

LA RÉPONSE AUX CRISES ENJEUX ET PROBLÉMATIQUES

Le concept de crise est donc extrêmement riche ; plus riche que l'idée de perturbation ; plus riche que l'idée de désordre ; portant en lui perturbations, désordres, déviances, antagonismes, mais pas seulement ; stimulant en lui les forces de vie et les forces de mort, qui deviennent, ici encore, plus encore qu'ailleurs les deux faces du même phénomène.

– Edgar Morin, *Pour une crisologie*

Introduction

Un écosystème peut représenter un individu, une population ou une communauté. Selon [Delatour \(2015\)](#), il est caractérisé par les interactions entre ses individus et la suite de perturbations, d'adaptations et de ruptures qu'il a vécues. Parmi elles, les perturbations majeures sont appelées crises.

Les Sections 1 et 2 définissent respectivement les notions de crise et de gestion de crise. La Section 3 identifie les enjeux actuels des décideurs, notamment ceux liés à leur collaboration et à la gestion de leurs informations. La Section 4 conclut en proposant un système d'information dédié à soutenir les cellules de crise, grâce à la multitude de données disponibles sur les réseaux informatiques.

1.1 La notion de crise

D'après [Morin \(1976\)](#), [Bolzinger \(1982\)](#) et [Lagadec \(1994\)](#), une *crise* peut être définie comme le moment soudain où une décision est nécessaire, déterminante pour un individu ou la société, alors même que surgissent des incertitudes et des incompréhensions. Il s'agit du moment où, la structure, les valeurs et les normes d'un système sont menacées par une rupture d'équilibre. [Lagadec \(1994\)](#) insiste sur les difficultés qui s'amoncellent, la complexité de la situation, la logistique impuissante, les exigences contradictoires et la désagrégation du système touché, l'univers de référence des décideurs.

1. La réponse aux crises : enjeux et problématiques

Parmi ces crises, les catastrophes naturelles se distinguent par leur origine : elles font suite à des phénomènes naturels lorsque ceux-ci engendrent des dommages humains ou économiques. L'importance des dommages varie selon la vulnérabilité et le niveau de préparation des systèmes touchés (Smith et Hayne, 1997).



(1) Hurricane Andrew © 1992, Carol Guzy/The Washington Post; (2) Izmit Earthquake © 1999 Enric Martí/The Associated Press; (3) Hurricane Katrina © 2005 Michael Appleton/New York Daily News; (4) Cyclone Nargis © 2008 Olivier Laban-Mattei/Agence France-Presse; (5) . Eruption of Mount Merapi © 2010 Kemal Jufri/Panos Pictures/Polaris Images; (6) Typhoon Yolanda © 2013 Chris McGrath/Getty Images

FIGURE 1.1 – Illustrations de quelques-unes des catastrophes naturelles ayant eu lieu entre 1991 et 2014 (World Press Photo)

Selon Lagadec (1994), ces situations de crise font suite à un *évènement majeur* de grande ampleur qui déstabilise les dirigeants et met hors-jeu les procédures de réponse habituelles. Quelques exemples d'évènements majeurs ayant engendré des catastrophes naturelles sont présentés, par ordre chronologique, sur la Figure 1.1 : l'éruption d'un volcan aux Philippines, l'ouragan Andrew, un séisme en Turquie, l'ouragan Katrina, le cyclone Nargis, l'éruption d'un volcan en Indonésie, le séisme de Tohoku-chihō et le Typhon Yolanda.

En 2016, le monde fut frappé par 191 catastrophes naturelles, déplora 7000 morts et disparus, et 150 milliards d'euros de dommages économiques (MTES, 2017). Parmi elles, les catastrophes les plus marquantes suivirent les ouragans Andrew, Harvey et Irma et les séismes de magnitude 7 et 7.8 au Japon et en Équateur.

1.1.1 Les caractéristiques d'une situation de crise

Lorsqu'un évènement majeur touche un système *vulnérable*, essentiel à un individu ou une société, une crise émerge. Par exemple, la centrale nucléaire de Fukushima, vulnérable aux tsunamis, représentait un *enjeu* capital de la crise de 2011, en partie parce que cette centrale alimentait en électricité des millions de foyers japonais, et plus généralement à cause des effets en cascade qui ont suivi la fusion de l'un de ses réacteurs nucléaires.

