

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

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.

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.

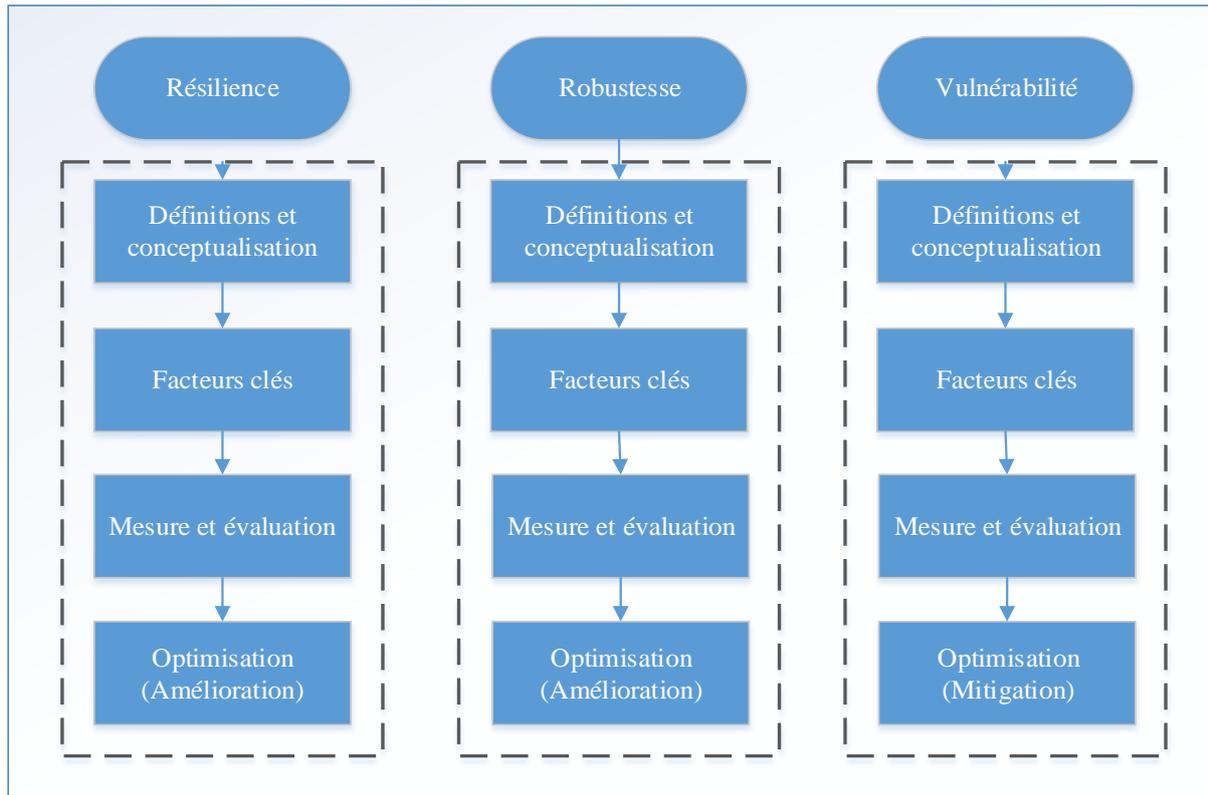


Figure 2.1. 1: Organisation de la bibliographie relevant de la résilience, la robustesse et la vulnérabilité des chaînes logistiques

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.

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 Merkurjev, 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.

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 chaînes logistiques

Auteur(s)	Objectifs principaux	Approche/méthode
(Soni et al., 2014)	Identifier les facteurs de résilience et mesurer leur impact dans la chaîne logistique afin de développer un indicateur pour mesurer la résilience de la chaîne 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 chaîne logistique	Enquête, Revue de littérature

(Kim et al., 2015; Mensah et Merkuryev, 2014; Tukamuhabwa et al., 2015; Wieland et Wallenburg, 2013)	Conceptualiser la résilience de la chaîne logistique	Revue de littérature, Théorie des graphes
(Spiegler, Naim, and Wikner 2012)	Analyser le lien entre la résilience et la robustesse de la chaîne 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 chaîne 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.

