication criminelle avec la toxine botulique dans les réseaux de distribution collective des repas à domicile. Le modèle intègre l'évolution de la maladie et de l'état du patient, à l'aide d'une version étendue du modèle compartimental SIR (Susceptible - Infected – Removed), avec un modèle d'affectation et de dimensionnement de ressources humaines et matérielles. Nous étudions le problème dans un contexte multi-période de collaboration entre une HAD et un hôpital conventionnel dans le cadre d'un plan blanc élargi.

- Un modèle de réponse à une crise d'origine naturelle de type crue qui s'étend dans le temps. Le modèle proposé prend en compte les particularités de l'HAD et de ses patients. Nous prenons en compte l'aspect d'évolution de la crise dans le temps. Notre modèle combine un modèle de partitionnement (Set Partionning Problem) avec un problème d'évacuation, de localisation-allocation et d'affectation avec la prise en compte de coûts fixes et des coûts variables dans un contexte multi-période.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

3.2. Un plan de gestion des urgences pour faire face à une attaque criminelle d'origine alimentaire

Introduction

Dans cette section nous allons étudier la problématique d'accès aux soins causée par une menace d'origine humaine, à savoir l'intoxication. L'intoxication alimentaire est fréquente dans la restauration collective. Les infections peuvent survenir avec les matières premières utilisées, du processus de préparation des aliments, des moyens de transport et de conservation utilisés, etc. Dans cette section, nous étudions le scénario d'une intoxication alimentaire malveillante impliquant des patients de l'HAD. Les patients pris en charge en HAD sont principalement des personnes handicapées et / ou âgées. Étant non autonomes, ils commandent des repas aux traiteurs. Un employé criminel d'un traiteur pourrait infecter les aliments qui empoisonnent une partie des patients de l'HAD mais aussi des personnes valides. Pour faire face à cette menace, la structure d'HAD a prévu de collaborer avec les hôpitaux conventionnels pour mieux soigner les personnes pendant les phases aiguës et de rétablissement de l'infection, dans le cadre d'un plan blanc élargi (voir chapitre 1 pour plus de détails sur le plan blanc élargi). Rappelons que la collaboration bilatérale entre les HADs et les hôpitaux conventionnels a été identifiée comme une contremesure stratégique et une piste d'amélioration de la proactivité dans la section 2.3.

Un modèle de programmation linéaire est donc proposé pour simuler le scénario étudié et évaluer ses conséquences. Il modélise l'infection d'origine alimentaire et la réponse médicale dans le cadre d'une collaboration HAD-Hôpital, c.-à-d., un plan blanc élargi.

Les travaux présentés dans cette section vont être présentés à la conférence ILS 2018.

3.2.1. Contexte

Sur l'ensemble des menaces prises en compte par le plan blanc des HAD, nous avons identifié trois problématiques majeures, telles que l'accessibilité difficile aux domiciles, l'impossibilité de maintien des soins de qualité, et l'afflux massif des patients. Le scénario étudié dans ce chapitre consiste à répondre à un risque biologique. Il peut être d'origine accidentelle ou malveillante. Ce travail concerne la contamination délibérée de la chaîne d'approvisionnement alimentaire. Il fait partie des études de défense alimentaire (Bogadi, Banović, et Babić 2016; Maillot 2010; Manning et Soon, 2016). La défense alimentaire peut être définie comme le processus visant à assurer la sécurité des aliments et des boissons, et de leur chaîne d'approvisionnement contre les attaques malveillantes cherchant à nuire ou gagner frauduleusement de l'argent (Manning et Soon 2016). Les premières études sont apparues après les attentats du 11 septembre (Sheffi 2001; Sobel, Khan, et Swerdlow, 2002). La défense alimentaire est axée sur la protection de la chaîne d'approvisionnement alimentaire physique. Elle diffère des autres études sur la salubrité des aliments où la contamination des aliments est involontaire. Dans notre cas, la contamination des aliments est intentionnelle, c'est-à-dire criminelle. De telles attaques criminelles peuvent avoir lieu dans des fermes, des usines de transformation des aliments, des chaînes de distribution, des magasins de détail ou des restaurants (Khan, Swerdlow, et Juranek, 2001). Les stades préalables (fermes) et de post-

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

production (magasins ou restaurants) sont plus vulnérables en raison de l'accès peu protégé à la nourriture (Manning et Soon, 2016). Les usines de transformation peuvent être l'étape la plus critique en raison de la grande dispersion postérieure des produits aux clients (Sobel et al. 2002). Les attaques sont anonymes pendant la période de contamination afin d'empoisonner délibérément un plus grand nombre de consommateurs. Les criminels pourraient être des employés licenciés, des concurrents malveillants, des terroristes, etc. (Bogadi et al., 2016; Manning et Soon, 2016). Des études plus générales sur la défense de la chaîne d'approvisionnement peuvent être trouvées dans (Sheffi, 2001) qui a spécifié certaines contre-mesures générales concernant le choix du fournisseur, l'emplacement de l'usine, la gestion des stocks, la standardisation des processus, etc.

La plupart des intoxications alimentaires se produisent dans la restauration collective. Ce secteur de l'industrie a d'importants problèmes de gestion des ressources humaines en raison des conditions de travail: heures de travail, cadences de travail, jours de repos, etc. (Forté et Monchatre, 2013). La restauration qui comprend la production et la livraison de repas représente un secteur vulnérable où une intoxication alimentaire accidentelle ou malveillante est très probable. Afin d'étudier le pire des scénarios générant les conséquences les plus néfastes dans le temps, nous émettons l'hypothèse d'une attaque criminelle qui est plus longue à détecter et qui peut contaminer plusieurs aliments différents.

Nous étudions le scénario d'une intoxication alimentaire malveillante des patients d'une structure de l'HAD, dont le contexte est comme suit. Les patients pris en charge en HAD commandent les repas à un traiteur recommandé par la structure d'HAD. Un employé criminel du traiteur qui infecte les aliments qui empoisonnent une partie des patients de l'HAD et certaines personnes valides en dehors de l'HAD. Une épidémie d'origine alimentaire est initiée. Pour faire face à cette menace, la structure de l'HAD a déjà prévu de collaborer avec les hôpitaux conventionnels pour mieux soigner les personnes pendant les phases aiguës et de rétablissement de l'infection, dans le cadre d'un plan blanc élargi.

3.2.2. L'agent biologique

En tant que choix d'agent biologique pour notre scénario d'attaque alimentaire, la bactérie botulique A a été sélectionnée pour les raisons suivantes:

- Les spores de la bactérie botulique sont thermorésistantes, elle est largement présente dans la nature (sol, rivière, mer). Elle produit des toxines en l'absence d'oxygène. Il existe 7 formes différentes de toxine botulique.
- La toxine botulique A est la plus létale pour l'homme. L'intoxication peut être causée par une infection intestinale, des plaies ou des inhalations.
- La bactérie botulique n'est pas transmissible d'une personne à une autre.
- L'immunogénicité des toxines botuliques n'a été étudiée que pour le Botox (toxines botuliniques A utilisées pour traiter les spasmes sévères dans les muscles du cou et la spasticité post-AVC). Le taux d'immunogénicité est égal à 15% (Naumann et al., 2013).
- La toxine botulique A bloque la transmission neuronale dans les muscles et progresse du cou, aux bras et aux poumons (Balali-Mood, Moshiri et Etemad, 2013). Elle est inodore, incolore et sans gout. En l'absence de ressources médicales, le taux de mortalité peut atteindre 78% (Smith, Roxas-Duncan et Smith 2010).

Une antitoxine existe mais elle doit être administrée dès que les signes neurologiques du botulisme apparaissent, soit environ entre 24 heures et 72 heures après l'exposition (Arnon et

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

al., 2001). L'administration d'antitoxine nécessite une hospitalisation de 7 jours (Leclair et al., 2013), ce qui peut être fait dans une HAD. Au-delà de 72 heures l'antitoxine n'est plus efficace, le traitement de la toxine botulique consiste principalement en des soins de soutien nécessitant des ventilateurs mécaniques et une alimentation par sonde entérale ou parentérale, plus précisément une hospitalisation de 14 jours dans une unité de soins intensifs et 14 jours de soins à domicile (Leclair et al., 2013; Souayah et al., 2012). Les soins intensifs peuvent être retardés si les patients sont emmenés en unité d'urgence, mais le taux de mortalité des patients retardés (plus d'une demi-journée) est égal à 36% en raison d'infections respiratoires (Hung et al., 2014).

3.2.3. Etude du scénario

3.2.3.1. Présentation du scénario

Un traiteur prépare et transporte des repas pour un groupe d'habitants de la métropole lyonnaise. Une partie importante de ses clients est composée de patients de l'HAD Soins est Santé (25%). Les repas sont livrés aux patients une ou plusieurs fois par semaine. La restauration est un domaine d'activité où le taux de rotation du personnel (158%) (Forté et Monchatre, 2013) est très élevé. En France, les maladies d'origine alimentaire dans la restauration collective (55%) sont élevées (Delmas et al., 2010).

Un employé récemment recruté répand la toxine botulique dans les desserts lactés (Wein et Liu, 2005). Beaucoup de clients sont contaminés, qui peuvent appartenir à la structure d'HAD. Une antitoxine existe, elle doit être administrée dès l'apparition des symptômes et entre 12h et 72h après l'ingestion. Au-delà de cette période, la personne infectée doit être prise en charge dans une unité de soins intensifs sans tarder pour pallier les défaillances respiratoires et digestives.

3.2.3.2. La réponse médicale dans le cadre d'un plan blanc élargi

Dans le cadre d'une collaboration entre l'HAD et les hôpitaux conventionnels, les HADs peuvent fournir des soins de restauration alors que les hôpitaux conventionnels peuvent se consacrer aux soins intensifs. Cette coordination pourrait offrir beaucoup d'avantages mutuels. La rééducation à domicile raccourcit la durée du séjour du patient, et favorise la santé physique du patient et la réintégration familiale (Lewin et al., 2014; Tinetti et al., 2002). Ceci est particulièrement vrai pour les pathologies cardiologiques (Frick et al., 2009; Kornowski et al., 1995; Shing, 2011) et les défaillances respiratoires (Appierto et al., 2002; Frick et al., 2009). Une autre amélioration résultant de la collaboration entre l'HAD et l'hospitalisation conventionnelle est la libération du service d'urgence, l'HAD déchargeant directement le système d'urgence sans nécessiter de lits d'hospitalisation (Frick et al., 2009). Une telle collaboration avec le service d'urgence ou un autre service d'hospitalisation peut être planifiée à l'admission du patient sans difficulté, minimisant le stress du personnel et facilitant la gestion du programme de soins du patient.

La structure d'HAD et l'hôpital conventionnel nécessitent une bonne coordination entre eux en termes d'administration de médicaments (par exemple en utilisant un livret pharmaceutique commun) et des soins techniques infirmiers (c'est-à-dire des protocoles de soins). Le livret pharmaceutique définit une liste de médicaments et de dispositifs médicaux (recommandés pour le traitement des pathologies) et fournit des informations sur leur dosage et leurs contre-indications. Le but d'un protocole de soins est d'une part de minimiser le risque iatrogène dû aux erreurs de prescription, et d'autre part de simplifier les soins techniques afin que le soignant soit moins stressé et accorde plus d'attention au patient. La coopération entre les structures d'HAD et les hôpitaux conventionnels ne peut être bénéfique que si ces acteurs ont l'habitude

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

de travailler ensemble de façon routinière. Ils peuvent tous les deux faire face à la situation de crise avec efficacité dans le cadre d'un plan blanc élargi, en échangeant des patients aigus et en récupérant des patients en rétablissement.

Compte tenu du scénario étudié, nous retenons l'hypothèse d'un plan de gestion des urgences approuvé entre un hôpital conventionnel et l'HAD Soins et Santé. L'objectif d'un tel plan d'urgence est d'améliorer l'efficacité des ressources (lits et infirmiers) en consacrant les soins aigus à l'hôpital conventionnel et les soins de rétablissement à la structure d'HAD. Les lits ne sont pas une contrainte pour les HADs et les infirmiers sont flexibles car ceux sont indépendants. Cependant, le nombre de places est limité en ce qui concerne le nombre de patients traités par infirmier, car la législation du travail limite l'emploi des infirmiers libéraux vis-à-vis des employés.

3.2.4. Le modèle de réponse

3.2.4.1. Modélisation de la maladie: Une extension du modèle SIR

Le modèle compartimental dynamique peut varier en taille et en complexité selon le cas d'étude. L'équation (3.2.1) est une équation générique qui décrit le développement des différents états (stades) du patient

$$X_p^i = X_{p-1}^i + \sum_{k=1}^{N} X_p^{k,i} - \sum_{l=1}^{N} X_p^{i,l} \qquad (3.2.1)$$

Avec :

- N : le nombre total des états,
- X_p^i : le nombre de patients à l'état i de la période p,
- $X_p^{k,i}$: le nombre de patients passant de l'état k à l'état i au cours de la période p,
- $\sum_{k=1}^{N} X_p^{k,i}$: le nombre total de patients qui passent à l'état i à la période p,
- $X_p^{i,l}$: le nombre de patients qui passent de l'état i à l'état l à la période p,
- $\sum_{l=1}^{N} X_p^{i,l}$: le nombre total de patients qui sortent de l'état i dans la période p.

En général, on peut estimer le nombre de patients passant d'un état à un autre. La méthode la plus utilisée est de multiplier le nombre de patients susceptible de passer de l'état actuel au prochain état, par un taux de transition.

Dans la littérature, et selon le cas d'étude et le type de la maladie modélisée, il y a trois manières d'estimer le taux de transition :

- le taux de transition est un paramètre constant (Hu et Zhao, 2011),
- le taux de transition de l'état i à l'état l, dénoté par $\Psi_p^{i,l}$, est calculé par la fonction de la densité temporelle $f_t^{i,l}$, comme le montre l'équation (3.2.2)
  (Wein et al., 2003; Craft, Wein, et Wilkins 2005).

$$\Psi_p^{i,l} = \int_0^p f_t^{i,l} dt \qquad (3.2.2)$$

- le taux de transition est calculé à partir de la fonction de densité cumulée ($F_t^{i,l}$) et la fonction de la densité de probabilité ($f_t^{i,l}$), comme le montre l'équation (3.2.3).

$$\Psi_p^{i,l} = \int_0^p \int_0^u f_v^{i-2,l} f_{u-v}^{i,-1l} F_{u-p}^{i,l} du dv \qquad (3.2.3)$$

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Dans le troisième cas, le taux de transition de l'état i aux prochains états est influencé par les taux de transition des états précédents.

Dans notre cas nous optons pour la première méthode, c.à.d, un taux de transition constant d'un état à un autre que nous allons détailler par la suite.

En résumé, le modèle SIR (Susceptible- Infected - Recovered) est connu sous le nom du modèle compartimental en épidémiologie. Dans le cas le plus simple, il peut stratifier la population en trois statuts de santé : sensibles à la maladie (notées par S sur la figure 3.2.1), infectées par la maladie (notée par I sur la figure 3.2.1), et éliminées de la maladie (notées par R sur la figure 3.2.1).

Dans la plupart des cas de la littérature, les personnes infectées seront divisées en plusieurs stades, telles que (Latent : c'est-à-dire sans symptôme, Prodromal : c'est-à-dire avec symptôme et Fulminant : c'est-à-dire sévère / détérioré) (Colizza et al., 2007).

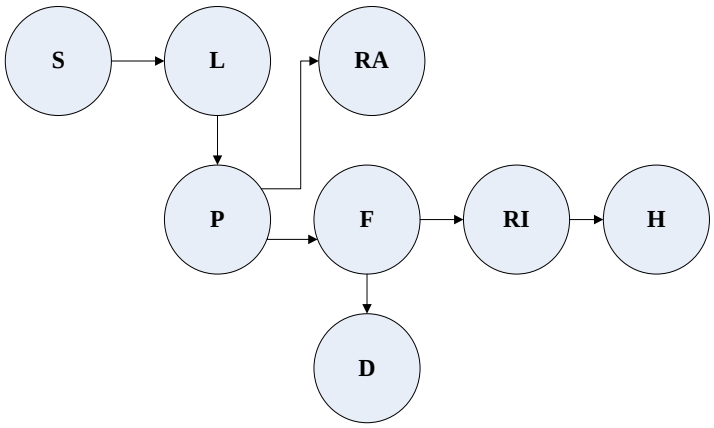


Figure 3.2. 1: Les états de la maladie

Sur la figure 3.2.1, nous avons détaillé l'état de rétablissement R en des états intermédiaires ; RA (c'est-à-dire récupéré avec l'antitoxine), RI et H (c'est-à-dire rétabli avec des soins intensifs en hôpital conventionnel suivi de soins à domicile en HAD). Cela nous permet de modéliser les deux réponses médicales indépendantes. Un autre état D pour la mort a également été défini pour plus de clarté dans le modèle de programmation linéaire ci-dessous.

Nous utilisons une représentation discrète du modèle SIR sur un horizon de périodes journalières. Lorsque la maladie n'est pas transmise directement d'une personne à une autre ou lorsque le taux d'infection est constant, le modèle SIR peut être linéarisé (Büyüktahtakın, des-Bordes, et Kıbış, 2018), ce qui est notre cas.

3.2.4.2. Le modèle linéaire

Dans cette section nous allons décrire les différents composants du modèle linéaire.