En général, plus le système est complexe, plus les vulnérabilités tendent à être nombreuses et plus les enjeux sont élevés. Les situations de crises associées peuvent alors se caractériser par :

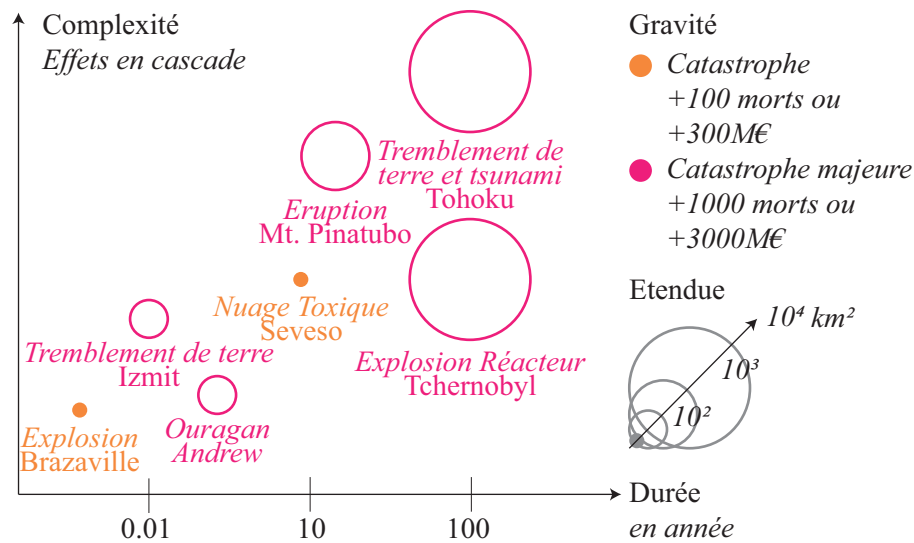


FIGURE 1.2 – Les caractéristiques d’une crise illustrée par quelques exemples d’événements majeurs tirés de (Gaillard, 2008; Pielke et Landsea, 1998; Yilmaz et al., 2005; Imamura et Anawat, 2011; Born et al., 2007; Mbopi-Kéou, 2012; Bertazzi, 1991)

- leur *étendue* géographique matérialisée par le *théâtre de la crise* qui englobe tous les enjeux, ou objets d’intérêt, menacés ou touchés par la crise (définition inspirée de Crocq et al. (2009));
- leur *durée* ou le temps passé entre la première et dernière conséquence liée à la crise, caractérisée, selon Lagadec (1994), par des répliques successives et discontinues;
- leur *gravité*, qualifiée de « catastrophe » ou « catastrophe majeure » (MTES, 2017) selon le nombre de victimes¹ ou les pertes financières² dénombrées suite à la crise;
- leur *complexité* qui permet de dissocier une crise unidimensionnelle d’une crise multidimensionnelle caractérisée, selon Pescaroli et Alexander (2015), par des suites d’événements en cascade nourries par les vulnérabilités du système touché.

La Figure 1.2 représente quelques uns des événements majeurs connus de notre siècle par rapport aux caractéristiques des différentes situations de crise qu’ils ont engendrées. L’axe des ordonnées évalue les événements majeurs selon leur complexité et l’axe des abscisses selon leur durée. La gravité, représentée en couleur, suit l’échelle proposée par (MTES, 2017) (voir précédemment). Parmi les catastrophes représentées, nous pouvons évoquer la catastrophe Seveso qui engendra un nuage toxique, dont les conséquences s’étalèrent sur plusieurs décennies, contaminèrent plusieurs kilomètres carrés de terres habitées et entraînèrent 193 cas d’acné chlorique (Bertazzi, 1991). Cette crise se complexifia lors du déplacement des fûts de terre contaminée quelques années plus tard (Scovazzi, 2000).

1. Entre 100 et 1000 victimes pour une catastrophe et supérieur à 1000 pour une catastrophe majeure.

2. Entre 300 millions et 3 milliards d’euros de dommages pour une catastrophe et supérieur à 3 milliards d’euros pour une catastrophe majeure.

1.1.2 La vulnérabilité du système touché et les risques encourus

Les effets en cascade, qui complexifient, prolongent et aggravent les crises, se nourrissent des vulnérabilités propres au système touché. Par exemple, un pays en développement devra souvent faire face à la vulnérabilité particulière de sa population ou de ses lieux de vie (Blaikie et al., 2004).