(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 capacités dynamiques pour développer un outil permettant de mesurer la résilience de la chaîne logistique.	Théorie de la capacité 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.

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 logistiques 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 logistiques 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 chaînes 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 chaîne 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 événements 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 chaînes 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

(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.

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. Stecké 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 chaînes 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 événement 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

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 chaîne 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 chaînes 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.

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

Avec A est une matrice carrée, et $\delta(n)$ 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 chaîne 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.

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 supply chain de l'HAD, la littérature est trop rare. Rest, Trautsmawieser, 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 chaîne logistique des HADs.

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.

Subséquentement, 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 évolution à travers le temps.

- 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'accroissent 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

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

CHAPITRE 2 : ANALYSE STRATEGIQUE

(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

(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 $A = 0 \dots NA$ 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.

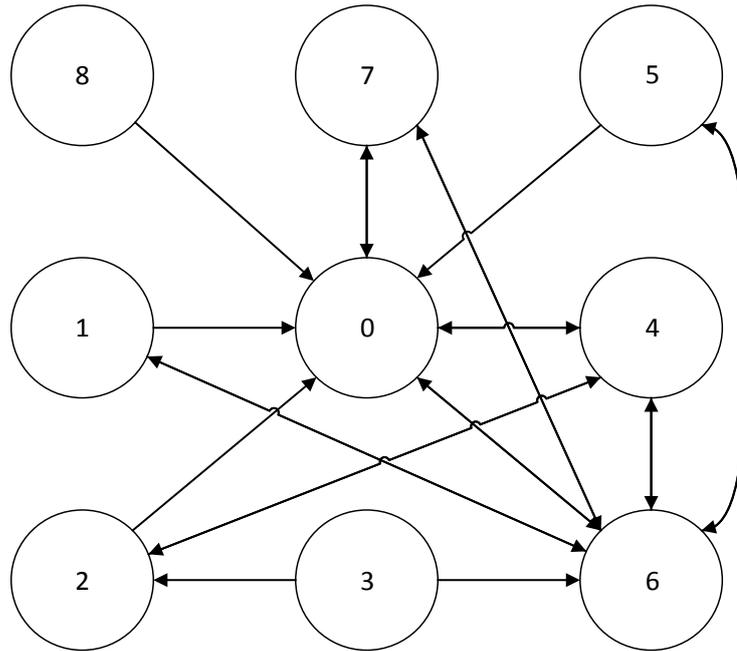


Figure 2.2. 1: Digraphe de la chaîne logistique de l'HAD

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 $NA \times NA$ 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.

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

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

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 .

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

Avec:

$$a_{max} = 10 ;$$

$$NA + 1 = \text{Nombre d'acteurs.}$$

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 différents scénarios de crise. Pour ce faire nous allons proposer une approche d'analyse de vulnérabilité.

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 infrastructures 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. (Kamissoko 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 (sommets ou arrêtes).

$$v = 1 - R_s * R_b \quad (2.2.3)$$

Avec :

v = vulnérabilité du composant;

R_s = Résilience du composant;

R_b = 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.

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).

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

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 :

$$IC = \begin{cases} R_{IC}, & \text{si } 1 < R_{IC} \leq 2 : \text{Etat nominal, l'activité est maintenue (sous contrôle).} \\ 3, & \text{si } R_{IC} > 2 : \text{Manque majeur qui ne peut pas être accepté (peu importe de combien il dépasse le seuil, nous le fixons à 3 : valeur plafond).} \end{cases}$$

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.

- $1 < P \leq 2$: 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.
- $0 < R \leq 1$: position neutre, l'acteur peut participer en tant que bénévole.
- $1 < R \leq 2$: 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.

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

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

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

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 faite sur la base de la robustesse de chaque flux (interne, entrant, sortant).