- **Les données**

– Nbstat: nombre d'états des patients, 8 états ont été définis :

S : susceptible,
L : latent,
P : prodromique
RA : rétabli avec administration d'antitoxine

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

F : fulminant
RI : hospitalisé en USI (Unité de Soins Intensif)
H : hospitalisé en HAD
D : décédé

– Nper: Nombre de périodes en jours,

– Nipat: Nombre de patients de l'HAD susceptibles d'être empoisonnés, c'est-à-dire livrés par le traiteur,

– Nepat: nombre de personnes extérieures susceptibles d'être empoisonnées, c'est-à-dire livrées par le traiteur,

– Irat: taux d'infection, c'est-à-dire pourcentage de personnes non infectées par le repas empoisonné

– Prat: taux prodromique, c'est-à-dire pourcentage de personnes développant des symptômes,

– Drat: taux de mortalité, c'est-à-dire le pourcentage de personnes décédées en attente de soins intensifs,

– Canti: coût de l'antitoxine et coût d'hospitalisation des médicaments dans une structure de l'HAD pendant 7 jours,

– Cicu: coût de l'admission du patient pendant deux semaines en unité de soins intensifs suivi de deux semaines en soins à domicile pour l'assistance respiratoire,

– Hlife: estimation du coût de la vie humaine en matière d'indemnité légale en France pour une victime,

– Nbed: Nombre de lits à l'unité de soins intensifs disponibles pour recevoir des victimes à l'hôpital conventionnel,

– Nhome: Nombre de places disponibles pour recevoir des victimes au HAD, l'HAD n'a pas de limite de capacité de lit mais un nombre limité de visites d'infirmiers et des limites d'équipements médicaux,

– HCdose: Nombre de doses d'antitoxine disponibles à la pharmacie de l'HAD,

– CHdose: Nombre de doses d'antitoxine disponibles à la pharmacie de l'hôpital conventionnel,

– Pdet: Période où l'attaque est détectée et localisée sachant que l'attaque criminelle est anonyme,

– Alos: durée de l'hospitalisation pour un traitement antitoxine (en HAD),

– ILos: durée de l'hospitalisation en unité de soins intensifs,

– Hlos: durée de l'hospitalisation à l'hôpital après l'unité de soins intensifs,

– Mlos: Maximum entre Alos et Hlos,

- **Variables de décision**

Trois variables entières ont été définies

– EV_{ksp}: Nombre de personnes d'origine en état k (externes ou internes à l'HAD) qui passent à l'état s pendant la période p,

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Avec :

k= 1, 2 pour respectivement externe et interne à l'HAD

s = {S, L, P, RA, F, RI, H, D}

– CHexch: Nombre de doses d'antitoxine envoyées de l'hôpital conventionnel à la pharmacie de l'HAD,
– HCexch: Nombre de doses d'antitoxine envoyées par l'HAD à la pharmacie de l'hôpital conventionnel.

- **Fonction objectif**

$$Minimiser \quad \sum_{k=1}^{2}\sum_{p=1}^{Nper} EV_{kDp} * Hlife + \sum_{k=1}^{2}\sum_{p=1}^{Nper} EV_{kRIp} * Cicu + \sum_{k=1}^{2}\sum_{p=1}^{Nper} EV_{kRAp} * Canti \qquad (3.2.4)$$

On vise à minimiser les coûts de la réponse médicale, c'est-à-dire le coût d'indemnisation pour les personnes décédées, le coût des traitements avec antitoxine et les coûts des soins intensifs et d'hospitalisation. Comme le coût de l'indemnisation est environ dix fois plus élevé que les autres coûts, la minimisation du nombre de décès est le critère principal. D'autres auteurs ont utilisé la même approche d'intégration des critères dans l'analyse des risques (Suddle, 2009).

- **Les contraintes**

$$EV_{1S1} = Nepat \qquad (C3.2.2)$$

$$EV_{2S1} = Nipat \qquad (C3.2.2bis)$$

$$EV_{1Sp} = EV_{1S(p-1)} * (1 - Irat) \quad p = 2,\dots,Pdet + 3 \qquad (C3.2.2ter)$$

$$EV_{2Sp} = EV_{2S(p-1)} * (1 - Irat) \quad p = 2,\dots,Pdet + 3 \qquad (C3.2.2quart)$$

Les personnes peuvent être infectées de la première période à la période où l'attaque est détectée et localisée (état S). Les symptômes apparaissent au plus tard 3 jours après la dernière période (Pdet). Les autres personnes sont en sécurité.

$$EV_{kLp} = EV_{kS(p-1)} * Irat \quad p = 2,\dots,Nper \quad k = 1,2 \qquad (C3.2.3)$$

En utilisant le taux d'infection I_{rat} on peut calculer le nombre de personnes infectées. En effet, les personnes mangeant un repas empoisonné sont infectées (état L).

$$EV_{kPp} = EV_{kL(p-1)} * Prat - EV_{kRA(p-1)} \quad p = 2,\dots,Nper \; k = 1,2 \quad (C3.2.4)$$

Durant les jours suivants l'empoisonnement, seule une partie des personnes développe des symptômes (état P). Les antitoxines sont administrées dès l'apparition des symptômes (état RA), sans attendre la confirmation du test médical (Arnon et al., 2001).

$$\sum_{p=1}^{Nper} EV_{1RAp} \leq CHdose + HCexch - CHexch \qquad (C3.2.5)$$

$$\sum_{p=1}^{Nper} EV_{2RAp} \leq HCdose + CHexch - HCexch \qquad (C3.2.5bis)$$

Le nombre de doses d'antitoxine est limité mais peut être partagé par les deux structures d'hospitalisation (HAD et hôpital). Ils sont dispensés uniquement aux patients prodromiques.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

$$EV_{kFp} = EV_{kF(p-1)} * (1 - Drat) + EV_{kP(p-1)} - EV_{kRI(p-1)} \quad p = 4,\dots,Nper \quad k = 1,2 \quad (C3.2.6)$$

De la période 4 à la fin de l'horizon, les victimes attendent d'être hospitalisées dans les unités de soins intensifs (état F), une partie d'entre elles est admise (Etat RI) et une partie d'entre elles commence à mourir.

$$\sum_{q=p}^{p+ILos-1} EV_{kRIq} \leq Nbed \quad p = 1,\dots,Nper - ILos + 1 \quad k = 1,2 \quad (C3.2.7)$$

Le nombre de lits de soins intensifs est limité pour chaque période. Les patients admis en unité de soins intensifs de la période *p* à (*p + ILos-1*) occuperont un lit pendant les périodes de la durée de séjour *ILos*.

Les capacités des lits doivent être vérifiées pour chaque valeur (*p + ILos-1*).

Propriété: Pour p = 1, si la contrainte est satisfaite pour la période (1 + ILos-1), elle est forcément satisfaite pour les périodes précédentes de 1 à (1 + ILos-2) grâce à la somme.

$$EV_{kH(p+Ilos)} = EV_{kRIp} \quad p = 4,\dots,Nper - Ilos \quad k = 1,2 \quad (C3.2.8)$$

Le séjour en HAD suit le séjour de *Ilos* périodes en unité de soins intensifs dans l'hôpital conventionnel (état H).

$$\sum_{q=p}^{p+MLos-1} EV_{1RAq} + \sum_{q=p}^{p+MLos-1} EV_{1RIq} \leq Nhome \quad p = 1,\dots,Nper - MLos + 1 \quad (C3.2.9)$$

Le nombre de places en HAD est limité mais elles ne sont utilisées que pour une durée de séjour définie, les patients de l'HAD n'augmentent pas la charge de travail de l'HAD car ils sont déjà admis et planifiés. Sur un horizon de périodes *Mlos*, les patients externes recevant des traitements d'antitoxine et les patients externes, en voie de rétablissement venant de l'unité de soins intensifs, sont pris en charge par l'HAD. Nous calculons le nombre de nouveaux patients à la période (*p + Mlos-1*). La même propriété pour la contrainte (C3.2.7) est vérifiée.

$$EV_{kDp} = EV_{kF(p-1)} * Drat \quad p = 4,\dots,Nper \quad k = 1,2 \quad (C3.2.10)$$

Les personnes non traitées sont décédées (état D).

3.2.4.3. Expérimentation

3.2.4.3.1. Jeu de données

– Nper: un horizon de trois mois est étudié,

– Nipat: 100 personnes,

– Nepat: 300 personnes,

– Irat: 64%, une personne commande en moyenne 4.5 repas par semaine,

– Prat: taux prodromique, c'est-à-dire pourcentage de personnes développant des symptômes, 85% = 1-15%, avec 15% le taux d''immunogénicité (Naumann et al., 2013),

– Drat: 36% (Hung et al., 2014),

– Canti: coût de l'antitoxine et coût d'hospitalisation dans une structure de l'HAD pendant 7 jours, respectivement 2500 € et 300 € * 7 soit 4600 €,

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

– Cicu: coût de l'admission du patient pendant deux semaines en unité de soins intensifs suivi de deux semaines en soins à domicile pour l'assistance respiratoire, respectivement 2300 € * 14 et 300 € * 14 soit 36400 €,

– Hlife: en France pour une victime âgée de 65 ans, l'indemnisation est de 300 000 € selon l'ONIAM (2018),

– Nhome: 130 places,

– Pdet: l'attaque est supposée criminelle et elle est donc anonyme, il faut donc attendre l'apparition des premiers symptômes sur les patients pour détecter l'attaque, c'est-à-dire 4 jours plus tard,

– Alos: 7 jours,

– ILos: 14 jours,

– Hlos: 14 jours

– Mlos: 14 jours.

3.2.4.3.2. Résultats et analyses

Les stocks stratégiques français d'antitoxine botulique sont d'environ 50 doses (EPRUS, 2013). Cependant, les doses disponibles varieront de 50 à 100 par hôpital. Nous supposons que les doses d'antitoxines disponibles sont distribuées aux HADs et aux hôpitaux conventionnels afin que les antitoxines soient immédiatement disponibles.

Il y a environ 200 lits de soins intensifs dans la métropole de Lyon situés dans 5 hôpitaux différents (Carrie, 2018). Sachant que les lits de soins intensifs sont nécessaires pour la chirurgie et pour plusieurs pathologies de différentes spécialités médicales; nous supposons que 1/4 à 3/4 des lits peuvent être libérés par les hôpitaux pour recevoir des patients empoisonnés. Le nombre de lits de soins intensifs disponibles varie de 50 à 150. Nous supposons un nombre infini de ventilateurs mécaniques, c'est-à-dire de ventilateurs à pression positive pour remédier aux problèmes respiratoires.

Les symptômes apparaissent généralement dans les 72 premières heures (Arnon et al., 2001). Au quatrième jour, on soupçonne que le nombre de victimes qui mangent les aliments du traiteur est élevé; par conséquent le traiteur est au courant de l'attaque au plus tôt à la fin de la période 4 et arrête son activité.

L'empoisonnement accidentel n'a pas été retenu car il aurait d'abord conduit à une découverte de l'incident plus tôt et ensuite à une durée d'apparition plus courte grâce à une source unique de contamination au lieu de plusieurs sources criminelles de contamination. Le pire des cas est étudié.

La réponse médicale à l'attaque biologique est le plan de gestion des urgences partageant les places d'HAD et les lits d'hôpitaux conventionnels. Les lits de soins intensifs sont la ressource nécessaire pour la phase aiguë du botulisme et l'HAD peut soutenir la respiration et l'assistance nutritionnelle pour la phase de rétablissement du botulisme. Une admission du patient pendant deux semaines en unité de soins intensifs suivie de deux semaines en HAD définit le programme de soins du patient. Son coût est égal à 2300 € * 14 et 300 € * 14, soit 36400 €. Le séjour complet équivalent à l'hôpital coûte 2300 € * 14 et 1000 € * 14, soit 46200 € si l'hôpital dispose de suffisamment de ressources, notamment d'infirmiers et de lits. La collaboration entre l'unité

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

de soins intensifs et l'HAD permet d'optimiser l'utilisation des ressources humaines et matérielles. La différence de coût est expliquée par des frais fixes qui sont plus légers pour les structures de l'HAD qui ne possèdent pas de matériel médical lourd parce que le diagnostic du patient est connu.

15 cas ont été résolus avec CPLEX 12.6.2 pour 5 nombres différents de lits de soins intensifs libérés et 3 différents niveaux de stocks stratégiques d'antitoxine.

Le tableau 3.2.1 présente le nombre de décès, le coût de la réponse médicale en euros et le nombre de séjours en unité de soins intensifs utilisés par les patients de l'HAD et les victimes en hôpitaux conventionnels, pour les 15 cas résolus.

Table 3.2. 1: Nombre de décès et coût de la réponse médicale en fonction de l'intensité des ressources

Nombre de doses pour l'HAD	Nombre de doses pour l'hôpital	Nombre de lits à l'USI	Nombre de décès	coûts médicaux	Nombre de séjours en USI pour les patients d'HAD	Nombre de séjours en USI pour les patients d'hôpital
50	50	50	189	59 027	0	50
50	50	75	164	52 450	0	75
50	50	100	139	45 873	0	100
50	50	125	114	39 298	0	125
50	50	150	89	32 728	20	130
50	100	50	139	44 283	0	50
50	100	75	114	37 708	0	75
50	100	100	89	31 138	0	100
50	100	125	64	24 568	0	125
50	100	150	39	17 999	24	126
100	100	50	89	29 548	0	50
100	100	75	64	22 978	0	75
100	100	100	39	16 409	0	100
100	100	125	15	9 851	11	114
100	100	150	0	6 006	15	125

Le nombre de décès varie de 189 à 0. Il diminue en fonction du nombre croissant de lits disponibles aux soins intensifs dans la même proportion. Un lit d'unité de soins intensifs n'est jamais utilisé deux fois ou plus, car aucune victime ne peut attendre jusqu'à 14 jours, c'est-à-

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

dire la durée du séjour en unité de soins intensifs. Le nombre de décès diminue d'une manière proportionnelle avec l'augmentation des stocks d'antitoxine quand ceux-ci ne sont pas en excès. Le coût médical passe de 59 027 K€ à 6 006 K€. Il est inversement proportionnel à l'intensité des ressources et résulte des coûts d'indemnisation de la vie humaine.

En ce qui concerne la meilleure réponse médicale, un minimum de 190 doses d'antitoxine avec 150 lits de soins intensifs ou de 200 doses d'antitoxine avec 140 lits de soins intensifs est nécessaire pour une absence de décès. Ces dernières situations ont été évaluées avec notre modèle. Les lits de soins intensifs sont principalement utilisés pour les victimes en dehors de la structure d'HAD et ils sont les plus nombreux. Les patients d'HAD sont principalement traités avec l'antitoxine du moment qu'ils sont déjà pris en charge en HAD.

En ce qui concerne les échanges d'antitoxine entre les pharmacies, les antitoxines en excès sont proposées à l'hôpital partenaire. Le nombre optimal de places en HAD est fixé à 130 et a été calculé avec notre modèle, moins de places font augmenter le nombre de victimes en raison du traitement antitoxine qui a lieu en HAD.

Le nombre de décès peut atteindre 200 et le coût de l'hospitalisation est de plusieurs millions d'euros. Pour faire face à une telle crise, la collaboration entre les hôpitaux conventionnels et les structures de l'HAD est une bonne réponse et doit être soigneusement étudiée et préparée pour augmenter l'efficacité des ressources médicales dans le cadre d'un plan blanc élargi. Au-delà des objectifs spécifiques à chaque structure, le but est de sauver le plus grand nombre de victimes en fournissant la meilleure réponse médicale.

Le nombre de lits dans les hôpitaux conventionnels est limité en raison du budget financier. La collaboration entre un hôpital et une structure de l'HAD dans le cadre d'activités régulières ou de réponse à une menace leur permet d'augmenter les possibilités d'admission des patients en assouplissant la contrainte de capacité hospitalière avec la flexibilité du lit de soins à domicile.

Le centre hospitalier "Soins et Santé" négocie actuellement un plan de gestion des urgences avec un hôpital conventionnel de Lyon qui possède un service des urgences et des unités de soins intensifs.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié le scénario d'intoxication dans les services de restauration collective impactant les patients pris en charge en l'HAD. Ce travail a étudié l'impact d'une attaque alimentaire avec la toxine botulique, c'est-à-dire l'une des substances les plus toxiques connues dans la restauration collective. Nous avons modélisé l'évolution des états de patients à travers une extension du modèle compartimental SIR. Ainsi, un outil d'optimisation basé sur un modèle de programmation linéaire est proposé, afin de calculer les conséquences humaines et économiques de l'attaque en termes de nombre de décès et de coût de la réponse médicale. Il permet d'évaluer les réponses médicales basées sur la collaboration entre l'HAD et l'hôpital, de dimensionner les ressources humaines et matérielles, d'anticiper l'admission des victimes en unité de soins intensifs et en HAD, de calculer les conséquences de l'attaque afin d'évaluer les opportunités de contremesures (par exemple un service de livraison de repas à domicile dédié à plusieurs hôpitaux).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

3.3. Réponse à une menace hydrologique : Régulation entre l'évacuation et le maintien à domicile

Introduction

Dans cette section nous nous intéressons aux crises d'origine naturelle. On vise à développer un nouvel outil pour soutenir les structures de soins à domicile dans la préparation de leur plan de gestion des risques et plus particulièrement dans la phase de réponse. La régulation entre l'évacuation et le maintien à domicile des patients est la décision majeure que les gestionnaires peuvent prendre afin de sécuriser leurs patients. L'outil proposé fournit un plan d'évacuation pour les patients critiques à évacuer et un plan de soutien à domicile pour les patients à risque faible qui seront maintenus à domicile en utilisant des regroupements basés sur l'évaluation du risque de chaque patient. Le modèle combine un modèle de partitionnement dynamique basé sur l'évolution du risque individuel et la proximité géographique entre les patients, et un modèle d'affectation et de localisation tenant compte de coûts fixes et variables.

Les travaux développés dans ce chapitre ont fait l'objet d'une publication qui sera présentée à la conférence internationale INCOM 2018.

3.3.1. Présentation du problème

En cas de catastrophes naturelles telle une crue, les ressources de l'HAD sont concernées et sont mises en première ligne. Pendant la crise, le fonctionnement de la structure de l'HAD est perturbé. Les patients pris en charge par l'HAD doivent être sécurisés et secourus. L'activité principale qui consiste à délivrer les soins aux domiciles est compromise. Certaines visites planifiées seront reportées et d'autres seront annulées. Il en est de même pour l'activité de livraison et de consultation médicale.