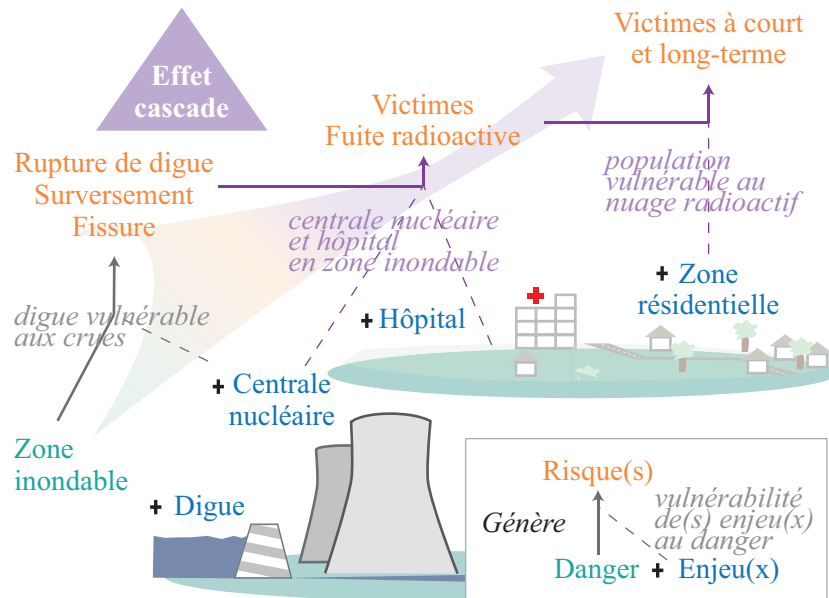


FIGURE 1.3 – Illustration des liens liant la notion de *Danger*, de *Risque* et d'*Enjeu*, inspiré de Desroches (2013); Bénaben et al. (2014) et Li et al. (2018a)

Pour limiter ces vulnérabilités, chaque système peut, en amont des événements majeurs, identifier des zones de *danger*, ou théâtres de crise probables. Comme illustré sur la Figure 1.3, pour chaque *enjeu* menacé par un danger, un *risque* peut être identifié. Et chaque risque peut à son tour menacer des enjeux et générer de nouveaux risques. Par exemple, le danger de crue sur le lit majeur d'un fleuve, peut permettre d'identifier des risques de submersions des hôpitaux ou des écoles situés en zone inondable et les risques de submersion entraînent à leur tour des risques de victimes et des risques de panique.

Les effets en cascade se nourrissent aussi des inter-connexions liant les enjeux du système touché (Pescaroli et Alexander, 2016). Parmi ces enjeux, les *nœuds de réseaux*, ou infrastructures critiques, doivent être identifiés en priorité, car s'ils sont touchés, la complexité et la gravité de la crise seront démultipliées. Par exemple, la Figure 1.3 illustre comment un risque de fuite radioactive, touchant un réacteur de centrale nucléaire, peut entraîner un risque de contamination de l'environnement et un risque de victimes pour les populations présentes, sans compter le risque de coupure électrique.

1.2 La gestion de crise

La mise en place d'une *gestion des crises* est indispensable au soutien de la réponse d'une société touchée. La complexité, l'étendue et le caractère imprévisible des

crises compliquent en effet les prises de décisions et peuvent entraîner des situations similaires à celle qui suivit le tremblement de terre de Tōhoku-chihō (Japon, 2011).

1.2.1 Les phases de gestion de crise

La Federal Emergency Management Agency (FEMA) [institution américaine responsable de la sécurité civile suite à un événement majeur] reconnaît depuis plus de 30 ans quatre phases à la gestion de crise :

- la *phase de prévention* sert à identifier les dangers menaçant un territoire, la vulnérabilité des enjeux présents et si possible à limiter les risques associés. Cette phase implique, par exemple, l'ajout de gilets de sauvetage dans un avion ;
- la *phase de préparation* sert à former les équipes d'intervention, à préparer des plans d'urgence et à positionner stratégiquement les ressources. Cette phase peut, par exemple, inclure la démonstration de sécurité des stewards et hôtesses sur un vol commercial ;
- la *phase de réponse* est enclenchée, dès l'avènement d'un événement majeur, pour prendre connaissance de la situation, allouer les ressources, prendre des décisions et surveiller les actions en cours. Cette phase peut être déclenchée dans un avion à la suite de la perte d'un réacteur ;
- la *phase de rétablissement* suit la phase de réponse et sert à appréhender les risques à court et long terme ou à reconstruire ce qui fut. Cette phase peut concerner le suivi des survivants à un accident d'avion ou l'indemnisation des victimes.