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 influencer sur la satisfaction du consommateur du flux par rapport au standard de qualité qui régit 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.
- $1 < Q \leq 2$: 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.
- $AAC = (C_1 - C_0)_{\text{acceptable}}$: coût supplémentaire acceptable (seuil);

Nous définissons le ratio R_C comme suit :

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

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

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

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.
- $ADL = (D_1 - D_0)_{\text{acceptable}}$: retard toléré (seuil), cela dépend du type de crise et de son intensité.

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.

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

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).

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

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

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.

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.

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

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

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

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

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).

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

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 événements 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.

- **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).

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

- **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.

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

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).

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

- **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).

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

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 .

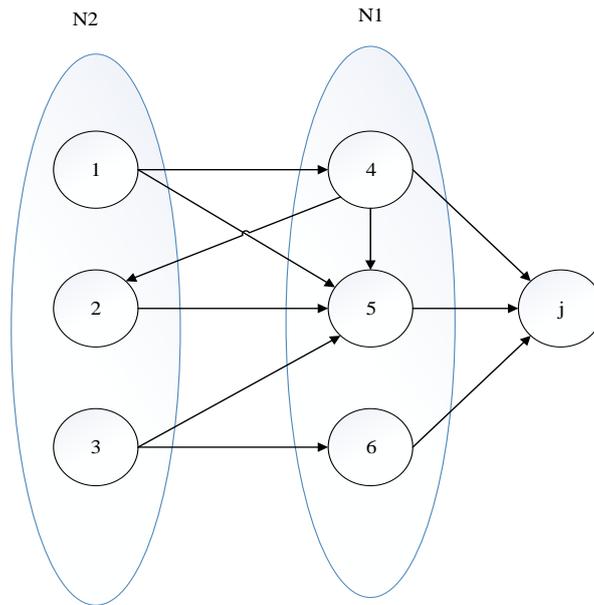


Figure 2.2. 2: représentation des niveaux d'influence d'un réseau

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).

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

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.

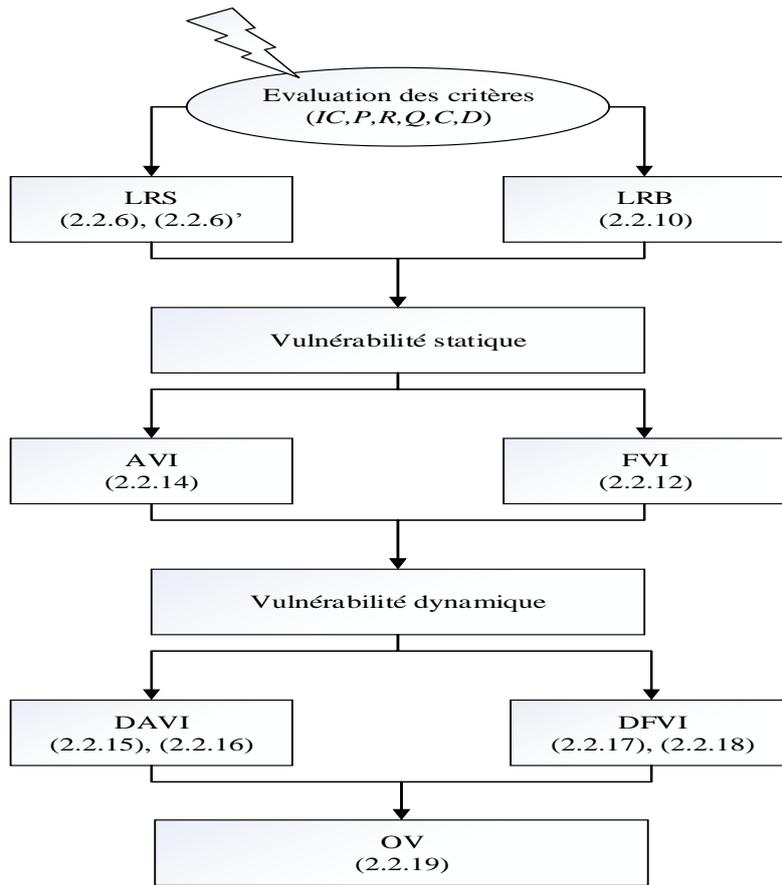


Figure 2.2. 3: Les différentes étapes du VAM

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.