Selon (Kreibich et al., 2009), les catastrophes naturelles, telles que les inondations, les tornades, la neige, sont fortement corrélées avec les dommages des infrastructures. Cela pourrait perturber le transport et le déplacement. Les domiciles de certains patients peuvent être ainsi difficilement accessibles voire inaccessibles.

Dans ce chapitre nous nous intéressons aux crises d'origine naturelle et plus particulièrement aux menaces hydrologiques à savoir les crues, la neige, etc. Ces menaces ont la particularité d'être, pour la majorité des cas, prévisibles. Cet aspect de prévisibilité donne une marge d'action considérable aux gestionnaires et leur permet de mettre en place certaines contremesures opérationnelles pour minimiser les dégâts et voire les éviter. En HAD, dès que l'alerte de crue ou d'épisode neigeux est reçue, une cellule de crise doit se mettre en place pour piloter la situation, collaborer avec les tutelles et surtout remonter l'information à la préfecture et à la direction territoriale.

Le processus d'installation et de pilotage de la cellule de crise relatif à l'HAD Soins et Santé est disponible via le lien suivant : http://www.prhodom.disp-lab.fr/ProcessusPlanBlanc.pdf

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Afin de maintenir l'activité même en mode dégradé, la chaîne logistique de l'HAD peut être réorganisée. Différentes ressources peuvent être employées telles que les infirmiers salariés qui contrôlent habituellement uniquement l'activité de soins. Elles peuvent participer à la délivrance de soins en complément des infirmiers libéraux. De la même manière que les infirmiers salariés, les médecins salariés de l'HAD peuvent participer à l'activité par des visites physiques ou même des visites à distance (visio-consultation).

3.3.2. Outil d'aide à la décision pour répondre à la crise

3.3.2.1. Gestion des risques liés aux crues

Le concept de protection traditionnelle contre les inondations est de plus en plus remplacé par une gestion globale des risques, qui comprend des mesures structurelles et non structurelles (Sayers et al., 2002) Les cartographies de danger et de risque ont une importance particulière pour des fins de planification, de sensibilisation et l'encouragement des mesures préventives.

La "Directive 2007/60 / CE du Parlement européen et du Conseil relative à l'évaluation et la gestion des risques d'inondation exige que les États membres de l'UE élaborent des cartes identifiant le zones exposées à un risque d'inondation et indiquant la probabilité d'inondation pour chacune de ces zones et les dommages potentiels aux populations locales, aux structures, aux bâtiments et à l'environnement. En outre, les décisions concernant les contremesures de mitigation des crues doivent être prises sur la base d'analyses de risques pour qu'ils nous permettent d'évaluer leur rapport coût-efficacité (Ganoulis 2003; Rose et al. 2007; Sayers et al., 2002.).

Dans ce cadre le gouvernement français a mis en ligne un service d'information officiel (https://www.vigicrues.gouv.fr/) sur le risque de crues des principaux cours d'eau en France (voir figure 3.3.1). Sur la carte on trouve les différentes stations d'importance. La région lyonnaise est concernée puisqu'elle est traversée par deux cours d'eaux importants (le Rhône et la Saône).

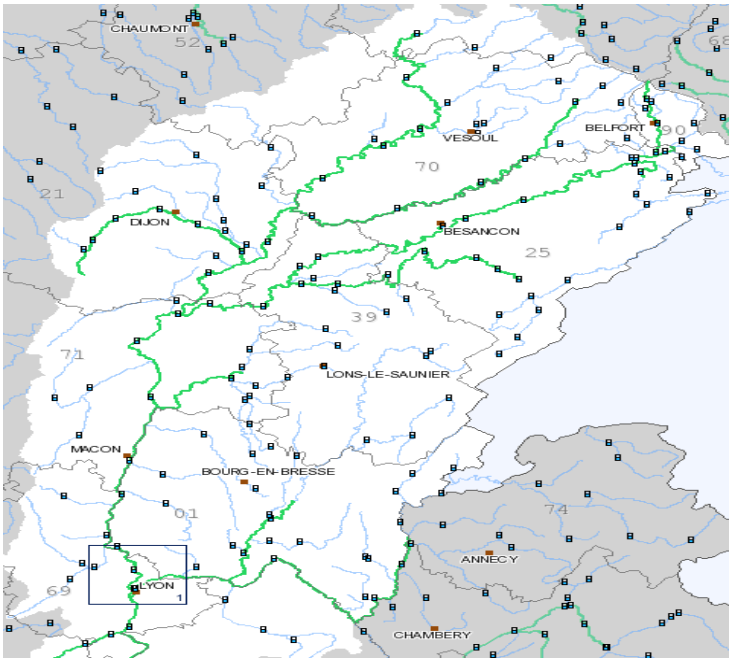


Figure 3.3. 1: Les principaux cours d'eau dans la région Rhône-Alpes

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Sur ce site on peut se tenir au courant du risque d'inondation, de l'état de vigilance, de la hauteur des eaux en temps réel, et un historique de ces données qui peut aller jusqu'à 30 jours. La figure 3.3.2 montre le niveau des eaux de la station Pont-la-Feuillée (Saône) le 02/05/2018 à 20h52.

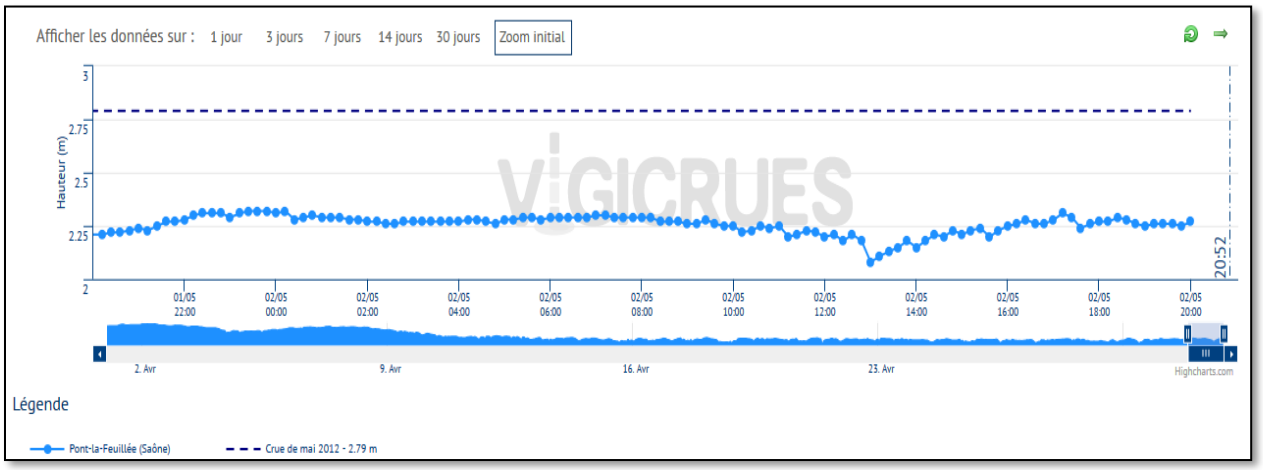


Figure 3.3. 2: Niveau d'eau à la station Pont-la-Feuillé (Saône)

Les informations sur ce site ainsi que la coordination avec les services concernées et la cellule de crise permettent aux décideurs de mieux cerner la menace et mieux gérer la situation.

Dans le cadre de notre travail, nous proposons d'abord une méthode d'évaluation du risque individuel par patient en prenant en compte plusieurs paramètres, dont l'évolution de la crue dans le temps.

3.3.2.2. Estimation de risque individuel par patient

Selon (Cançado et al., 2008), le risque total de la crue peut être calculé à partir de la formule (3.3.1) :

$$Risque = Alea * Vul \qquad (3.3.1)$$

Avec :

- *Alea* : le niveau de risque qui prend en compte la probabilité que la crise survienne ainsi que les caractéristiques physiques de la crue. Dans notre cas on ne va pas prendre la probabilité en compte faute de donnée. On va se mettre dans le cas où la crise est arrivée (probabilité=1) et préparer le plan d'action (le plan blanc).
- *Vul* : le niveau de vulnérabilité.

3.3.2.2.1. Estimation de « Alea »

En se basant sur les caractéristiques physiques de la crue, (Cançado et al., 2008) définissent trois classes d'Alea présentées dans le tableau suivant.

Table 3.3. 1: Qualification des caractéristiques physiques de la crue

Qualification	Conditions
Haut	*hauteur(p)*>1.5 m ou *vel(p)*>1.5m/s
Moyen	0.5m < *hauteur(p)* <1.5m ou 0.5 m/s < *vel(p)* <1.5 m/s

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Bas	0.1m< *hauteur(p)* <0.5m et 0.1m/s < *vel(p)* <0.5m/s

Avec :

- *Hauteur(p)* : la hauteur de la crue à la période p,
- *Vel (p)* : la vélocité de la crue à la période p,

L'accès aux domiciles est très dépendant de l'état des rues surtout en milieu urbain. Une investigation a été faite en Allemagne dans 5 municipalités (Dresden, Dobeln, Eilenburg, Floha et Grimma) qui ont été touchées par la crue d'août 2002 (Kreibich et al., 2009) qui a montré que les dégâts des infrastructures routières sont fortement corrélés avec l'intensité (*In*) de la crue (Kreibich et al., 2009). L'intensité de la crue à une période donné p *In(p)* est calculée conformément à l'équation (3.3.2).

$$In(p) = hauteur(p) * vel(p) \quad (3.3.2)$$

Dans notre travail on estime l'*Alea* à partir de l'intensité puisqu'ils sont fortement corrélés.

Le tableau 3.3.2 présente la classification des intensités en trois classes (1, 2 et 3) selon les valeurs des caractéristiques physiques de la crue présentées dans le tableau 3.3.1.

Hypothèse : On suppose que la vélocité de la crue ainsi que la hauteur sont constantes durant une période p.

Table 3.3. 2: Classification des Alea selon les valeurs de In

Qualification	Intensité *In*	Notation d'*Alea*
Haut	*In*>2.25	3
Moyen	*In*>0.25 et In <=2.25	2
Bas	*In*<=0.25	1

3.3.2.2.2. Calcul de la vulnérabilité individuelle de chaque patient *Vul (i,p)*

Dans cette étude on va se focaliser sur la vulnérabilité d'accès qui est fortement liée à la proximité géographique du risque d'une part, et l'état du patient d'autre part.

3.3.2.2.2.1 Proximité géographique de la source de risque (la crue)

Cette proximité peut être calculée par la distance liant le domicile à la source de risque. Cette distance évolue en fonction du temps selon la vitesse de propagation de la crue, c.-à-d. la vélocité.

$$DR(i,0) = D_0 \quad (3.3.3)$$

$$DR(i,p+1) = D(i,p) - vel(p) * DT \quad (3.3.4)$$

Avec :

- D_0 : distance initiale ente le domicile du patient et la source potentielle de la crue (une rivière,),
- *DR (i, p)* : distance entre le domicile du patient i et la source de risque (la crue) à la période p,
- *DT* : durée d'une période p,

Le tableau 3.3.3 définit des seuils de proximité pour déterminer les classes de proximité.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Table 3.3. 3: Définition des classes de proximité

Distance *DR (i,p)*	Conditions	Notation de la proximité
Haut	*D(i,p)* ≤ *1000m*	3
Moyen	1000m < *D (i,p)* ≤ 2000m	2
Bas	2000m <*D (i,p)*	1

3.3.2.2.2. Evaluation de l'état du patient

L'Indice de Karnovsky est une donnée qui nous permet d'avoir une idée sur l'état global du patient. On va utiliser l'indice de Karnovsky *IK* pour définir des classes de patients conformément au tableau 4.4.

Table 3.3. 4: Définition des classes de patients par indice de Karnovsky

IK	Description de l'état	Classe de *IK*
80%-100%	Capable de mener une activité normale	1
40%-70%	Incapable de travailler, capable de vivre chez lui et d'assumer ses besoins personnels, une assistance est nécessaire.	2
10%-30%	Incapable de s'occuper de lui-même, nécessite des soins hospitaliers ou les équivalents.	3

Pour estimer la vulnérabilité des patients en prenant en compte les deux critères de proximité et d'indice de Karnovsky (*IK*), on va faire une grille de jugements croisés. Le tableau 4.5 représente la classification de vulnérabilité des patients en 3 classes en se basant sur les classes de proximité et l'état du patient présenté par l'indice de Karnovsky.

Table 3.3. 5: Classification de vulnérabilité des patients

Classe de *IK*				
	3	2	3	3
	2	1	2	3
	1	1	1	2
		1	2	3
		Classe de proximité (p)		

Par conséquent on peut calculer le risque individuel par patient par période en utilisant l'équation (3.3.5).

$$RL_{ip} = Alea(p) * Vul(i,p) \qquad (3.3.5)$$

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Avec :

- RL_{ip} : Niveau de risque (risk level) du patient i pendant la période p.

Par conséquent, on peut définir 3 classes de patients suivant le degré du risque (voir tableau 3.3.6).

Table 3.3. 6: Classification des patients par niveau de risque

Qualification du risque	Conditions	Notation
Haut	$6 < RL_{ip} \leq 9$	3
Moyen	$3 < RL_{ip} \leq 6$	2
Bas	$1 \leq RL_{ip} \leq 3$	1

3.3.2.2.3. Analyse d'un point de vue logistique

La crue est une crise qui s'étend sur la durée, il faut donc mener une étude multi-période. En utilisant la méthode proposée ci-dessus on peut classer les patients en trois classes de risque par période.

Il y a deux grandes décisions logistiques à prendre face à l'évolution de la crise. Connaissant le niveau de risque du patient qui affecte l'accessibilité de son domicile, les décideurs doivent prendre la décision de garder le patient à domicile et lui garantir un niveau de service acceptable (nombre de visites, délai de livraison, etc.) ou, l'évacuer vers un lieu sûr où il peut poursuivre son programme de soins. L'évacuation peut être faite vers un hôpital conventionnel. Néanmoins les hôpitaux ont des capacités d'accueil bien limitées, et cette contrainte va s'aggraver surtout en temps de crise lorsque les hôpitaux doivent faire face à des afflux massifs. La solution est d'établir des lieux d'hébergement éphémères (hôpital temporaire).

Suivant la réglementation française, chaque commune doit définir dans son plan communal de sauvegarde des lieux de rassemblement potentiels. Ces lieux peuvent être utilisés comme des hôpitaux éphémères sous la houlette de la structure d'HAD. Ces lieux doivent répondre à un certain nombre de critères en termes de localisation, accessibilité, etc.

Nous avons pu identifier une liste des lieux d'hébergement éphémères potentiels :

- Bâtiment administratif,
- Camping avec tentes,
- Camp militaire avec tentes,
- Colonie de vacances,
- Eglises/temples/Mosquée/Synagogue,
- Entrepôts,
- Gymnases,
- Hangar d'avions,
- Hôtels,
- Salle de congrès,
- Salle des fêtes,
- Ecoles, lycées,

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

– Stades avec tentes…

On évitera les sites qui ne sont pas en dur.

La sélection de ces lieux doit répondre à un certain nombre de critères.

3.3.2.2.3.1. Critères de sélection du plus important au moins important

Ci-dessus on définit une liste non exhaustive des critères de sélection des lieux d'hébergement éphémères.

– Vulnérabilité du site (inondable, sismicité…),
– Infrastructure (superficie, murs, toiture, planché…),
– Alimentation électrique et groupe électrogène,
– Alimentation en eau,
– Durée de mise à disposition du site,
– Transport,
– Parking (ambulances, personnel, familles…),
– Chauffage,
– Eclairage du site,
– Clôture/fermeture du site,
– Personnel de sécurité,
– Aires de livraison/stockage (équipement, médicaments, DMS, nourriture, linge…),
– Sanitaires/douches,
– Accessibilité pour personnes handicapées,
– Aires de déchèterie (ordure ménagère, DASRI…),
– Cuisine (préparation, déconditionnement) et lieu de restauration (patients, personnel),
– Capacité de communication numérique (téléphone, internet…),
– Air conditionné/ventilation,
– Gaz médicaux (obus),
– Aire de réception des familles,
– Aire de décontamination des patients…

3.3.2.3.3.2. Problème de regroupement des patients

La particularité des HADs est que les patients sont généralement des personnes âgées et principalement dépendantes. En général, les patients de l'HAD ne peuvent pas se déplacer seuls de leurs domiciles à des points de rassemblement (pick-up points), surtout en temps de crise. Cela peut faire une différence majeure avec le problème de BEP (Bus Evacuation Problem) où les évacués sont collectés dans certains points prédéfinis.

Il est fastidieux de traiter les patients au cas par cas afin de savoir si nous les gardons aux domiciles ou nous devons les évacuer. L'idée est de regrouper les patients par zone géographique en tenant compte de leurs niveaux de risque. Cette zone géographique limitée où les patients sont regroupés peut être considérée comme un point de collecte.

Le premier critère de partitionnement est le niveau de risque RL_{ip}. Les patients ayant le même niveau de risque et qui ont plus ou moins la même difficulté d'accès peuvent appartenir au même groupe. L'autre dimension que nous considérons dans notre partitionnement est la proximité géographique, de sorte que nous pouvons contrôler la distance maximale entre les patients

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

appartenant au même groupe. Sachant que l'intensité de la crise évolue avec le temps, le niveau de risque de chaque patient peut également évoluer, et le groupement (partitionnement) des patients peut changer d'une période à une autre. Sur la base de ce groupement (partitionnement) dynamique, nous pouvons affecter les ressources (infirmiers, médecins, etc.) aux zones en tenant compte du nombre de patients par groupe mais aussi du niveau d'inaccessibilité. Notre modèle peut évaluer le temps requis pour traiter les patients, mais nous ne considérons pas le problème de routage. Le choix de l'étendue de la « zone » nous permet de contrôler la distance maximale que la ressource peut parcourir d'un patient à un autre appartenant au même groupe. De la même manière, le groupement des patients facilitera le processus d'évacuation puisque les patients à évacuer appartenant à un groupe seront géographiquement concentrés. Ceci minimise le déplacement des ressources qui peut être difficile en cas de catastrophe.