Ces phases sont définies et utilisées dans la littérature scientifique (Wallace et De Balogh, 1985; Rosenthal et Kouzmin, 1997; Baldrige et Julius, 1998), et au sein d'organisations humanitaires comme la Fédération Internationale des sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge (IFRC) (IFRC, 2016). Plus récemment, Franke et Charoy (2010) les ont regroupées sous le terme de « Processus de gestion de crise ». Ce processus est souvent représenté en cycle pour appuyer le caractère inévitable des crises et la continuité des activités de gestion associées (Singh et Singh, 1998). La Figure 1.4 représente d'ailleurs une version de ce cycle, inspiré des travaux d'Alexander (2002) et illustré à travers les grandes familles de tâches à réaliser à chaque phase. La transition entre deux phases peut être *abrupte*, comme c'est le cas après un événement majeur, ou *floue*, comme lors du passage entre la phase de rétablissement et la phase de préparation, coïncidente à la phase de prévention.

Les travaux présentés dans ce manuscrit se focalisent sur la phase de réponse à une crise, suivant une catastrophe naturelle.

1.2.2 La phase de réponse

La « chose » est là, en vraie grandeur ou, pire encore peut-être, à l'état de spectre sinistre. C'est immédiatement le choc et une sourde angoisse : que se passe-t-il donc ? On ne comprend pas, on reste incapable de nommer la difficulté, de cerner le problème. De toute part, ce ne sont que menaces, replis, échecs, mauvaises nouvelles, rebondissements aggravants : rien ne marche, tout se détériore... Une question semble

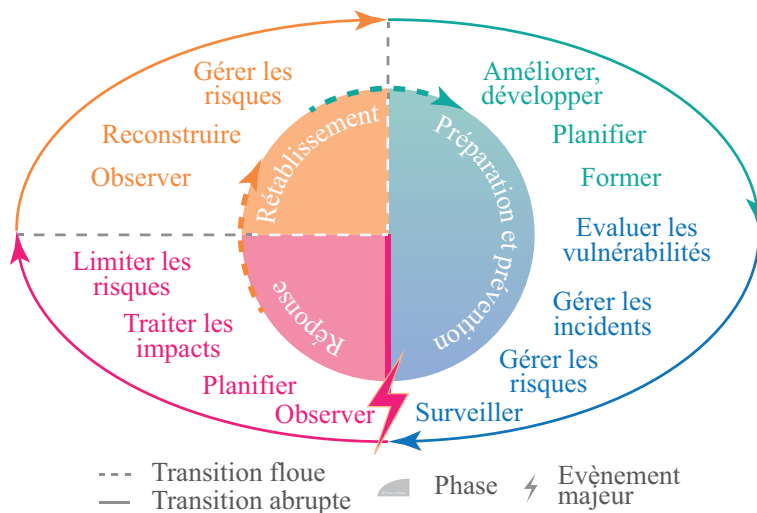


FIGURE 1.4 – Le cycle de vie de la gestion de crise, inspiré de Alexander (2002); Cutter (2003); Jaques (2007) et Kruchten et al. (2008)

bientôt résumer les sentiments des acteurs en première ligne : « Mais qu'est-ce qui va encore nous tomber dessus ? »
- Patrick Lagadec (1994)

Les parties-prenantes à la réponse à une crise doivent se coordonner dans l'urgence pour faire face aux événements qui se succèdent, traiter leurs conséquences ou prévenir les nouveaux risques. Des difficultés émergent alors rapidement au sein des cellules de crise lorsqu'il est nécessaire de :

- mémoriser le vocabulaire propre à chaque partie-prenante, comme, par exemple, les acronymes « BT », « HTA » ou « HTB »³ couramment utilisés par les opérateurs du réseau électrique (cf. Annexe B) ;
- suivre les doctrines propres à chaque partie-prenante et régies par note ministérielle, comme la note (Marion, 2016) indiquant que la lutte contre « l'incendie lors d'une intervention d'urgence sur un véhicule » est prioritaire ;
- respecter les découpages hiérarchiques et géographiques des différentes parties-prenantes, comme les 17 régions de l'Agence Régionale de Santé au lieu des 18 régions administratives françaises ;
- faire coexister des plans d'urgence pensés en phase de préparation peu adaptables aux évolutions soudaines de la crise, et qui peuvent, par exemple, nécessiter les mêmes ressources à deux endroits distincts, au même moment ;
- adapter le pilotage de la crise au niveau auquel chaque partie-prenante, autonome, souhaite être perçue et incorporée au processus de réponse.