- 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 maîtrise 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

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.

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).

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

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

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

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).

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

- **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).

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

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. Quoiqu'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).

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

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.

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 5^{èmes} acteurs les plus vulnérables à la première période, et sont devenus les 3^{èmes} à la troisième période.

A contrario, la PUI (2) était le 4^{ème} acteur en termes de priorité et est devenu le 7^{ème} 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 arrêta 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 événements en cascade afin de mieux

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.

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 (Decotté 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 impactés 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.

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).

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

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).

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

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.

- Influent (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

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.

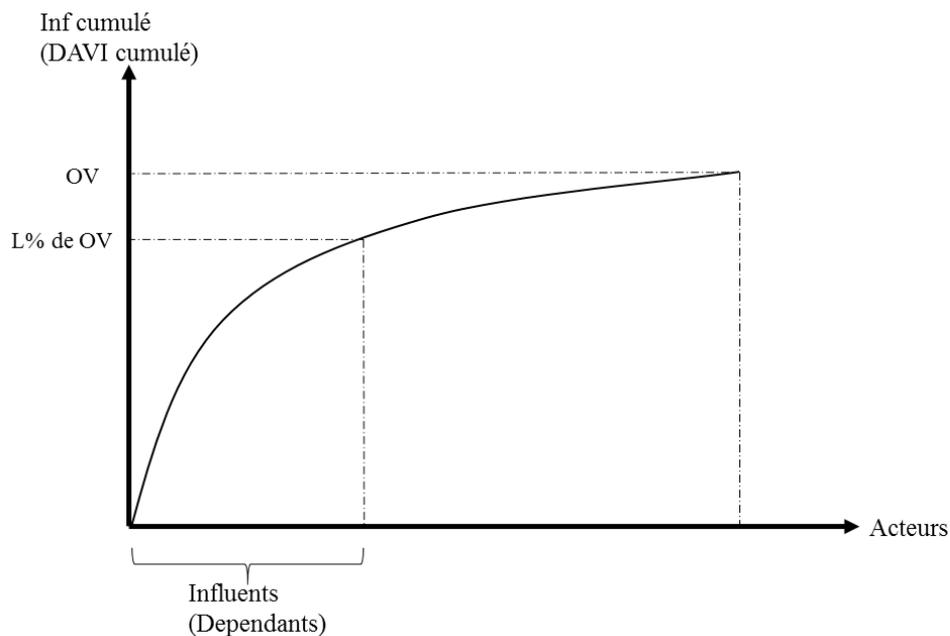


Figure 2.3 .1: Illustration de la méthode basée sur le principe de Pareto

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

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.