3.3.2.2.4. Point de vue de la modélisation

D'un point de vue de la modélisation mathématique le problème regroupe plusieurs sous problèmes à savoir :

- Partitionnement dynamique (dynamic set partionning problem) : un problème de regroupement des patients dans chaque période. Dans chaque période, chaque patient doit appartenir à un groupement.
- Problème d'affectation : il s'agit aussi d'un problème d'affectation à coûts composés de partie fixe et partie variable. Il faut affecter les ressources (infirmiers, médecins, etc.) pour prendre en charge les patients maintenus aux domiciles mais aussi les patients évacués vers les lieux d'hébergement éphémères ouverts.
- Problème de localisation : il s'agit d'une sélection des lieux d'hébergement éphémères à ouvrir selon le nombre de patients à évacuer, la proximité géographique et la difficulté de déplacement.

3.3.2.2.5. Modèle linéaire de régulation entre l'évacuation et le maintien à domicile

Dans cette section, nous définissons les principales entrées et sorties du modèle.

- Données d'entrée :
    - Connaissance de l'évolution de la crue,
    - Localisation des patients, distance entre les différents patients, distance entre les patients et les hôpitaux conventionnels / temporaires.
    - Evolution du niveau de risque dans le temps de chaque patient à l'aide de la méthode de classification des patients suivant les classes de risques
- Les résultats de sortie :
    - Partitionnement des patients par période,
    - Les réponses aux questions sur le devenir des patients : quels patients doivent être gardés aux domiciles et quels patients doivent être évacués et où doit on les évacuer ?
    - Ainsi les réponses aux questions sur les ressources à affecter : combien de ressources doivent être affectées aux zones non évacuées (c'est-à-dire aux patients restant aux domiciles) ? Et combien de ressources doivent être affectées aux hôpitaux temporaires ?

Dans ce qui suit, nous présentons les différentes composantes du modèle.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

- Données et paramètres

– *NP* : nombre de patients,
– *M* : nombre maximal de groupements de patients,
– *T* : nombre de périodes étudiées,
– *Ntype* : nombre de types de ressources requis (exemple : médecins et infirmiers)
– *Nres(l)* : nombre de ressources différentes de type l, (exemple : libéral et salarié)
– Cap_{kl} : nombre d'heures de travail autorisées qui peuvent être effectuées par la ressource k, de type l, par période,
– *Capevac* : nombre d'heures de travail autorisées qui peuvent être effectuées par ressources d'évacuation par période,
– RL_{ip} : Niveau de risque du patient i dans la période p. Nous avons défini 3 classes de risque (1, 2, 3), l'évolution de la crue étant connue,
– RLC_{ij}^{p} : Un paramètre binaire, il est égal à 1 si les patients i et j ont le même niveau de risque au cours de la période p ($RL_{ip} = RL_{jp}$),
– $Rcost_{kl}$: coût horaire d'emploi d'une ressource k de type l,
– *Evacost* : coût horaire d'emploi d'une ressource d'évacuation,
– *THOcost* : coût d'installation et de préparation d'un hôpital temporaire : le coût d'ouverture dépend de la taille (c.-à-d. du nombre de lits)
– *FoncTH* : coût de fonctionnement d'un hôpital temporaire,
– *Loss* : manque à gagner par patient réhospitalisé par période. Lors d'une réhospitalisation le patient n'est plus pris en charge par l'HAD, et par conséquent c'est un manque à gagner pour l'HAD,
– *NH* : nombre d'hôpitaux conventionnels,
– *NTH* : nombre d'hôpitaux temporaires potentiels à ouvrir,
– V_{hp} : vitesse moyenne d'accès au groupe de patients h pendant la période p. Cela dépend du niveau de risque des patients appartenant au groupe h dans la période p,
– D_{ij} : distance entre le domicile du patient i et le domicile du patient j,
– T_{max} : temps de trajet maximal autorisé entre deux patients appartenant au même groupe,
– DPH_{in} : distance entre le patient i et l'hôpital conventionnel n,
– $DPTH_{im}$: distance entre le patient i et l'hôpital temporaire m,
– $Nbeds_H_n$: nombre de lits dans l'hôpital conventionnel n,
– $Nbeds_TH_m$: nombre de lits dans l'hôpital temporaire m,.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

- α : un réel supérieur ou égal à 1. L'inaccessibilité du domicile de patient est proportionnelle à l'intensité de la crise, α est le coefficient d'inaccessibilité. Ainsi (α $*RL_{ip}$) représente le degré d'inaccessibilité du patient i à la période p.
- β : une pénalité qui représente le risque encouru par un patient non évacué selon sa classe de risque, c'est l'équivalent de l'indemnisation demandé pour une vie humaine perdue,
- $\rho(RL_{ip})$: une valeur entre 0 et 1 qui représente la probabilité de décès d'un patient non évacué ayant un niveau de risque RL_{ip} en période p,
- *HV* : une grande valeur (999,999).

- Variable de décision

- X_{kl}^{hp}: variable entière, elle est égale à la quantité horaire de ressource k de type l utilisée affectées au groupe de patient h (ou hôpital temporaire) pendant la période p,
- W_{hp}: variable binaire, elle est égale à 1 si le groupe de patients h est évacué à la période p,
- Y_{ih}^{p}: variable binaire, elle est égale à 1 si le patient i appartient au groupe h pendant la période p,
- TH_{mp} : variable binaire, elle est égale à 1 si l'hôpital temporaire m est ouvert au début de la période p,
- THO_m : variable binaire, elle est égale à 1 si l'hôpital temporaire m a été ouvert pendant l'horizon T,
- EH_{ih}^{np}: variable binaire, elle est égale à 1 si le patient i appartenant au groupe de patients h est évacué à l'hôpital n pendant la période p,
- ETH_{ih}^{mp}: variable binaire, elle est égale à 1 si le patient i appartenant au groupe de patients h est évacué vers un hôpital temporaire m au cours de la période p.

- **La fonction objectif**

$$Min\ (Z) = \sum_{l=1}^{Ntype} \sum_{k=1}^{Nres(l)} \sum_{h=1}^{M+NTH} \sum_{p=1}^{T} \left(X_{kl}^{hp} * Rcost_{kl}\right)$$

$$\sum_{m=1}^{NTH} (THO_m * THOcost) + \sum_{m=1}^{NTH} \sum_{p=1}^{T} (TH_{mp} * FoncTH)$$

$$\sum_{i=1}^{NP} \sum_{h=1}^{M} \sum_{n=1}^{NH} \sum_{p=1}^{T} \left((2 * \alpha * RL_{ip} * \frac{DPH_{in}}{V_{hp}} * Evacost + Loss * (T - p + 1)) * EH_{ih}^{np} \right)$$

$$\sum_{i=1}^{NP} \sum_{h=1}^{M} \sum_{m=1}^{NTH} \sum_{p=1}^{T} \left(2 * \alpha * RL_{ip} * \frac{DPTH_{im}}{V_{hp}} * Evacost * ETH_{ih}^{np} \right)$$

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

$$\sum_{i=1}^{NP}\sum_{h=1}^{M}\sum_{p=1}^{T}((\rho(RL_{ip})*\beta*(Y_{ih}^{p}-(\sum_{n=1}^{NH}EH_{ih}^{np}+\sum_{m=1}^{NTH}ETH_{ih}^{mp}) \quad (3.3.6)$$

La fonction objectif comporte les coûts suivants :

- Le coût d'emploi des ressources affectées aux domiciles en prenant en compte la difficulté d'accès,
- Le coût d'emploi des ressources affectées aux hôpitaux temporaires pour les patients évacués.
- Le coût d'installation et de fonctionnement des hôpitaux temporaires,
- Le coût d'évacuation vers les hôpitaux conventionnels et temporaires, avec le souci de minimiser le temps de transport lors de l'affectation des patients aux hôpitaux,
- Le manque à gagner pour les patients réhospitalisés,
- Le coût d'évacuation vers les hôpitaux temporaires en prenant en compte la difficulté d'accès, et les allers-retours pour les transports,
- Le coût du risque (pénalités) lié aux patients non évacués.

Notons que le coût du risque lié à la vie humaine est beaucoup plus important que les autres coûts.

D'autres auteurs ont utilisé la même approche d'intégration des critères dans l'analyse des risques (Suddle, 2009).

- Les Contraintes

$\sum_{h=1}^{M} Y_{ih}^{p} = 1\ ;\ \forall i$ (C3.3.1)

Au début de la crise, on suppose que tous les patients sont à leurs domiciles et chaque patient appartient à un groupe unique.

$\sum_{h=1}^{M} Y_{ih}^{p} = 1-(\sum_{h=1}^{M}\sum_{n=1}^{NH}\sum_{q=1}^{p-1}EH_{ih}^{nq}+\sum_{h=1}^{M}\sum_{m=1}^{NTH}\sum_{q=1}^{p-1}ETH_{ih}^{mq});\ \forall i, \forall p = 2..T$ (C3.3.2)

A partir de la période 2, nous prenons en compte l''évacuation. Un patient évacué n'a plus besoin d'être affecté à un groupe. Les patients qui ont été évacués avant la période p ne sont plus concernés par le regroupement.

$\alpha * RL_{ip} * \frac{D_{ij}}{V_{hp}} * \left(Y_{ih}^{p} + Y_{jh}^{p} + RLC_{ij}^{p} - 2\right) \leq T_{max}; \forall i, \forall j, \forall p, \forall h = 1..M$ (C3.3.3)

Cette contrainte assure le regroupement (partitionnement). Les patients appartenant à un même groupe doivent avoir le même niveau de risque. La distance séparant deux patients appartenant au même groupe ne doit pas dépasser T_{max}. La difficulté de déplacement en temps de crise a été prise ne compte via le degré d'incessibilité (α *RL_{ip}) et la vitesse de déplacement V_{hp}.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

$$\sum_{h=1}^{M}\sum_{n=1}^{NH}\sum_{P=1}^{T} EH_{ih}^{np} + \sum_{h=1}^{M}\sum_{m=1}^{NTH}\sum_{p=1}^{T} ETH_{ih}^{mp} \leq 1;\ \forall i \quad \text{(C3.3.4)}$$

Un patient est évacué une seule fois pendant tout l'horizon et aucun retour n'est autorisé après l'évacuation jusqu'à la fin de la crise.

$$\sum_{n=1}^{NH} EH_{ih}^{np} + \sum_{m=1}^{NTH} ETH_{ih}^{mp} \leq Y_{ih}^{p}\ ;\ \forall i, \forall p, \forall h = 1..M \quad \text{(C3.3.5)}$$

Les patients sont évacués de la zone où ils se trouvent.

$$W_{hp} \leq \sum_{i=1}^{NP} Y_{ih}^{p}\ ;\ \forall p, \forall h = 1..M \quad \text{(C3.3.6)}$$

Nous n'évacuons pas une zone vide. Le groupement doit contenir au moins un patient à évacuer.

$$\sum_{i=1}^{NP}\sum_{n=1}^{NH} EH_{ih}^{np} + \sum_{i=1}^{NP}\sum_{m=1}^{NTH} ETH_{ih}^{mp} \leq W_{hp} * HV\ ;\ \forall p, \forall h = 1..M \quad \text{(C3.3.7)}$$

Les patients ne sont pas affectés aux hôpitaux conventionnels ou temporaires sans que le groupe de patients soit évacué. L'évacuation multi-destination est autorisée, c'est-à-dire que les patients appartenant au même groupe peuvent être évacués vers différents endroits.

$$\sum_{p=1}^{T} TH_{mp} \leq THO_m * T;\ \forall m \quad \text{(C3.3.8)}$$

Nous ne pouvons pas ouvrir un hôpital temporaire à moins qu'il ne soit préparé et prêt à recevoir les patients.

$$\sum_{q=p}^{T} TH_{mq} \leq TH_{mp} * (T - p + 1);\ \forall m, \forall p \quad \text{(C3.3.9)}$$

Le retour des évacués n'est pas autorisé jusqu'à la fin de la crise. Si un hôpital temporaire est ouvert, il sera maintenu ouvert jusqu'à la fin de la crise.

$$\sum_{i=1}^{NP}\sum_{h=1}^{M} ETH_{ih}^{mp} \leq TH_{mp} * HV\ ;\ \forall m, \forall p \quad \text{(C3.3.10)}$$

Nous ne pouvons pas affecter des patients à des hôpitaux temporaires fermés.

$$\sum_{i=1}^{NP}\sum_{h=1}^{M}\sum_{p=1}^{T} ETH_{ih}^{mp} \leq Nbeds_TH_m;\ \forall m \quad \text{(C3.3.11)}$$

La capacité en termes de nombre de lits dans les hôpitaux temporaires doit être respectée.

$$\sum_{i=1}^{NP}\sum_{h=1}^{M}\sum_{p=1}^{T} EH_{ih}^{np} \leq Nbeds_H_n;\ \forall n \quad \text{(C3.3.12)}$$

La capacité en termes de nombre de lits dans les hôpitaux conventionnels doit être respectée.

$$\sum_{i=1}^{NP}\sum_{n=1}^{NH} EH_{ih}^{np} + \sum_{i=1}^{NP}\sum_{m=1}^{NTH} ETH_{ih}^{mp} \geq \left(W_{hp} - 1\right) * HV + \sum_{i=1}^{NP} Y_{ih}^{p}\ ; \forall p, \forall h = 1..M \quad \text{(C3.3.13)}$$

Si un groupe de patients est évacué (W_{hp} = 1), tous les patients appartenant à ce groupe à la période p doivent être évacués vers les hôpitaux conventionnels ou temporaires dans la même période,

$$\sum_{k=1}^{Nres(l)} X_{kl}^{hp} \geq \sum_{i=1}^{NP}(\alpha * RL_{ip} * Y_{ih}^{p}) - W_{hp} * HV;\ \forall l, \forall p, \forall h = 1..M \quad \text{(C3.3.14)}$$

La contrainte (C3.3.14) est centrale. C'est ici que la décision d'évacuation ou de maintien est prise. Les patients sont donc soit pris en charge à domicile avec un taux de ressources intensif

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

qui dépend du niveau d'inaccessibilité, ou sont évacués. Lors du maintien à domicile, les ressources mettent plus de temps pour accéder au domicile à cause de la difficulté d'accès, exprimée par le degré d'inaccessibilité (α *RL_{ip}).

$$\sum_{k=1}^{Nres(l)} X_{kl}^{mp} \geq \sum_{i=1}^{NP} \sum_{h=1}^{M} \sum_{q=1}^{p} ETH_{ih}^{mq} \; ; \; \forall l, \forall p, \forall m = M+1..M+NTH \qquad \text{(C3.3.15)}$$

Cette contrainte assure l'affectation des ressources aux hôpitaux temporaires pour prendre en charge les patients évacués.

$$\sum_{k=1}^{Nres(l)} X_{kl}^{mp} \leq TH_{mp} * HV; \; \forall l, \forall p, \forall m = M+1..M+NTH \qquad \text{(C3.3.16)}$$

Nous n'attribuons pas de ressources aux hôpitaux temporaires fermés.

$$\sum_{h=1}^{M+NTH} X_{kl}^{hp} \leq Cap_{kl}; \; \forall k, \forall l, \forall p \qquad \text{(C3.3.17)}$$

La capacité des ressources doit être respectée.

$$\sum_{i=1}^{NP} \sum_{h=1}^{M} \sum_{n=1}^{NH} (2 * \alpha * RL_{ip} * \frac{DPH_{in}}{V_{hp}} * EH_{ih}^{np}) + \sum_{i=1}^{NP} \sum_{h=1}^{M} \sum_{m=1}^{NTH} \left(2 * \alpha * RL_{ip} * \frac{DPTH_{im}}{V_{hp}} * ETH_{ih}^{mp}\right) \leq Capevac; \; \forall k \qquad \text{(C3.3.18)}$$

La capacité des ressources d'évacuation doit être. On prend en compte les allers-retours entre les hôpitaux (conventionnels et temporaires) et les domiciles des patients compte tenu de la difficulté de déplacement.

$$RL_{ip} - 2 \leq \sum_{n=1}^{NH} \sum_{h=1}^{M} \sum_{q=1}^{p} EH_{ih}^{nq} + \sum_{m=1}^{NTH} \sum_{h=1}^{M} \sum_{q=1}^{p} ETH_{ih}^{mq}; \forall i, \forall p \qquad \text{(C3.3.19)}$$

Cette contrainte nous permet de respecter un aspect de qualité et de risque. Les patients qui auront un niveau de risque élevé (RL_{ip}=3) dans la période p, doivent être évacués au plus tard à la période p, ce qui signifie qu'ils peuvent être évacués avant.

Cette contrainte a également pour rôle de dimensionner la taille minimale des hôpitaux temporaires. S'il n'y a pas suffisamment de lits disponibles pour recevoir les patients à haut risque (RL_{ip}=3), le solveur retourne une solution infaisable. Ainsi, nous devons augmenter le nombre de lits ou ouvrir un autre hôpital temporaire.

3.3.3. Expérimentation numérique

3.3.3.1. Jeu de données

Ci-dessous ce sont les valeurs numériques des paramètres que nous utilisons dans notre expérimentation.

- *NP* : 65,
- *M* : 65,
- *T* : 10 jours,
- *Ntype* : 2, {médecins et infirmiers},
- *Nres(l)* : 2, {libéral et salarié},

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

- Cap_{kl} : le tableau 4.7 résume les données d'expérimentation relatives au paramètre cap_{kl} en termes de nombre d'heures de travail par période.