A ce constat s'ajoutent les nombreux besoins ressentis par les cellules de crise et notamment recensés par deux projets de recherche, un français (projet ANR

3. Réseau (B)asse (T)ension, (H)aute (T)ension de 20 000V et (H)aute (T)ension > 20 000V

GéNePi⁴) et un européen (projet Driver+⁵) (Renou et Dolidon, 2015; Clémenceau et Giroud, 2018) :

- une meilleure connaissance des risques, des vulnérabilités, des conséquences de la crise, des procédures de réponse et des savoir-faire de chaque partie-prenante ;
- une génération en temps réel d'informations décrivant la situation de crise, une visualisation commune regroupant les informations nécessaires aux prises de décisions et une conscience de la réponse en cours partagée par les parties-prenantes.

Ces nombreux points pourraient se résumer à cette problématique : *Comment apporter la bonne information, au bon acteur, au bon niveau de détail, au bon moment, lors de la réponse à une crise ?*

1.2.3 Les caractéristiques de la réponse à une crise française

De nombreux pays ont leur propre cadre juridique quant à la gestion des crises. En France, elle est organisée en cinq niveaux mis en place dès la détection d'un événement majeur (DSC, 2004), en fonction de la zone géographique menacée :

- le niveau *national*, sous la direction du centre opérationnel de gestion interministérielle des crises, via le Ministre de l'Intérieur qui anticipe et renforce les moyens nationaux ;
- le niveau *zonal*, sous la direction des centres opérationnels de zone, via les préfets des zones de défense touchées qui coordonnent les moyens sur leur territoire ;
- le niveau *départemental*, sous la direction des postes de commandement opérationnel des départements touchés, via le préfet qui endosse le rôle de directeur des opérations de secours ;
- le niveau *local*, sous la direction du poste de commandement communal, via le maire, responsable de la sauvegarde de la population.

Cette organisation verticale est appelée la *chaîne stratégique*. Dès la détection d'un événement majeur, chaque niveau met en place une *Cellule de crise* comme schématisée sur la Figure 1.5.

Les cellules de crise sont formées par des représentants des différentes parties-prenantes. Leur objectif est de piloter la réponse à la crise, au niveau politique, stratégique, puis tactique (Dautun et Roux-Dufort, 2011), l'opérationnel étant laissé aux équipes évoluant sur le théâtre de crise. Ce sont sur elles que reposent, dans une large mesure, la conduite des opérations lors de la réponse à la crise (Lagadec, 1994). Chaque partie-prenante impliquée peut, en plus des cellules de crise officielles, activer une ou plusieurs cellules de crise en interne.

La Figure 1.5 illustre la place des cellules de crises sur la chaîne stratégique. Pour permettre les prises de décisions centralisées, les informations circulent du théâtre

4. <https://research-gi.mines-albi.fr/display/GEN/Projet+GeNePi>

5. <http://www.driver-project.eu/>

1. La réponse aux crises : enjeux et problématiques

de crise vers les cellules de crise et les instructions des cellules de crise vers le théâtre de crise.