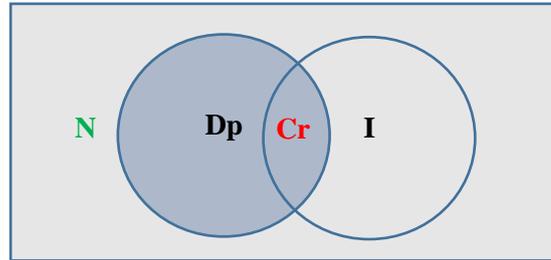


Figure 2.3. 2: Illustration des classes d'acteurs

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

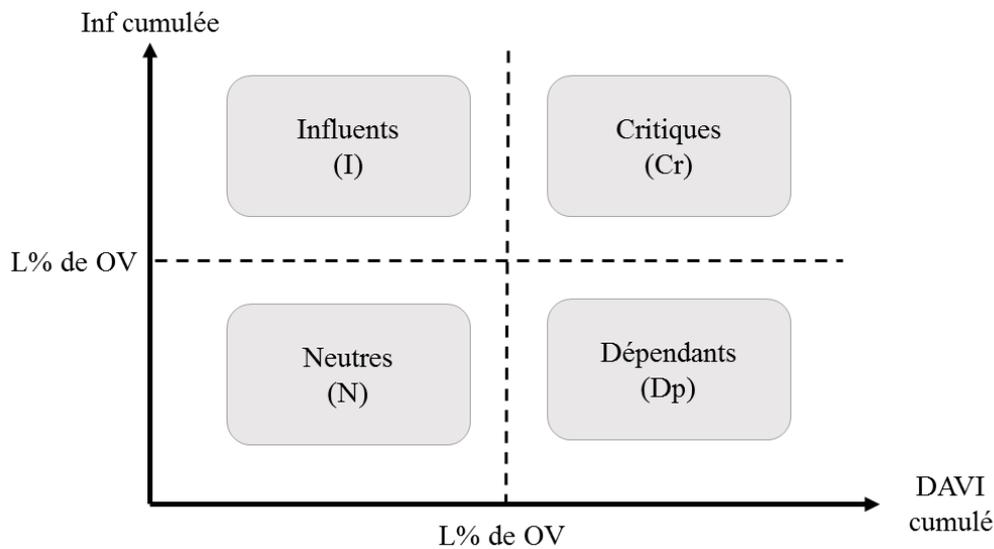


Figure 2.3. 3: Les classes d'acteurs

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.

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

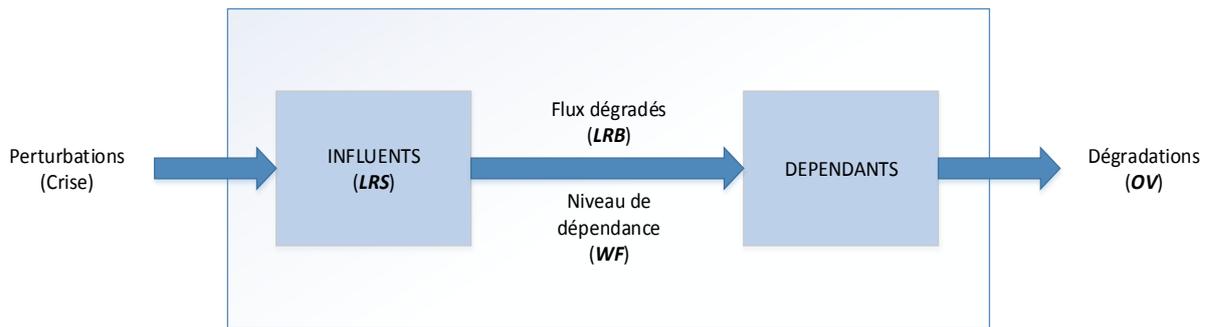


Figure 2.3. 4: Modélisation systémique de la chaîne logistique de l'HAD

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 :

- *LRS* (IC, P et R) des Influent,
- *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) : $M(7)$

- 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 ;

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

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

- Si $PR[M(i), lp] \leq 0$ 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

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 :

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

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

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

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

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

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

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

De la même manière que la proactivité PR des contremesures $M(i)$ pour les Influent, 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.

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).	$CM(10)$	$CME(4,6,10)=-3/10$

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

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 :

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

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

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

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

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

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 :

$$Y(k) \in \{1/10, 2/10, \dots, 9/10, 1\}, k = 1..10.$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

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

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 :

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

On peut donc écrire :

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

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

$$DAVI'(i, p) \leq HV; \forall i, \forall p \quad (2.3.8)$$

[$W(i, j, k) * DAVI'(i, p)$] 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 :

$$Z(i, j, k, p) = W(i, j, k) * DAVI'(i, p); \forall i, \forall j, \forall k, \forall p \quad (2.3.9)$$

Nous ajoutons les contraintes suivantes :

$$Z(i, j, k, p) \geq 0; \forall i, \forall j, \forall k, \forall p \quad (C2.3.8)$$

$$Z(i, j, k, p) \leq W(i, j, k) * HV; \forall i, \forall j, \forall k, \forall p \quad (C2.3.9)$$

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

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

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

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

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	<i>Inf</i> (<i>i</i> ,3)	Inf cumulée	% de <i>OV</i> (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

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.

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

$M(7)$	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 présélection 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 fonctionnement 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.

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

Avec :

- NC : Nombre maximum de contremesures à sélectionner.

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

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

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.