Table 3.3. 7: Capacité des ressources

	Infirmiers	Médecins
Liberal	150	80
Salarié	80	100

- *Capevac* : 32,
- $Rcost_{kl}$: le tableau 4.8 résume les données d'expérimentation relatives au paramètre $Rcost_{kl}$.

Table 3.3. 8: Coût horaire d'emploi des ressources

	Infirmiers	Médecin
Libéral	40	30
Salarié	50	40

- *Evacost* : 60,
- *THOcost* : 10.000 pour 15 lits et 8.000 pour 10 lits,
- *FoncTH* : 3000 pour 15 lits et 2000 pour 10 lits,
- *Loss* : 500 par période,
- *NH* : 2,
- *NTH* : 4,
- V_{hp} : 50, 30, 20 km/h pour, respectivement, RL_{ip} =1,2,3,
- D_{ij} : matrice de distance : on utilisé un ensemble de patients de l'HAD Soins et Santé,
- T_{max} : 0.5 heures,
- DPH_{in} : une matrice de distance a été générée aléatoirement,
- $DPTH_{im}$: une matrice de distance a été générée aléatoirement,
- $Nbeds_H_n$: 5 lits disponibles par hôpital conventionnel,
- $Nbeds_TH_m$: 2 hôpitaux temporaires à 15 places chacun et 2 autres à 10 places chacun.
- α : 1,
- β : en France pour une victime âgée de 65 ans, l'indemnisation est de 300 000 € selon l'ONIAM (2018).
- $\rho(RL_{ip})$: 0 , 0.2 et 1 pour, respectivement, RL_{ip} =1,2,3,

Toutes les expérimentations ont été effectuées avec CPLEX 12.6.2. Le temps de calcul moyen est de 3 minutes.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

3.3.3.2. Résultat

En ce qui concerne les coûts, nous distinguons deux types de coûts. Les coûts de pénalité qui sont liés à la probabilité de décès des patients non évacués et à la valeur de la pénalité β. Ces coûts sont visiblement plus élevés que les autres coûts qui concernent essentiellement les coûts d'évacuation, les coûts de soutien à domicile et les autres coûts définis dans la fonction objective.

Outre les différents coûts, il convient de souligner d'autres paramètres importants, à savoir la dernière période d'évacuation qui sera dénommée *LPevac*. Ce paramètre est important pour la mise en œuvre du plan d'évacuation. A cette date (c'est-à-dire *LPevac*), le plan d'évacuation devrait être déjà terminé. *LPevac* indique donc la date limite pour que tous les patients soient pris en charge d'une manière sûre (à domicile ou dans un hôpital ou un lieu d'hébergement éphémère).

Une analyse de sensibilité peut être effectuée afin d'évaluer la sensibilité de cet indicateur vis-à-vis de certains paramètres critiques tels que la capacité des ressources d'évacuation (*capevac*). Le dimensionnement des ressources d'évacuation est important pour la bonne mise en œuvre du plan d'action. Ce sont des ressources critiques dont le dimensionnement influe sur la décision concernant l'action à mettre en œuvre vis-vis du patient.

Le tableau 3.3.9 présente les résultats de la simulation pour différentes valeurs « *capevac* » et pour T_{max} = 0,5.

Notez que les « autres coûts » du tableau 3.3.9 représentent le coût du soutien à domicile, le coût d'installation et de fonctionnement des hôpitaux temporaires et les différents coûts liés au processus d'évacuation.

Table 3.3. 9: Résultats de simulation pour différentes valeurs "capevac"

Capevac **(en heures)**	**Cout de pénalité**	**Autres coûts**	**Coût total**	***LPevac***
8	INF*	INF*	INF*	INF*
16	1960000	498335	2458335	5
24	1120000	499222	1619222	4
32	1120000	502531	1622531	3
40	1120000	501701	1621701	3

INF*: Solution infaisable

Comme nous pouvons le voir dans le tableau 3.3.9, nous avons besoin d'un nombre de ressources suffisant pour obtenir une solution faisable (plus de 8 heures de travail par période) pour évacuer les patients qui atteignent le niveau de risque 3 (C3.3.19). Les coûts de pénalité sont fortement impactés lorsqu'il n'y a pas suffisamment de ressources pour évacuer les patients à niveau de risque moyen (RL_{ip} = 2), ce qui entraîne un coût de pénalité supplémentaire par période de séjour à domicile pendant la crise.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

De la même manière que les coûts de pénalité, *LPevac* diminue lorsque *capevac* augmente jusqu'à une certaine valeur (32). Au-dessus de cette valeur, *LPevac* reste constant et ceci est dû aux lits libres limités pour recevoir les évacués.

Concernant les autres coûts, ils restent légèrement variables par rapport aux coûts de pénalité. Comme nous pouvons le remarquer, le coût total est composé essentiellement des frais de pénalité.
En ce qui concerne l'étendue T_{max} de la zone contenant le groupe de patients ainsi que le paramètre α, le tableau 3.3.10 rapporte la valeur de la fonction objective pour des combinaisons différentes de ces deux paramètres.

Table 3.3. 10: Impact du paramètre α et de l'étendue Tmax sur le coût total de la solution

α\Tmax	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,5**
1	1684580	1619222	1621759	1621759
1,25	1975469	1971502	2035737	1975342
1,5	2463680	2394439	2394781	2392318
1,75	2891269	2796361	2815433	2815433
2	3519565	3446098	3375698	3445771

Comme le montre le tableau 3.3.10, nous pouvons voir que pour une valeur fixe de T_{max}, l'impact de α est important sur la fonction objective. Cet impact est attendu puisque le paramètre α qui décrit la proportionnalité entre l'intensité de la crise et le niveau d'accessibilité de la zone, est impliqué dans le temps de travail des ressources affectées à la zone non évacuée mais aussi dans le temps de travail des ressources d'évacuation. Plus la valeur de α est élevée, plus le temps requis pour visiter les patients ou les évacuer est élevé. Cette analyse de sensibilité montre que ce paramètre est assez critique et mérite une évaluation rigoureuse. Afin de mieux évaluer ce paramètre, nous avons besoin de données historiques liées aux différentes évolutions de la crise et à leurs impacts sur l'accessibilité des zones. Il convient de définir des valeurs de α pour les zones urbaines et rurales.

Concernant l'impact de T_{max}, on peut remarquer que pour une valeur fixe de α, ce paramètre n'a pas d'impact important sur la fonction objectif. En effet, les contraintes (C3.3.13) obligent l'unité du groupe de patients, ce qui signifie que si le groupe de patients est évacué alors tous les patients appartenant au groupe sont évacués, le solveur choisit la meilleure composition de chaque groupe dans chaque période.

Nous remarquons dans le tableau 3.3.11 que cette meilleure composition ne dépend pas uniquement de l'étendue de la zone T_{max} qui contient les groupes de patients. Par exemple, un ensemble des patients ayant le même niveau de risque, et situés à un temps de trajet T_{max} entre eux, peuvent ne pas appartenir au même groupe, mais la meilleure solution est de les décomposer en deux groupes qui recevront deux décisions différentes (certains seront gardés aux domiciles et les autres seront évacués).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

On remarque aussi que pour un T_{max} fixe, si α (le facteur d'inaccessibilité) augmente, le nombre maximal de patients par groupe augmente aussi, ce qui signifie que le solveur cherche à mettre le plus de patients dans le même groupe pour éviter les allers retours des ressources (ressources affectées aux domiciles ou ressources d'évacuation).

Table 3.3. 11: Nombre maximal de patients par zone

α\ T_{max}	**0.2**	**0.3**	**0.4**	**0.5**
1	2	2	2	2
1.5	3	3	3	3
2	3	3	3	3

Conclusion

Nous avons développé un outil proactif pour soutenir l'HAD en cas de catastrophe. Sur la base de l'évolution des catastrophes naturelles prévisibles telles que les inondations et la neige, nous traitons un partitionnement dynamique basé sur les risques individuels associés aux patients. Le modèle développé dans cet article a la particularité de fournir, en même temps, un plan de soutien à domicile (affectation de ressources multi-périodes) pour les patients à risque faible qui seront gardés à la maison pendant la crise, et un plan d'évacuation (évacuation vers les hôpitaux conventionnels ou temporaires). Un plan d'évacuation doit être soutenu par l'attribution de ressources aux patients qui seront évacués vers des hôpitaux temporaires. L'affectation aux hôpitaux conventionnels et aux hôpitaux temporaires est basée sur la proximité géographique. Le modèle considère les aspects économiques en tenant compte des différents coûts tels que le coût d'emploi des ressources, les coûts d'évacuation mais surtout l'aspect risque puisque nous n'autorisons pas un patient à haut risque à rester à son domicile pendant la catastrophe. Le modèle est basé sur un ensemble de paramètres, et c'est pourquoi une analyse de sensibilité a été réalisée afin d'évaluer l'impact de ces paramètres sur les résultats et de mettre en évidence ceux qui méritent une évaluation rigoureuse comme α. Nous n'avons pas considéré le problème de routage et nous avons choisi d'évaluer la distance séparant les patients appartenant au même groupe. Cette distance peut être régulée et adaptée.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

CHAPITRE 4 : CONCLUSION

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

L'hospitalisation à domicile n'a cessé d'évoluer et de prospérer depuis des années, tant en France que dans le reste du monde. Elle s'est faite une place prépondérante au sein du système de santé. En France, L'HAD n'est plus vue comme une alternative à l'hôpital conventionnel, mais elle est une entité reconnue, tel un centre hospitalier qui évolue côte à côte avec les hôpitaux pour donner une certaine synergie au sein du système de santé. Cette synergie a pour rôle de conférer de l'agilité, la réactivité et de la proactivité aux différents intervenants du système.

L'HAD a toujours représenté un terrain fructueux pour la recherche surtout en génie industriel. Beaucoup de travaux ont été menés sur la modélisation des processus support et métier de l'HAD. L'aspect optimisation a suscité l'intérêt de nombreux chercheurs pour la planification des tournées des infirmiers, les tournées de livraisons, la localisation des structures, etc. Mais, rares sont les travaux qui ont traité la gestion de risques et de vulnérabilités au sein de l'HAD. Cette problématique méritait bien d'être traitée. L'HAD fait face à plusieurs types de menaces d'origine humaine (afflux massif, pollution, intoxication, etc.) et/ ou naturelle (crue, neige, tornades, etc.). Le projet PrHoDom (Protection de l'hospitalisation à domicile) a fait l'objet de cette étude.

Dans ce qui suit nous allons faire le bilan des travaux menés dans cette thèse, puis nous allons proposer des perspectives et des pistes de recherches.

4.1. Bilan

Dans cette section on va rapporter le bilan de chaque partie de la thèse.

- Introduction

Dans le chapitre d'introduction, nous avons présenté le cadre et le contexte du travail. Nous avons commencé par la mise en évidence des motivations en passant en revue des statistiques et des chiffres alarmants portant sur les menaces naturelles et humaines.

Puis nous avons introduit la notion des plans de gestion de crise. Un plan comporte essentiellement trois phases (mitigation et préparation, réponse, et rétablissement). Une étude comparative a été menée entre les systèmes de gestion des crises en France, Belgique, Luxembourg, Canada et Maroc. L'étude a montré qu'une classification de ces plans peut être faite sur la base de la portée du plan : Générique ou spécifique (Barkaoui et al., 2016).

Ensuite, nous avons introduit notre terrain d'étude, qui est l'HAD. L'historique de l'HAD en France, son évolution, ainsi qu'une idée générale sur son fonctionnement ont été présentés. Nous avons présenté aussi notre partenaire l'HAD Soins et Santé. Tous les travaux du projet PrHoDoM ont été menés en collaboration avec Soins et Santé.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

❖ Analyse stratégique

Cette partie a porté sur l'analyse stratégique de la phase de mitigation et préparation du plan de gestion de crise. L'objectif est de développer des outils d'aide à la décision pour supporter les décideurs pendant la phase de préparation, et leur fournir une sorte de boîte à outils et des indicateurs de support.

Une revue de littérature a été menée sur les travaux portants sur la résilience, la robustesse te la vulnérabilité des chaînes logistiques en général parce que les travaux traitants de la chaine logistique de l'HAD sont rarissimes.

Une première partie a été dédiée à la mesure et l'évaluation de la vulnérabilité des composants de la chaine logistique (acteurs et flux) en se basant sur l'évaluation de la résilience des acteurs et de la robustesse des flux. Dans la phase d'évaluation qui représente le point d'entrée de notre étude, des critères de mesures (manque de capacité *IC*, manque de préparation *P*, niveau de responsabilité *R*, manque de qualité *Q*, coût *C* et délai *D*) ont été définis. En ce qui concerne l'évaluation des critères, nous avons fait appel à l'expertise des praticiens et des gestionnaires du terrain. Toutefois, nous leur avions fournis des éléments de support sous forme d'équations ou de règles de jugements.

Un modèle d'évaluation de la vulnérabilité, baptisé VAM (Vulnerability Assessment Model), et basé sur la théorie des graphes et les calculs matriciels, a été proposé. Le modèle consiste à fournir des indicateurs d'évaluation de la vulnérabilité des acteurs et des flux. La notion de vulnérabilité dynamique d'une chaîne logistique, qui prend en compte la propagation de la vulnérabilité dans le réseau, a été introduite. En se basant sur cette vulnérabilité dynamique, nous avons synthétisé un indicateur composite qui mesure la vulnérabilité globale de l'HAD. (IFAC, 2017).

Cette phase d'évaluation représente le point d'entrée pour la deuxième partie qui porte sur la mitigation de la vulnérabilité et l'amélioration de la proactivité de l'HAD face à des crises sanitaires.

Nos analyses ont montré que les acteurs de l'HAD ne perçoivent pas une crise de la même manière. Une méthode de classification basée sur le principe 20-80 a été donc proposée et a donné lieu à 4 classes d'acteurs :

- Influents : ceux qui injectent le plus de vulnérabilité dans le réseau,
- Dépendants : Ceux qui absorbent le plus de vulnérabilité,
- Critiques : l'intersection entre les deux classes des influents et des dépendants,
- Neutres : Ils ne sont relativement ni influents, ni dépendants.

Sur la base de cette classification nous avons proposé des contremesures de mitigation visant à mitiger la vulnérabilité globale de la structure. Deux types de contremesures ont été proposés selon les classes d'acteurs.

Pour les acteurs influents, les leviers d'action sont la résilience des acteurs et la robustesse des flux livrés par les le influents. Des contremesures qui portent sur l'amélioration des critères (*IC*, *P*, *R*, *Q*, *C* et *D*) ont été proposées, et une méthode de sélection de contremesures basée sur l'évaluation de la proactivité a été développée.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Pour les acteurs dépendants, un modèle de programmation linéaire mixte, baptisé optiVAM et basé sur les équations définies dans VAM, visant à minimiser la vulnérabilité globale de la structure et donnant lieu à une sélection de contremesures, a été proposé. Ces contremesures auront pour rôle de donner la meilleure régulation de l'interdépendance entre les acteurs ce qui va donner lieu à une reconfiguration temporaire des flux que l'HAD peut adopter en temps de crise.

L'étude stratégique a été appliquée sur un scénario d'étude inspiré de la réalité à savoir la grippe pandémique H1N1. Les modèles ont montré leur applicabilité et ont donné lieu à des analyses pertinentes (Soumission IJPR).

❖ Analyse opérationnelle

Cette partie est consacrée au développement des outils d'aide à la décision que la cellule de crise de l'HAD peut utiliser pour répondre à une crise d'origine humaine ou naturelle.

Nous avons commencé par une revue de littérature des travaux portant sur les problèmes connexes à l'HAD. Nous avons eu recours aux problèmes traités dans le cadre de la logistique humanitaire telle que :

- Le problème de localisations des abris en temps de crise,
- Le problème d'évacuation des populations en danger,
- Le problème de distribution des secours,
- Le problème de gestion des stocks.

Nous avons pu remarquer que l'HAD, qui représente un certain nombre de particularités méritant d'être prises en compte, n'a pas été suffisamment traitée dans la littérature.

Nous avons donc étudié deux problèmes types :

- Le problème d'accès aux soins,
- Le problème d'accès aux domiciles,

Le problème d'accès aux soins, c.-à-d. de prise en charge de patients, d'administration de vaccins, d'antitoxines, d'antibiotiques, etc., est un problème que l'HAD peut rencontrer lors d'une crise de type, afflux massif, grippe pandémique, participation dans un plan blanc élargi, etc.

Pour étudier la problématique d'accès aux soins, nous avons défini, suite à la proposition de Soins et Santé, le scénario d'une attaque terroriste biologique qui consiste à administrer de la toxine botulique dans les réseaux de distribution collective de repas. L'HAD en tant qu'acteur principal du système de santé doit activement participer au plan blanc élargi.

Un modèle de programmation linaire de réponse a été proposé. Le modèle intègre la modélisation de l'aspect évolutif de l'état des patients à l'aide d'une version étendue du modèle SIR (Susceptible- Infected - Removed). Nous mettons en œuvre une possibilité de collaboration au sein du système de santé. Une mutualisation des stocks des pharmacies entre l'HAD et un hôpital conventionnel est mise en œuvre. Le dimensionnement des ressources (antitoxines, ressources matérielles, etc.) est pris en compte.

Les analyses ont montré l'impact néfaste d'un tel scénario en termes de vies humaines, et en termes de coûts pour le système de santé. Nous avons montré également la possibilité d'une

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

collaboration bilatérale entre les structures d'HAD et les hôpitaux conventionnels au sein du système de santé (ILS, 2018).

En ce qui concerne le problème d'accès aux domiciles, les activités principales de l'HAD (visite infirmière, livraison de médicament, consultation médicale, etc…) sont recentrées autour de l'accès aux domiciles des patients. Pendant une crise naturelle de type crue, neige, tornades, etc., les ressources ne peuvent pas se déplacer au chevet des patients, ces activités se voient compromises. L'évacuation ou le soutien à domicile adaptatif reste la décision majeure que les gestionnaires doivent prendre afin de sécuriser leurs patients.