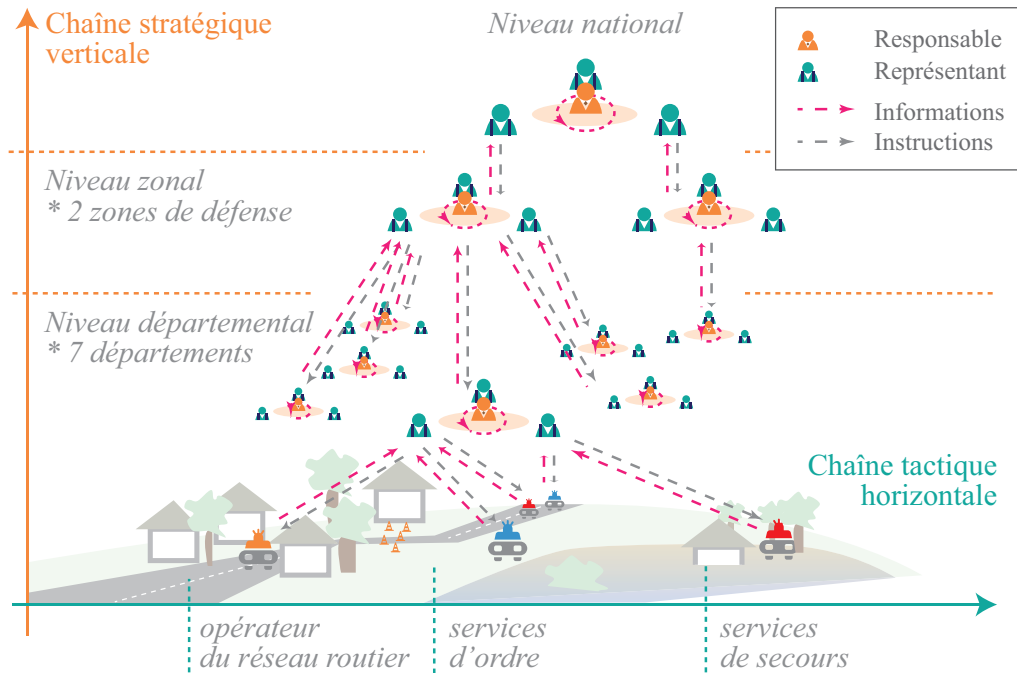


FIGURE 1.5 – Le théâtre de crise, la chaîne tactique et la chaîne stratégique impliquées dans la réponse à une crise sur le territoire français. Figure inspirée de [Bader et al. \(2008\)](#); [Truptil \(2011\)](#) et [Renn \(2017\)](#)

Répondre à notre problématique servirait aux décideurs de la chaîne stratégique (verticale) ou de la chaîne tactique (horizontale) lors de l'exercice de leurs fonctions lorsqu'ils :

- centralisent toutes les informations disponibles au sein de la cellule de crise ;
- résument la situation au responsable de la cellule de crise de niveau supérieur ;
- prennent des décisions pour assurer la coordination des parties prenantes ;
- font parvenir des instructions aux cellules de crise de niveau inférieur.

Dans ces conditions, nous pouvons préciser notre première problématique qui se ramène maintenant à cette question : *Comment soutenir et alimenter la connaissance des décideurs en cellule de crise, en temps réel, au bon niveau de détail et sur l'ensemble de la situation de crise, pour faciliter (i) les prises de décisions et (ii) la coordination de parties-prenantes ?*

1.3 Les enjeux de la réponse à une crise

Pour répondre à nos deux questions, nous commencerons par caractériser la collaboration des parties-prenantes en phase de réponse, puis nous définirons le

besoin en informations des décideurs pour mieux gérer les données et informations disponibles en cellule de crise.

1.3.1 Une collaboration de crise complexe en environnement incertain

Pour faciliter la coordination inter-organisationnelles de parties-prenantes hétérogènes et autonomes, malgré la complexité et la dynamique de la situation de crise, il faut soutenir la *collaboration* des parties-prenantes. Cette *collaboration de crise* naît d'une nécessité d'atteindre des objectifs communs : limiter les risques et traiter les conséquences de la crise en cours. Une telle collaboration peut se caractériser par :

- sa *durée* ([Camarinha-Matos et Afsarmanesh, 2005](#)) qui dépend du temps que mettra la collaboration à atteindre les objectifs qu'elle s'est fixée ;
- son *intensité* ([Touzi et al., 2009](#); [Bénaben, 2012](#)) qui dépend du nombre de connexions qu'entretiennent les partenaires entre eux, de leur niveau de partage, qui peut aller de l'information aux processus, et de leur niveau de visibilité ;
- sa *dynamique* ([Camarinha-Matos et al., 1998](#)) qui dépend de la possibilité laissée à des partenaires non stratégiques de rejoindre ou quitter la collaboration en cours ;
- l'*autonomie* de ses partenaires, les uns par rapport aux autres, qui dépend de l'organisation à contrôle partagé ou individualisé mise en place ([Thomson et Perry, 2006](#)).

Une collaboration de crise, par exemple, fonctionne grâce au partage des services et des informations à disposition des parties prenantes à la réponse en cours. Cette collaboration est de courte durée : la durée de la réponse, ou, au maximum, de la crise. Pour aller plus loin, [Montarnal \(2015\)](#) propose une autre catégorie liée au type de communication adopté par les partenaires. Pour le moment, en France, les cellules de crise et les parties-prenantes communiquent selon un mode « pair à pair ».