Nous avons proposé une méthode pour l'évaluation du risque de chaque patient en tenant compte de l'évolution de la crise dans le temps mais aussi de l'état intrinsèque du patient. Nous avons proposé également un outil visant à fournir un plan d'évacuation pour les patients à haut risque et un plan de soutien à domicile pour les patients à risque modéré.

L'outil combine un modèle de partitionnement dynamique basé sur l'évolution du risque individuel et la proximité géographique entre les patients, avec un modèle de localisation et d'affectation tenant compte des coûts fixes et des coûts variables. L'outil a été testé sur un scénario hypothétique d'une crue, et a donné lieu à des analyses pertinentes (INCOM, 2018).

Enfin, pour le but de diffusion et de partage, un site web dédié au projet PrHoDom qui regroupe les principaux scénarios étudiés, ainsi que les approches proposées et les résultats obtenus, est disponible via le lien suivant : http://www.prhodom.disp-lab.fr/

4.2. Perspectives

Plusieurs perspectives et pistes de recherche découlent de ce qui a été réalisé dans ces travaux de thèse et au-delà dans le projet PrHoDom :

- Concernant le modèle VAM, nous considérons que l'intégration des approches multicritères comme AHP (Analytic Hierarchy Process) pourrait être utile dans la manipulation des différents critères (*IC*, *P*, *R*, *Q*, *C* et *D*). Les critères n'ont pas forcément le même poids pour les décideurs, ainsi une étude de sensibilité sur ces poids peut être menée afin de voir leurs impacts sur les résultats du modèle.
- Le modèle VAM peut être combiné avec la théorie des Ensembles Flous, afin de mitiger la subjectivité surtout dans la phase de jugement des experts.
- Le VAM a été appliqué sur la chaîne logistique de l'HAD, mais il peut être adapté à une chaîne logistique quelconque. Les critères et leurs règles d'évaluation relatives proposés dans la phase d'évaluation pourraient être adaptés ou modifiés selon l'application et le secteur d'étude.
- Concernant la classification des acteurs, nous pouvons chercher à utiliser une méthode plus efficace basée sur les algorithmes de centralité des graphes comme l'algorithme de centralité de Percolation (Piraveenan, Prokopenko et Hossain, 2013).
- Un logiciel simple et facile à utiliser, qui regroupe toutes les étapes de l'approche proposée (évaluation des critères, VAM, optiVAM, etc.) peut être utile pendant la phase

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

de préparation à la crise. Il permettrait de tester facilement l'impact de différents scénarios avec différentes amplitudes.

- Pour le modèle de réponse au scénario d'attaque biologique, on peut combiner le modèle d'optimisation avec un modèle de simulation pour simuler les afflux sur l'hôpital et sur l'HAD. Un tel modèle descriptif peut capturer facilement les aléas et les aspects liés à l'incertitude.

- Concernant le modèle de réponse à des crises naturelles de type crue, nous n'avons pas considéré le problème de routage et nous avons choisi de contrôler la distance maximale séparant les patients (T_{max}) appartenant au même groupe. Ainsi, l'étude de l'aspect routage peut être une perspective pour améliorer notre modèle.
- En termes de localisation des hôpitaux temporaires, nous pouvons considérer d'autres critères en compléments de la distance (voir (Kılcı, Kara et Bozkaya, 2014) pour d'autres critères pouvant être considérés).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Références bibliographiques

Abolghasemi, Mahdi, Vahid Khodakarami, Hamid Tehranifard, and Hamid Tehranifard. 2015. "A New Approach for Supply Chain Risk Management: Mapping SCOR into Bayesian Network." *Journal of Industrial Engineering and Management* 8(1):280–302. Retrieved March 6, 2018 (http://www.jiem.org/index.php/jiem/article/view/1281).

Adida, Elodie, Po-Ching C. DeLaurentis, and Mark Alan Lawley. 2011. "Hospital Stockpiling for Disaster Planning." *IIE Transactions* 43(5):348–62. Retrieved May 9, 2018 (http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0740817X.2010.540639).

Alsalloum, Othman Ibraheem and Graham K. Rand. 2006. "Extensions to Emergency Vehicle Location Models." *Computers & Operations Research* 33(9):2725–43. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030505480500081X).

Ambulkar, Saurabh, Jennifer Blackhurst, and Scott Grawe. 2015. "Firm's Resilience to Supply Chain Disruptions: Scale Development and Empirical Examination." *Journal of Operations Management* 33–34:111–22. Retrieved March 6, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272696314000874).

Anon. 2003. "Major Hepatitis A Outbreak In Pa. - CBS News." Retrieved May 9, 2018 (https://www.cbsnews.com/news/major-hepatitis-a-outbreak-in-pa/).

Anon. n.d. "Global Terrorism Database (GTD) – Spring 2017 | START.umd.edu." Retrieved May 9, 2018 (http://www.start.umd.edu/careers/global-terrorism-database-gtd-spring-2017).

APPIERTO, L. et al. 2002. "Home Care for Chronic Respiratory Failure in Children: 15 Years Experience." *Pediatric Anesthesia* 12(4):345–50. Retrieved May 9, 2018 (http://doi.wiley.com/10.1046/j.1460-9592.2002.00856.x).

Arnon, Stephen S. et al. 2001. "Botulinum Toxin as a Biological Weapon." *JAMA* 285(8):1059. Retrieved May 9, 2018 (http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jama.285.8.1059).

Bachouch, Rym Ben et al. 2009. "Structure de Soins ` a Domicile To Cite This Version : Planification de La Tournée Des Infirmiers Dans Une Structure de Soins À Domicile."

Baghalian, Atefeh, Shabnam Rezapour, and Reza Zanjirani Farahani. 2013. "Robust Supply Chain Network Design with Service Level against Disruptions and Demand Uncertainties: A Real-Life Case." *European Journal of Operational Research* 227(1):199–215.

Balali-Mood, Mahdi, Mohammad Moshiri, and Leila Etemad. 2013. "Medical Aspects of Bio-Terrorism." *Toxicon* 69:131–42. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0041010113000238).

Barkaoui, H., A. Guinet, and T. Wang. 2017. "Home Health Care Vulnerability Assessment Using Graph Theory and Matrix Methods." *IFAC-PapersOnLine* 50(1).

Barkaoui, Houssem, Alain Guinet, Tao Wang, and Nadine Meskens. 2016. "Les Plans de Gestion de Crises Dans Les Pays Francophones." in *"8ème édition de la conférence Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, GISEH", casablanca (du 11/07/2016 au 13/07/2016)*. Retrieved May 10, 2018 (https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:176923).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Berle, Øyvind, Bjørn Egil Asbjørnslett, and James B. Rice. 2011. "Formal Vulnerability Assessment of a Maritime Transportation System." *Reliability Engineering & System Safety* 96(6):696–705.

Bish, Douglas R. 2011. "Planning for a Bus-Based Evacuation." *OR Spectrum* 33(3):629–54. Retrieved December 1, 2016 (http://link.springer.com/10.1007/s00291-011-0256-1).

Bogadi, Nina Puhač, Mara Banović, and Ivona Babić. 2016. "Food Defence System in Food Industry: Perspective of the EU Countries." *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* 11(3):217–26. Retrieved May 9, 2018 (http://link.springer.com/10.1007/s00003-016-1022-8).

Bogataj, David and Marija Bogataj. 2007. "Measuring the Supply Chain Risk and Vulnerability in Frequency Space." *International Journal of Production Economics* 108(1–2):291–301. Retrieved March 6, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527306003264).

Büyüktahtakın, İ.Esra, Emmanuel des-Bordes, and Eyyüb Y. Kıbış. 2018. "A New Epidemics–logistics Model: Insights into Controlling the Ebola Virus Disease in West Africa." *European Journal of Operational Research* 265(3):1046–63. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221717307683).

Cabanyes Truffino, Javier. 2010. "Resiliencia: Una Aproximación Al Concepto." *Revista de Psiquiatría y Salud Mental* 3(4):145–51. Retrieved March 7, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1888989110000741).

Campbell, Ann Melissa, Dieter Vandenbussche, and William Hermann. 2008. "Routing for Relief Efforts." *Transportation Science* 42(2):127–45. Retrieved May 9, 2018 (http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/trsc.1070.0209).

Cançado, Vanessa et al. 2008. "Food Risk Assessment in an Urban Area: Measuring Hazard and Vulnerability." in *11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008*. Retrieved May 10, 2018 (https://www.researchgate.net/publication/228507992).

Cardoso, Sónia R., Ana Paula Barbosa-Póvoa, Susana Relvas, and Augusto Q. Novais. 2015. "Resilience Metrics in the Assessment of Complex Supply-Chains Performance Operating under Demand Uncertainty." *Omega* 56:53–73. Retrieved March 6, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048315000535).

Carrie, Monsieur Nicolas. 2018. "DECINES CHARPIEU -CAPIO CLINIQUE DU GRAND LARGE." Retrieved May 9, 2018 (http://craih.free.fr/CRAIH/Cahiers_departementaux_files/69 RHONE.pdf).

Carvalho, Helena, Ana P. Barroso, Virgínia H. Machado, Susana Azevedo, and V. Cruz-Machado. 2012. "Supply Chain Redesign for Resilience Using Simulation." *Computers & Industrial Engineering* 62(1):329–41. Retrieved March 6, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835211002907).

Caunhye, Aakil M., Xiaofeng Nie, and Shaligram Pokharel. 2012. "Optimization Models in Emergency Logistics: A Literature Review." *Socio-Economic Planning Sciences* 46(1):4–13. Retrieved May 7, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038012111000176).

Chen, Tinggui and Xiaoqing Gong. 2013. "Performance Evaluation of a Supply Chain

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Network." *Procedia Computer Science* 17:1003–9.

Chen, Wanying, Alain Guinet, and Angel Ruiz. 2014. "Modeling and Simulation of a French Extended White Plan: A Hospital Evacuation Before a Forecasted Flood." Pp. 277–88 in. Springer, Cham. Retrieved May 7, 2018 (http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-01848-5_22).

Chen, Wanying, Alain Guinet, and Angel Ruiz. 2016. "Disease Prevention and Control Plans: State of the Art and Future Research Guideline." Pp. 145–54 in. Springer, Cham. Retrieved May 7, 2018 (http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-35132-2_14).

Chowdhury, Md Maruf H. and Mohammed Quaddus. 2017. "Supply Chain Resilience: Conceptualization and Scale Development Using Dynamic Capability Theory." *International Journal of Production Economics* 188:185–204. Retrieved March 6, 2018 (http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925527317301147).

Clark, Alistair and Bernadette Culkin. 2013. "A Network Transshipment Model for Planning Humanitarian Relief Operations After a Natural Disaster." Pp. 233–57 in. Atlantis Press, Paris. Retrieved May 9, 2018 (http://link.springer.com/10.2991/978-94-91216-74-9_11).

Colicchia, Claudia, Fabrizio Dallari, and Marco Melacini. 2010. "Increasing Supply Chain Resilience in a Global Sourcing Context." *Production Planning & Control* 21(7):680–94. Retrieved March 6, 2018 (https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09537280903551969).

Colizza, Vittoria, Alain Barrat, Marc Barthelemy, Alain-Jacques Valleron, and Alessandro Vespignani. 2007. "Modeling the Worldwide Spread of Pandemic Influenza: Baseline Case and Containment Interventions" edited by A. P. Galvani. *PLoS Medicine* 4(1):e13. Retrieved May 9, 2018 (http://dx.plos.org/10.1371/journal.pmed.0040013).

Comfort, L. et al. 1999. "Reframing Disaster Policy: The Global Evolution of Vulnerable Communities." *Environmental Hazards* 1(1):39–44. Retrieved March 7, 2018 (http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3763/ehaz.1999.0105).

Craft, David L., Lawrence M. Wein, and Alexander H. Wilkins. 2005. "Analyzing Bioterror Response Logistics: The Case of Anthrax." *Management Science* 51(5):679–94. Retrieved May 9, 2018 (http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.1040.0348).

Daouda, Kamissoko, Peres Francois, and Zarate Pascale. 2013. "Technological Networks Robustness and Resilience Assessment." in *Proceedings of 2013 International Conference on Industrial Engineering and Systems Mana gement (IESM)*. Retrieved March 7, 2018 (https://www.mendeley.com/research-papers/technological-networks-robustness-resilience-assessment/?utm_source=desktop&utm_medium=1.17.13&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B193b1ada-3754-37ae-b2ee-a89b62c784db%7D).

Delaurentis, Po-Ching, Elodie Adida, and Mark Lawley. n.d. "A Game Theoretical Approach for Hospital Stockpile in Preparation for Pandemics." Retrieved May 9, 2018 (https://search.proquest.com/openview/8a74e4c8fd638c10d21d1fe6ddbc4beb/1?pq-origsite=gscholar&cbl=51908).

DeLaurentis, Po-Ching C., Elodie Adida, and Mark Lawley. 2009. "Hospital Stockpiling for Influenza Pandemics with Pre-Determined Response Levels." Pp. 37–42 in *2009 IEEE/INFORMS International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics*. IEEE. Retrieved May 9, 2018

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

(http://ieeexplore.ieee.org/document/5203900/).

Delmas, Gilles et al. n.d. “Les Toxi-Infections Alimentaires Collectives En France Entre 2006 et 2008.” Retrieved May 9, 2018 (http://fcorpet.free.fr/Denis/W/TIAC-06-08-BEH-31-2010.pdf).

Demmer, William A., Shawnee K. Vickery, and Roger Calantone. 2011. “Engendering Resilience in Small- and Medium-Sized Enterprises (SMEs): A Case Study of Demmer Corporation.” *International Journal of Production Research* 49(18):5395–5413. Retrieved March 6, 2018 (http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2011.563903).

Dessouky, Maged M., Fernando Ordonez, Zhihong Shen, and Hongzhong Jia. 2009. “CREATE Research Archive Rapid Distribution of Medical Supplies.” Retrieved May 9, 2018 (http://research.create.usc.edu/nonpublished_reports).

Doerner, Karl F; Gutjahr, Walter J; Hartl, Richard F; Karall, Michaela; Reimann, Marc. 2005. “Heuristic Solution of an Extended Double-Coverage Ambulance Location Problem for Austria.” *Central European Journal of Operations* . Retrieved May 9, 2018 (https://search.proquest.com/openview/77059cde40b5a5face07d1470d7fa7d5/1?pq-origsite=gscholar&cbl=46921).

Dong, Ming. 2006. “Development of Supply Chain Network Robustness Index.” *International Journal of Services Operations and Informatics* 1(1/2):54. Retrieved March 2, 2018 (http://www.inderscience.com/link.php?id=10189).

Durach, Christian F., Andreas Wieland, and Jose A. D. Machuca. 2015. “Antecedents and Dimensions of Supply Chain Robustness: A Systematic Literature Review” edited by P. Maria Jesus Saenz and D. Xenophon Koufteros. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 45(1/2):118–37. Retrieved March 6, 2018 (http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/IJPDLM-05-2013-0133).

Ekici, Ali, Pinar Keskinocak, and Julie L. Swann. 2008. “Pandemic Influenza Response.” Pp. 1592–1600 in *2008 Winter Simulation Conference*. IEEE. Retrieved May 9, 2018 (http://ieeexplore.ieee.org/document/4736242/).

Elleuch, H., E. Dafaoui, A. Elmhamedi, and H. Chabchoub. 2016. “Resilience and Vulnerability in Supply Chain: Literature Review.” *IFAC-PapersOnLine* 49(12):1448–53. Retrieved March 6, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316310564).

EPRUS. 2013. “ÉTABLISSEMENT DE PREPARATION ET DE REPONSE AUX URGENCES SANITAIRES.” Retrieved May 9, 2018 (http://eprus.santepubliquefrance.fr/sites/default/files/rapport_annuel_activite_2013.pdf).

Faisal, Mohd Nishat, D. K. Banwet, and Ravi Shankar. 2007. “Quantification of Risk Mitigation Environment of Supply Chains Using Graph Theory and Matrix Methods.” *European J. of Industrial Engineering* 1(1):22. Retrieved March 7, 2018 (http://www.inderscience.com/link.php?id=12652).

Fetsch, A. et al. 2014. “Staphylococcus Aureus Food-Poisoning Outbreak Associated with the Consumption of Ice-Cream.” Retrieved May 9, 2018 (https://pdfs.semanticscholar.org/53cf/6219b2ce8106c696a6dea59188004d345c15.pdf).

Fiksel, Joseph. 2003. “Designing Resilient, Sustainable Systems.” Retrieved March 6, 2018 (https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es0344819).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

FNEHAD. 2017. *Rapport D'activité de La FNEHAD*. Retrieved May 9, 2018 (https://www.fnehad.fr/wp-content/uploads/2017/11/FNEHAD_RA_web.pdf).

Forté, Michèle and Sylvie Monchatre. 2013. "Recruter Dans L'hôtellerie-Restauration : Quelle Sélectivité Sur Un Marché Du Travail En Tension ?" *La Revue de l'Ires* 76(1):127. Retrieved May 9, 2018 (http://www.cairn.info/revue-de-l-ires-2013-1-page-127.htm).

Fox News. 2012. "Smoked Salmon Blamed for Salmonella Outbreak in Netherlands and United States." *Associated Press*. Retrieved May 9, 2018 (http://www.foxnews.com/world/2012/10/02/smoked-salmon-blamed-for-salmonella-outbreak-in-netherlands-and-united-states.html).

Frick, Kevin D. et al. 2009. "Substitutive Hospital at Home for Older Persons: Effects on Costs." *The American journal of managed care* 15(1):49–56. Retrieved May 9, 2018 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19146364).

Galvão, Roberto D., Fernando Y. Chiyoshi, and Reinaldo Morabito. 2005. "Towards Unified Formulations and Extensions of Two Classical Probabilistic Location Models." *Computers & Operations Research* 32(1):15–33. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054803002004).

Ganoulis, J. 2003. "Risk-based Floodplain Management: A Case Study from Greece." *International Journal of River Basin Management* 1(1):41–47. Retrieved May 9, 2018 (http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15715124.2003.9635191).

Goerigk, Marc and Bob Grün. 2014. "A Robust Bus Evacuation Model with Delayed Scenario Information." *OR Spectrum* 36(4):923–48. Retrieved March 13, 2017 (http://link.springer.com/10.1007/s00291-014-0365-8).

Goerigk, Marc, Bob Grün, and Philipp Heßler. 2013. "Branch and Bound Algorithms for the Bus Evacuation Problem." *Computers & Operations Research* 40(12):3010–20.

Goerigk, Marc, Bob Grün, and Philipp Heßler. 2014. "Combining Bus Evacuation with Location Decisions: A Branch-and-Price Approach." *Transportation Research Procedia* 2:783–91.

Gong, Jing, John E. Mitchell, Ananth Krishnamurthy, and William A. Wallace. 2014. "An Interdependent Layered Network Model for a Resilient Supply Chain." *Omega* 46:104–16. Retrieved March 6, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048313000856).

Guha-Sapir, Debarati, Philippe Hoyois, Pascaline Wallemacq, Regina Below, and Pasacline Wallemacq. n.d. "Annual Disaster Statistical Review 2016 The Numbers and Trends." Retrieved April 10, 2018 (https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/adsr_2016.pdf).

Guinet. A. (2017). How to protect a hospital against cyber attacks. Springer. Third International Conference on Health Care Systems Engineering, May, Florence (Italy). Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, 1-13.

Hennet, Jean-Claude and Jean-Marc Mercantini. 2010. "MODELING AND EVALUATION OF VULNERABILITIES IN A SUPPLY CHAIN." in *8 th International Conference of Modeling and Simulation - MOSIM'10 - May 10 -12, 2010 - Hammamet - Tunisia "Evaluation and optimization of innovative production systems of goods and services."* Retrieved March 6, 2018 (http://www.lsis.org/hennetjc/PUBLIS/MOSIM10_HMe.pdf).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Hu, Jiaxiang and Lindu Zhao. 2011. "Emergency Logistics Strategy in Response to Anthrax Attacks Based on System Dynamics." *International Journal of Mathematics in Operational Research* 3(5):490. Retrieved May 9, 2018 (http://www.inderscience.com/link.php?id=42440).

Huang, Rongbing, Seokjin Kim, and Mozart B. C. Menezes. 2010. "Facility Location for Large-Scale Emergencies." *Annals of Operations Research* 181(1):271–86. Retrieved May 9, 2018 (http://link.springer.com/10.1007/s10479-010-0736-8).

Hung, Shih-Chiang et al. 2014. "Determining Delayed Admission to the Intensive Care Unit for Mechanically Ventilated Patients in the Emergency Department." *Critical Care* 18(4):485. Retrieved May 9, 2018 (http://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-014-0485-1).

Iii, George H.Baker and D. Ph. 2003. "A Vulnerability Assessment Methodology for Critical Infrastructure Facilities 1." (February):1–15.

Infectious Diseases Society of America. 1992. *Clinical Infectious Diseases*. University of Chicago Press.

Ivanov, Dmitry, Alexandre Dolgui, Boris Sokolov, and Marina Ivanova. 2017. "Literature Review on Disruption Recovery in the Supply Chain." *International Journal of Production Research* 55(20):6158–74. Retrieved March 4, 2018 (https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2017.1330572).

Ivanov, Dmitry, Alexander Pavlov, Alexandre Dolgui, Dmitry Pavlov, and Boris Sokolov. 2016. "Disruption-Driven Supply Chain (Re)-Planning and Performance Impact Assessment with Consideration of pro-Active and Recovery Policies." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 90:7–24. Retrieved March 4, 2018 (http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S136655451500232X).

Jamrog, Diane C., Michael P. Shatz, and Cassandra Smith. 2007. "Modeling Responses to Anthrax and Smallpox Attacks." Retrieved May 9, 2018 (http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.163.115&rep=rep1&type=pdf).

Jia, Hongzhong, Fernando Ordóñez, and Maged Dessouky. 2007. "A Modeling Framework for Facility Location of Medical Services for Large-Scale Emergencies." *IIE Transactions* 39(1):41–55. Retrieved May 9, 2018 (http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07408170500539113).

Jia, Hongzhong, Fernando Ordóñez, and Maged M. Dessouky. 2007. "Solution Approaches for Facility Location of Medical Supplies for Large-Scale Emergencies." *Computers & Industrial Engineering* 52(2):257–76. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835206002129).

Jiuh-Biing Sheu. 2007. "An Emergency Logistics Distribution Approach for Quick Response to Urgent Relief Demand in Disasters." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 43(6):687–709. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554507000191).

Jüttner, Uta and Stan Maklan. 2011. "Supply Chain Resilience in the Global Financial Crisis: An Empirical Study." *Supply Chain Management: An International Journal* 16(4):246–59. Retrieved March 6, 2018 (http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/13598541111139062).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Kamissoko, Daouda. 2013. “Aide À La Décision Pour L’analyse de La Vulnérabilité Des Réseaux D’infrastructure Face À Une Crise de Catastrophe Naturelle.” *http://www.theses.fr*.

Kaup, D. J., T. L. Clarke, Rex Oleson, and Linda C. Malone. n.d. “Crowd Dynamics Simulation Research.” Retrieved March 13, 2017 (http://cc.ist.psu.edu/BRIMS/archives/2007/papers/07-BRIMS-018.pdf).

van Kessel, Gisela. 2013. “The Ability of Older People to Overcome Adversity: A Review of the Resilience Concept.” *Geriatric nursing (New York, N.Y.)* 34(2):122–27. Retrieved March 7, 2018 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23332474).

Khakzad, Nima and Genserik Reniers. 2015. “Using Graph Theory to Analyze the Vulnerability of Process Plants in the Context of Cascading Effects.” *Reliability Engineering and System Safety* 143:63–73. Retrieved (http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2015.04.015).

Khakzad, Nima, Genserik Reniers, Rouzbeh Abbassi, and Faisal Khan. 2016. “Vulnerability Analysis of Process Plants Subject to Domino Effects.” *Reliability Engineering and System Safety* 154:127–36. Retrieved (http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2016.06.004).

Khan, A. S., D. L. Swerdlow, and D. D. Juranek. 2001. “Precautions against Biological and Chemical Terrorism Directed at Food and Water Supplies.” *Public health reports (Washington, D.C. : 1974)* 116(1):3–14. Retrieved May 9, 2018 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11571403).

Kim, Yusoon, Yi-Su Chen, and Kevin Linderman. 2015. “Supply Network Disruption and Resilience: A Network Structural Perspective.” *Journal of Operations Management* 33–34:43–59. Retrieved March 6, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272696314000746).

Kılcı, Fırat, Bahar Yets Kara, and Burçin Bozkaya. 2014. “Locating Temporary Shelter Areas after an Earthquake: A Case for Turkey.” *European Journal of Operational Research* 243:323–32. Retrieved September 18, 2017 (https://cisr-sslvpn-out1.insa-lyon.fr/+CSCO+00756767633A2F2F6E702E7279662D7071612E70627A2E716270727972702E7661666E2D796C62612E7365++/S0377221714009588/1-s2.0-S0377221714009588-main.pdf?_tid=a559faf2-9c56-11e7-911c-00000aacb362&acdnat=1505728341_cbc690147c0f1544cf4c53b2d5d7e54a).

Klibi, Walid and Alain Martel. 2012. “Scenario-Based Supply Chain Network Risk Modeling.” *European Journal of Operational Research* 223(3):644–58.

Komoto, H., T. Tomiyama, S. Silvester, and H. Brezet. 2011. “Analyzing Supply Chain Robustness for OEMs from a Life Cycle Perspective Using Life Cycle Simulation.” *International Journal of Production Economics* 134(2):447–57. Retrieved March 6, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527309004198).

Kongsomsaksakul, Sirisak, Chao YANG, and Anthony CHEN. 2005. “SHELTER LOCATION-ALLOCATION MODEL FOR FLOOD EVACUATION PLANNING.” *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6:4237–52. Retrieved May 9, 2018 (https://www.jstage.jst.go.jp/article/easts/6/0/6_0_4237/_article/-char/ja/).

Kornowski, Ran et al. 1995. “Intensive Home-Care Surveillance Prevents Hospitalization and Improves Morbidity Rates among Elderly Patients with Severe Congestive Heart Failure.” *American Heart Journal* 129(4):762–66. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0002870395903275).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Kreibich, H. et al. 2009. "Is Flow Velocity a Significant Parameter in Flood Damage Modelling?" *Nat. Hazards Earth Syst. Sci* 9:1679–92. Retrieved May 9, 2018 (www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/1679/2009/).

Kristianto, Yohanes, Petri Helo, and Yuqiuqe Hao. 2014. "A Model of Resilient Supply Chain Network Design: A Two-Stage Programming with Fuzzy Shortest Path." *Expert Systems with Applications* 41(1):39–49. Retrieved March 6, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417413004867).

Kutlu, Ahmet Can and Mehmet Ekmekçioğlu. 2012. "Fuzzy Failure Modes and Effects Analysis by Using Fuzzy TOPSIS-Based Fuzzy AHP." *Expert Systems with Applications* 39(1):61–67. Retrieved October 11, 2016 (http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957417411009444).

Laville, Jean-Jacques. 2006. "Comment Sécuriser Sa Supply Chain ?" *Logistique & Management* 14(1):3–18. Retrieved March 6, 2018 (https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/12507970.2006.11516850).

Leat, Philip and Cesar Revoredo-Giha. 2013. "Risk and Resilience in Agri-food Supply Chains: The Case of the ASDA PorkLink Supply Chain in Scotland." *Supply Chain Management: An International Journal* 18(2):219–31. Retrieved March 6, 2018 (http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/13598541311318845).

Leclair, Daniel et al. 2013. "Foodborne Botulism in Canada, 1985-2005." *Emerging infectious diseases* 19(6):961–68. Retrieved May 9, 2018 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23735780).

Lee, Eva K., Siddhartha Maheshwary, Jacquelyn Mason, and William Glisson. 2006. "Decision Support System for Mass Dispensing of Medications for Infectious Disease Outbreaks and Bioterrorist Attacks." *Annals of Operations Research* 148(1):25–53. Retrieved May 9, 2018 (http://link.springer.com/10.1007/s10479-006-0087-7).

Lewin, Gill et al. 2014. "A Comparison of the Home-Care and Healthcare Service Use and Costs of Older Australians Randomised to Receive a Restorative or a Conventional Home-Care Service." *Health & Social Care in the Community* 22(3):328–36. Retrieved May 9, 2018 (http://doi.wiley.com/10.1111/hsc.12092).

Li, Anna C. Y., Linda Nozick, Ningxiong Xu, and Rachel Davidson. 2012. "Shelter Location and Transportation Planning under Hurricane Conditions." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 48(4):715–29. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554511001566).

Maillot, Evelyne Madelaine. 2010. "Terrorism and the Food Chain." Pp. 141–49 in. Springer, Dordrecht. Retrieved May 9, 2018 (http://link.springer.com/10.1007/978-90-481-3546-2_10).

Manning, Louise and Jan Mei Soon. 2016. "Food Safety, Food Fraud, and Food Defense: A Fast Evolving Literature." *Journal of Food Science* 81(4):R823–34. Retrieved May 9, 2018 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26934423).

McLay, Laura A. 2009. "A Maximum Expected Covering Location Model with Two Types of Servers." *IIE Transactions* 41(8):730–41. Retrieved May 9, 2018 (http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07408170802702138).

Mensah, Peter and Yuri Merkuryev. 2014. "Developing a Resilient Supply Chain." *Procedia* -

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Social and Behavioral Sciences 110:309–19. Retrieved March 6, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042813055158).

Munoz, Albert and Michelle Dunbar. 2015. "On the Quantification of Operational Supply Chain Resilience." *International Journal of Production Research* 53(22):6736–51. Retrieved February 23, 2017 (http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2015.1057296).

Murali, Pavankumar, Fernando Ordóñez, and Maged M. Dessouky. 2012. "Facility Location under Demand Uncertainty: Response to a Large-Scale Bio-Terror Attack." *Socio-Economic Planning Sciences* 46(1):78–87. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038012111000450).

Naji-Azimi, Z., J. Renaud, A. Ruiz, and M. Salari. 2012. "A Covering Tour Approach to the Location of Satellite Distribution Centers to Supply Humanitarian Aid." *European Journal of Operational Research* 222(3):596–605. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221712003475).

Nathalie Decottégine. 2014. "Être Proactif." Retrieved March 7, 2018 (http://www.etreproactif.com/).

Naumann, Markus, Lee Ming Boo, Alan H. Ackerman, and Conor J. Gallagher. 2013. "Immunogenicity of Botulinum Toxins." *Journal of Neural Transmission* 120(2):275–90. Retrieved May 9, 2018 (http://link.springer.com/10.1007/s00702-012-0893-9).

Neureuther, Brian D. and George Kenyon. 2009. "Mitigating Supply Chain Vulnerability." *Journal of Marketing Channels* 16(3):245–63. Retrieved March 6, 2018 (http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10466690902934532).

News Desk. 2013. "After 79 E. Coli Illnesses, Federico's Gets Clean Bill of Health | Food Safety News." Retrieved May 9, 2018 (http://www.foodsafetynews.com/2013/09/federicos-update/#.WvKxv38uCUl).

Nikookar, Hassan, Josu Takala, Daniel Sahebi, and Jussi Kantola. 2014. "A Qualitative Approach for Assessing Resiliency in Supply Chains." *Management and Production Engineering Review* 5(4):36–45. Retrieved March 6, 2018 (http://www.degruyter.com/view/j/mper.2014.5.issue-4/mper-2014-0034/mper-2014-0034.xml).

Nishat Faisal, Mohd, D. K. Banwet, and Ravi Shankar. 2006. "Supply Chain Risk Mitigation: Modeling the Enablers." *Business Process Management Journal* 12(4):535–52. Retrieved March 7, 2018 (http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/14637150610678113).

Nolz, Pamela C., Karl F. Doerner, Walter J. Gutjahr, and Richard F. Hartl. 2010. "A Bi-Objective Metaheuristic for Disaster Relief Operation Planning." Pp. 167–87 in. Springer, Berlin, Heidelberg. Retrieved May 9, 2018 (http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-11218-8_8).

ONIAM. 2018. "Barème D'indemnisation - Oniam." Retrieved May 9, 2018 (http://www.oniam.fr/procedure-indemnisation/bareme-indemnisation).

Ozbay, Kaan and Eren Ozguven. 2007. "Stochastic Humanitarian Inventory Control Model for Disaster Planning." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2022:63–75. Retrieved May 9, 2018 (http://trrjournalonline.trb.org/doi/10.3141/2022-08).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Ozguven, Eren Erman and Kaan Ozbay. 2013. "A Secure and Efficient Inventory Management System for Disasters." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 29:171–96. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X11001227).

Peck, Helen. 2005. "Drivers of Supply Chain Vulnerability: An Integrated Framework." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 35(4):210–32. Retrieved March 6, 2018 (http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/09600030510599904).

Pelechano, Nuria and Ali Malkawi. 2008. "Evacuation Simulation Models: Challenges in Modeling High Rise Building Evacuation with Cellular Automata Approaches." Retrieved March 13, 2017 (http://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/9424.pdf).

Petit, F. n.d. "Concepts D'analyse de La Vulnérabilité Desinfrastructures Essentielles-Prise En Compte de Lacybernétique." Retrieved March 6, 2018 (https://www.researchgate.net/profile/Frederic_Petit/publication/299532402_Concepts_d'analyse_de_la_vulnerabilite_des_Infrastructures_essentielles_-_Prise_en_compte_de_la_cybernetique/links/56fd5ff308aee995dde55ce7.pdf).

Pettit, Timothy J., Keely L. Croxton, and Joseph Fiksel. 2013. "Ensuring Supply Chain Resilience: Development and Implementation of an Assessment Tool." *Journal of Business Logistics* 34(1):46–76. Retrieved March 6, 2018 (http://doi.wiley.com/10.1111/jbl.12009).

Pettit, Timothy J., Joseph Fiksel, and Keely L. Croxton. 2010. "ENSURING SUPPLY CHAIN RESILIENCE: DEVELOPMENT OF A CONCEPTUAL FRAMEWORK." *Journal of Business Logistics* 31(1):1–21. Retrieved March 6, 2018 (http://doi.wiley.com/10.1002/j.2158-1592.2010.tb00125.x).

Piraveenan, Mahendra, Mikhail Prokopenko, and Liaquat Hossain. 2013. "Percolation Centrality: Quantifying Graph-Theoretic Impact of Nodes during Percolation in Networks" edited by P. Holme. *PLoS ONE* 8(1):e53095. Retrieved March 8, 2018 (http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0053095).

Ponomarov, Serhiy Y. and Mary C. Holcomb. 2009. "Understanding the Concept of Supply Chain Resilience." *The International Journal of Logistics Management* 20(1):124–43. Retrieved March 2, 2018 (http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/09574090910954873).

Rasmussen, Matias Sevel, Tor Justesen, Anders Dohn, and Jesper Larsen. 2012. "The Home Care Crew Scheduling Problem: Preference-Based Visit Clustering and Temporal Dependencies." *European Journal of Operational Research* 219:598–610.

Rest, Klaus-Dieter, Andrea Trautsamwieser, and Patrick Hirsch. 2012. "Trends and Risks in Home Health Care." *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* 2(1):34–53. Retrieved October 20, 2016 (http://dx.doi.org/10.1108/20426741211225993).

Rest, Klaus Dieter and Patrick Hirsch. 2015. "Supporting Urban Home Health Care in Daily Business and Times of Disasters." *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* 48(3):686–91.