Aujourd'hui, les collaborations se veulent plus agiles et souhaitent conserver la même intensité et la même autonomie sur des durées plus courtes. Or, selon [Thomson et Perry \(2006\)](#), les changements technologiques et les interdépendances organisationnelles complexifient de façon croissante les processus de collaboration. A ces évolutions s'ajoutent la complexité intrinsèque du système touché, caractérisée, par exemple, par les multiples interconnexions ([DGSCGC, 2015](#); [CEPRI, 2016](#); [EP Loire, 2006](#)) qui peuvent lier des infrastructures réseaux entre-elles.

La Figure 1.6 présente les interdépendances liant les principaux réseaux français, tels que décrits par [EP Loire \(2006\)](#), [DGSCGC \(2015\)](#) et [CEPRI \(2016\)](#). Le sens de lecture s'effectue de gauche à droite. Par exemple, en situation de crise, les interventions sur le réseau électrique dépendent de l'état des services de télécommunications, de l'état des routes et des hydrocarbures disponibles pour alimenter les véhicules d'intervention ou les groupes électrogènes. En France, la prise en compte de toutes ces interconnexions est indispensable à la définition d'un processus de réponse collaboratif adapté à la situation de crise. Ainsi, le réseau électrique, le réseau de télécommunication, le réseau routier et le réseau

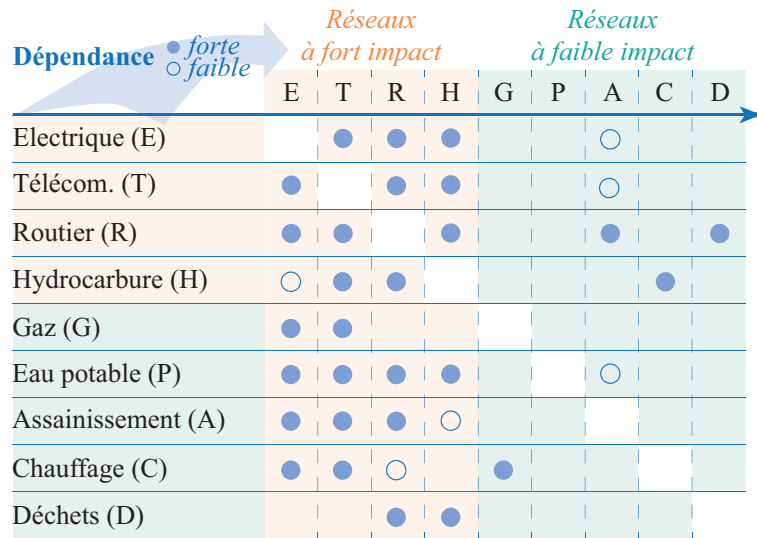


FIGURE 1.6 – L'interconnexion des réseaux d'après DGSCGC (2015); CEPRI (2016); EP Loire (2006), et, dans le cadre du projet GÉNéPi, inspiré de Dolidon (2016a); Fertier et al. (2017)

d'hydrocarbures sont tous susceptibles de complexifier et d'aggraver grandement des situations de crise existantes.

1.3.2 La conscience de la situation des décideurs

Malgré la complexité croissante des collaborations de crise, les décideurs doivent pouvoir améliorer et maintenir leur *Conscience de la situation* (« *Situation awareness* » dans la littérature) (Luukkala et Virrantaus, 2014), c'est à dire leur connaissance de la situation de crise en cours. Endsley (1995) a été l'une des premières à définir ce terme et à chercher à soutenir la conscience des décideurs dans des environnements complexes ou instables. Pour elle, il est le résultat de trois étapes distinctes, ramenées ici à notre contexte de crise :

- le niveau 1 de conscience : la *perception* des éléments extérieurs, permettant à la collaboration de caractériser son environnement, via, par exemple, les informations récoltées sur le théâtre de crise.
- le niveau 2 de conscience : la *compréhension* des éléments perçus permettant à la collaboration de se représenter (i) la crise dans son ensemble, et (ii) les mécanismes d'évolutions qui lui sont propres ;
- le niveau 3 de conscience : la *projection* des mécanismes identifiés afin de prédire les conséquences de la crise à venir.