Rose, Adam et al. 2007. "Benefit-Cost Analysis of FEMA Hazard Mitigation Grants." *Natural Hazards Review* 8(4):97–111. Retrieved May 9, 2018 (http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%291527-

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

6988%282007%298%3A4%2897%29).

Rytilä, Jyrki S. and Karen M. Spens. 2006. "Using Simulation to Increase Efficiency in Blood Supply Chains." *Management Research News* 29(12):801–19. Retrieved May 9, 2018 (https://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/01409170610717826).

Salido, Miguel A., Federico Barber, and Laura Ingolotti. 2012. "Robustness for a Single Railway Line: Analytical and Simulation Methods." *Expert Systems with Applications* 39(18):13305–27. Retrieved March 7, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417412007877).

Sawik, Tadeusz. 2013. "Selection of Resilient Supply Portfolio under Disruption Risks." *Omega* 41(2):259–69. Retrieved March 6, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030504831200093X).

Sayers, Paul et al. n.d. "RISK ASSESSMENT OF FLOOD AND COASTAL DEFENCES FOR STRATEGIC PLANNING (RASP) – A HIGH LEVEL METHODOLOGY." Retrieved May 9, 2018 (http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.117.96).

Sayyady, Fatemeh and Sandra D. Eksioglu. 2010. "Optimizing the Use of Public Transit System during No - Notice Evacuation of Urban Areas." Retrieved March 13, 2017 (https://www.researchgate.net/profile/Sandra_Eksioglu/publication/287092703_Optimizing_the_use_of_transit_system_with_information_updates_during_no-notice_evacuations/links/56b344b008ae2c7d5caec6c8.pdf).

Sheffi, Yossi. 2001. "Supply Chain Management under the Threat of International Terrorism." *The International Journal of Logistics Management* 12(2):1–11. Retrieved May 9, 2018 (http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/09574090110806262).

Shing, Man. 2011. "Non-Traditional Occupational Therapy Interventions That Promote Community Reintegration for Individuals with Stroke." *Emerging Practice CATs*. Retrieved May 9, 2018 (https://commons.pacificu.edu/emerge/5).

Smith, T. J., V. I. Roxas-Duncan, and L. A. Smith. 2010. *Journal of Bioterrorism & Biodefense JBTBD*. OMICS Publ. Group. Retrieved May 9, 2018 (https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153104491).

Snelder, M., H. J. van Zuylen, and L. H. Immers. 2012. "A Framework for Robustness Analysis of Road Networks for Short Term Variations in Supply." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 46(5):828–42. Retrieved March 7, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856412000250).

Sobel, Jeremy, Ali S. Khan, and David L. Swerdlow. 2002. "Threat of a Biological Terrorist Attack on the US Food Supply: The CDC Perspective." *The Lancet* 359(9309):874–80. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673602079473).

Song, Rui, Shiwei HE, and Li ZHANG. 2009. "Optimum Transit Operations during the Emergency Evacuations." *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology* 9(6):154–60. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570667208600963).

Soni, Umang, Vipul Jain, and Sameer Kumar. 2014a. "Measuring Supply Chain Resilience Using a Deterministic Modeling Approach." *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING* 74:11–25. Retrieved (http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2014.04.019).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Soni, Umang, Vipul Jain, and Sameer Kumar. 2014b. "Measuring Supply Chain Resilience Using a Deterministic Modeling Approach." *Computers and Industrial Engineering* 74(1):11–25. Retrieved (http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2014.04.019).

Souayah, Nizar et al. 2012. "Trends in Outcome and Hospitalization Charges of Adult Patients Admitted with Botulism in the United States." *Neuroepidemiology* 38(4):233–36. Retrieved May 9, 2018 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22555681).

Spiegler, Virginia L. M., Mohamed M. Naim, and Joakim Wikner. 2012. "A Control Engineering Approach to the Assessment of Supply Chain Resilience." *International Journal of Production Research* 50(21):6162–87. Retrieved February 23, 2017 (http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2012.710764).

Stecke, Kathryn E. and Sanjay Kumar. 2009a. "Sources of Supply Chain Disruptions, Factors That Breed Vulnerability, and Mitigating Strategies." *Journal of Marketing Channels* 16(3):193–226. Retrieved February 27, 2017 (http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10466690902932551).

Stecke, Kathryn E. and Sanjay Kumar. 2009b. "Sources of Supply Chain Disruptions, Factors That Breed Vulnerability, and Mitigating Strategies." *Journal of Marketing Channels* 16(3):193–226. Retrieved March 2, 2018 (http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10466690902932551).

Suddle, Shahid. 2009. "The Weighted Risk Analysis." *Safety Science* 47(5):668–79. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753508001574).

Takeda, Renata Algisi, João A. Widmer, and Reinaldo Morabito. 2007. "Analysis of Ambulance Decentralization in an Urban Emergency Medical Service Using the Hypercube Queueing Model." *Computers & Operations Research* 34(3):727–41. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054805001176).

Tang, Christopher S. 2006. "Robust Strategies for Mitigating Supply Chain Disruptions." *International Journal of Logistics Research and ApplicationsOnline) Journal International Journal of Logistics: Research and Applications* 9(1):1367–5567. Retrieved February 27, 2017 (http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=cjol20).

Taskin, Selda and Emmett J. Lodree. 2010. "Inventory Decisions for Emergency Supplies Based on Hurricane Count Predictions." *International Journal of Production Economics* 126(1):66–75. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527309003697).

Tayfur, Esengul and Kevin Taaffe. 2009. "A Model for Allocating Resources during Hospital Evacuations." *Computers & Industrial Engineering* 57(4):1313–23. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835209001855).

Tinetti, Mary E. et al. 2002. "Evaluation of Restorative Care vs Usual Care for Older Adults Receiving an Acute Episode of Home Care." *JAMA* 287(16):2098. Retrieved May 9, 2018 (http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jama.287.16.2098).

Tricoire, Fabien, Alexandra Graf, and Walter J. Gutjahr. 2012. "The Bi-Objective Stochastic Covering Tour Problem." *Computers & Operations Research* 39(7):1582–92. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030505481100270X).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Tukamuhabwa, Benjamin R., Mark Stevenson, Jerry Busby, and Marta Zorzini. 2015. "Supply Chain Resilience: Definition, Review and Theoretical Foundations for Further Study." *International Journal of Production Research* 53(18):5592–5623. Retrieved February 27, 2017 (http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2015.1037934).

Tzeng, Gwo-Hshiung, Hsin-Jung Cheng, and Tsung Dow Huang. 2007. "Multi-Objective Optimal Planning for Designing Relief Delivery Systems." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 43(6):673–86. Retrieved May 9, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554507000208).

Tzeng, Gwo-Hshiung, Hsin-Jung Cheng, and Tsung Dow Huang. n.d. "Multi-Objective Optimal Planning for Designing Relief Delivery Systems." Retrieved March 13, 2017 (https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/10155/1/000250353600003.pdf).

Vlajic, Jelena V., Jack G. A. J. van der Vorst, and René Haijema. 2012. "A Framework for Designing Robust Food Supply Chains." *International Journal of Production Economics* 137(1):176–89.

Wagner, Stephan M. and Christoph Bode. 2006. "An Empirical Investigation into Supply Chain Vulnerability." *Journal of Purchasing and Supply Management* 12(6):301–12. Retrieved March 6, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1478409207000052).

Wagner, Stephan M. and Nikrouz Neshat. 2012. "A Comparison of Supply Chain Vulnerability Indices for Different Categories of Firms." *International Journal of Production Research* 50(11):2877–91. Retrieved March 6, 2018 (http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2011.561540).

Wang, Haiyan, Xinping Wang, and Amy Z. Zeng. 2009. "Optimal Material Distribution Decisions Based on Epidemic Diffusion Rule and Stochastic Latent Period for Emergency Rescue." *International Journal of Mathematics in Operational Research* 1(1/2):76. Retrieved May 9, 2018 (http://www.inderscience.com/link.php?id=22876).

Wein, Lawrence M., David L. Craft, and Edward H. Kaplan. 2003. "Emergency Response to an Anthrax Attack." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100(7):4346–51. Retrieved May 9, 2018 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12651951).

Wein, Lawrence M. and Yifan Liu. 2005. "Analyzing a Bioterror Attack on the Food Supply: The Case of Botulinum Toxin in Milk." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102(28):9984–89. Retrieved May 9, 2018 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15985558).

Weisstein, Eric W. 2010. "Scale-Free Network." Retrieved May 9, 2018 (http://mathworld.wolfram.com/Scale-FreeNetwork.html).

Whitworth, Mark H. 2006. "Designing the Response to an Anthrax Attack." *Interfaces* 36(6):562–68. Retrieved May 9, 2018 (http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/inte.1060.0241).

Wieland, Andreas and Carl Marcus Wallenburg. 2013. "The Influence of Relational Competencies on Supply Chain Resilience: A Relational View" edited by J. Töyli, Harri Lorentz, and Lauri Oja. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 43(4):300–320. Retrieved March 2, 2018 (http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/IJPDLM-08-2012-0243).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Wilson, Martha C. 2007. “The Impact of Transportation Disruptions on Supply Chain Performance.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 43(4):295–320. Retrieved March 6, 2018 (http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1366554505000967).

Wu, Shengnan et al. n.d. “Embedding GIS in Disaster Simulation.” Retrieved March 13, 2017 (http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.95.2730&rep=rep1&type=pdf).

Wu, T., J. Blackhurst, P. O ’grady, J. Blackhurstz, and P. O ’gradyx. 2007. “International Journal of Production Research Methodology for Supply Chain Disruption Analysis Methodology for Supply Chain Disruption Analysis.” *International Journal of Production Research* 457(7):1665–82. Retrieved February 23, 2017 (http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tprs20).

Wu, Teresa and Jennifer Blackhurst. n.d. “Managing Supply Chain Risk and Vulnerability: Tools and Methods for Supply Chain Decision Makers.” Retrieved March 2, 2018 (http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.465.2066&rep=rep1&type=pdf#page=99).

Xi, Menghao, Feng Ye, Zhong Yao, and Qiuhong Zhao. 2013. “A Modified -Median Model for the Emergency Facilities Location Problem and Its Variable Neighbourhood Search-Based Algorithm.” *Journal of Applied Mathematics* 2013:1–10. Retrieved May 9, 2018 (http://www.hindawi.com/journals/jam/2013/375657/).

Yang, Taho, Yuan-Feng Wen, and Fang-Fang Wang. 2011. “Evaluation of Robustness of Supply Chain Information-Sharing Strategies Using a Hybrid Taguchi and Multiple Criteria Decision-Making Method.” *International Journal of Production Economics* 134(2):458–66. Retrieved March 2, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527309004204).

Yi, Wei and Linet Özdamar. 2007. “A Dynamic Logistics Coordination Model for Evacuation and Support in Disaster Response Activities.” *European Journal of Operational Research* 179(3):1177–93. Retrieved March 13, 2017 (http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221706000932).

Yudong Ke and Lindu Zhao. 2008. “Optimization of Emergency Logistics Delivery Model Based on Anti-Bioterrorism.” Pp. 2077–81 in *2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. IEEE. Retrieved May 9, 2018 (http://ieeexplore.ieee.org/document/4738237/).

Zhang, Tian, Eric Marcon, Tao Wang, and Maria Di Mascolo. 2010. “Simulation D’un Systeme de Chimiotherapie À Domicile Piloté Par Un Centre de Coordination.” *8° International Conference of Modeling and Simulation - MOSIM’10* 1–10.

Zhang, Xinrui and Hengshan Wang. 2011. “Empirical Research on Associations among Information Technology, Supply Chain Robustness and Supply Chain Performance.” *International Journal of Business and Management* 6(2). Retrieved March 2, 2018 (www.ccsenet.org/ijbm).

Zsidisin, George A. and Stephan M. Wagner. 2010. “DO PERCEPTIONS BECOME REALITY? THE MODERATING ROLE OF SUPPLY CHAIN RESILIENCY ON DISRUPTION OCCURRENCE.” *Journal of Business Logistics* 31(2):1–20. Retrieved February 27, 2017 (http://doi.wiley.com/10.1002/j.2158-1592.2010.tb00140.x).

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

Production scientifique

- Articles de revues:

Barkaoui Houssem, Guinet Alain, Wang Tao (2018). Improving the proactivity of Home Health Care supply chain based on vulnerability assessment and mitigation countermeasures. International Journal of Production Research. (Article soumis)

- Conférences internationales:

Barkaoui Houssem, Guinet Alain, Wang Tao (2017). Home Health Care vulnerability assessment using graph theory and matrix methods. IFAC 2017, The 20th World Congress of the International Federation of Automatic Control, 9-14 July.

Barkaoui Houssem, Guinet Alain, Wang Tao (2018). Securing Home Health Care structures facing forecastable natural disasters: A new tool to regulate between evacuation and adaptive home support services. 16th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing. 11-13 June.

Guinet Alain, Barkaoui Houssem, Wang Tao, Dubost Eric (2018). An Emergency Management Plan to Face a Foodborne Criminal Attack. ILS2018. The International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain. 8-11 Jul 2018 Lyon. (Article accepté)

Guinet Alain, Barkaoui Houssem , Wang Tao, Dubost Eric (2017). A mitigation tool to protect a home health care structure facing a hydrological disaster. IFAC 2017 World Congress, Toulouse (France). IFAC-PapersOnLine, 50(1), 4630-4635.

- Conférences internationales francophones:

Barkaoui Houssem, Guinet Alain, Wang Tao, Meskens Nadine (2016). Les systèmes de gestion de crises dans les pays francophones. GISEH 2016, Casablanca, Maroc, 2016 (10 pages).

Guinet Alain, Barkaoui Houssem, Wang Tao, Dubost Eric (2018). PrHoDoM: protection de de l'hospitalisation à domicile. GISEH 2018, Genève, suisse, 2018 (10 pages).

- Conférences nationales sans comité de lecture :

Barkaoui Houssem, Guinet Alain, Wang Tao (2016). Proactivité des systèmes de soins à domicile face à des crises sanitaires. Journée STP du GDRMACS, Grenoble, Mai 2016.

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés

FOLIO ADMINISTRATIF

THESE DE L'UNIVERSITE DE LYON OPEREE AU SEIN DE L'INSA LYON

NOM : BARKAOUI DATE de SOUTENANCE : 04/07/2018

Prénoms : Houssem

TITRE : Proactivité des systèmes de soins à domiciles face à des crises sanitaires

NATURE : Doctorat Numéro d'ordre :2018LYSEI058

Ecole doctorale : Infomaths (ED 512)

Spécialité : Génie Industriel

RESUME :

Aujourd'hui, l'accumulation des risques associés à des facteurs comme l'urbanisation croissante, le changement et la variabilité du climat, le terrorisme, les épidémies ou pandémies animales et humaines ainsi que la mobilité accrue des personnes et des biens de par le monde, ont accru le potentiel perturbateur voire destructeur de divers types de catastrophes. Des plans de gestion de crises sont élaborés pour gérer au mieux la catastrophe engendrée voire l'éviter. L'objectif de ce travail de recherche est de développer des outils d'aide à la décision pour supporter les différentes phases du plan de gestion de crises dédiés aux établissements de soins à domiciles, notamment les phases de préparation et de réponse. Un ensemble de scénarios à étudier prioritairement en considérant les différentes sources de crises et les processus métier impactés, quant à leur fréquence et leurs impacts humain et matériel, a été défini.

Une approche originale d'analyse de vulnérabilité basée sur la théorie des graphes et des matrices a été développée. Le but est de pouvoir mesurer l'impact des différentes crises sur la structure d'hospitalisation à domiciles en termes d'acteurs et de flux échangés. En se basant sur cette phase d'évaluation, nous avons proposé : une classification des acteurs de l'HAD, des méthodes pour la conception des stratégies et des contremesures de mitigation pour chaque classe d'acteurs.

La problématique d'accès aux soins dans le cadre d'un scénario d'intoxication massive a été abordée. Un modèle de programmation linéaire a été proposé pour simuler le scénario étudié et évaluer ses conséquences. Il modélise l'infection d'origine alimentaire et la réponse médicale dans le cadre d'une collaboration HAD-Hôpital, c.-à-d., un plan blanc élargi.

La problématique d'accès aux domiciles des patients a été investiguée dans le cadre d'un scénario de type crue, épisode neigeux etc. L'outil proposé fournit un plan d'évacuation pour les patients critiques à évacuer et un plan de soutien à domicile pour les patients à risque faible qui seront maintenus à domicile, ceci en utilisant des regroupements basés sur l'évaluation du risque de chaque patient.

MOTS-CLÉS : Hospitalisation à domicile, logistique sanitaire, crises sanitaire, plan de gestion de crise, résilience, robustesse, vulnérabilité, proactivité, théorie des graphes, modélisation mathématique.

Laboratoire (s) de recherche : Décision et Information pour les Systèmes de Production (DISP)

Directeur de thèse: Alain Guinet

Présidente de jury : Maria Di-Mascolo

Composition du jury :

Chapurlat, Vincent	Professeur, Ecole des Mines d'Ales	Rapporteur
Flaus, Jean-Marie	Professeur, Université de Grenoble Alp	Rapporteur
Di-Mascolo, Maria	Directrice de recherche, Université de Grenoble Alpes	Examinatrice
Monteiro, Thibaud	Professeur, INSA de Lyon	Examinateur
Prodhon, Caroline	Maître de Conférences, UTT de Troyes	Examinatrice
Guinet, Alain	Professeur, INSA de Lyon	Directeur
Wang, Tao	Maître de Conférences, UJM	Co-directeur
Dubost, Eric	Médecin gériatre, Soins et Santé	Invité

Cette thèse est accessible à l'adresse : http://theses.insa-lyon.fr/publication/2018LYSEI058/these.pdf
© [H. Barkaoui], [2018], INSA Lyon, tous droits réservés