Cette description de la conscience de la situation en trois étapes a servi de base théorique à de nombreux travaux de recherche, comme ceux proposés par Van de Walle et al. (2016) qui proposent d'améliorer la conscience de la situation des parties-prenantes en enrichissant les informations transmises aux décideurs. Parmi ces travaux, certains ambitionnent de réduire la *charge informationnelle* subit par les décideurs en cellules de crise, et multipliée par le mode de communication « pair à pair » encore majoritaire dans les cellules de crise françaises. Par exemple, De Maio et al. (2017) et Luukkala et al. (2017) proposent de réduire la charge

informationnelle subie par des agents humains ou logiciels grâce, respectivement, à l'interprétation temporelle de flux de données émis par des capteurs et à une interface de communication dédiée mise au point grâce aux sciences cognitives.

1.3.3 Le système d'information

Quelles que soient l'instabilité ou la complexité de la situation, les *Systèmes d'information* mis en place par les parties-prenantes peuvent être soutenus par un système informatique Morley (2016). Dès 1989, Bannon et Schmidt (1989) proposaient un espace partagé contenant des données, des prévisions ou des concepts, eux-mêmes contenus dans un système évitant à deux partenaires toute communication directe.

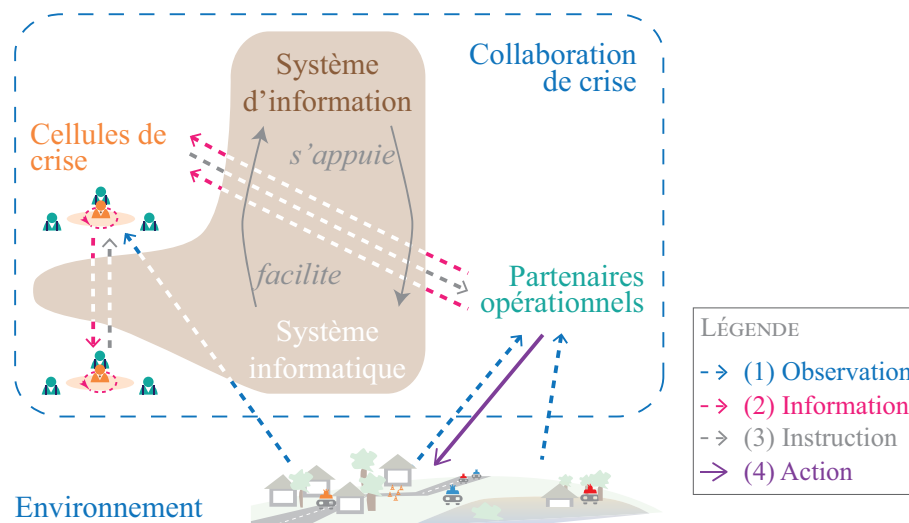


FIGURE 1.7 – Le système d'information, pouvant être supporté par un système informatique, liant les cellules de crise et les partenaires opérationnels au théâtre de crise, inspiré de Walls et al. (1992) et Morley (2016)

La Figure 1.7 illustre la mise en place d'un système informatique pour soutenir le système d'information en place entre des partenaires opérationnels et les cellules de crise. Le système, représenté en marron, prend place au sein de l'environnement décisionnel décrit par Walls et al. (1992) : les évolutions de l'environnement conditionnent les prises de décisions qui activent des actions qui elles-même modifient l'environnement de la collaboration. Les partenaires opérationnels sont ici dissociés des cellules de crise, qui ne peuvent pas observer directement le théâtre de crise. Comme sur la Figure 1.5, les informations, contrairement aux instructions, circulent d'un partenaire opérationnel vers une cellule de crise, ou d'une cellule de crise vers une cellule de crise de niveau supérieur.

1.3.4 La gestion des données

Pour pouvoir générer de nouvelles informations, qui viendront supporter la conscience de la situation des décideurs en cellule de crise, le système d'information doit être alimenté en données : soit manuellement, soit en se connectant à l'*Internet des événements* (« *Internet of event* ») formalisé par Van der Aalst (2014) et composé de :

- l'*internet des objets*, décrit en détail par (Perera et al., 2014), qui est constitué de réseaux de capteurs qui génèrent continuellement d'énormes volumes de données : 20.4 milliards d'objets seront connectés à Internet d'ici à 2020 (Li et al., 2018b) ;
- l'*internet des personnes* représenté par les réseaux sociaux en ligne et qui permet de connecter plusieurs centaines de millions de personnes à travers le monde (Guille et al., 2013), via des textes, des images ou des vidéos, qui peuvent être utilisés pour suivre des événements ou analyser le comportement des utilisateurs en temps réel ;
- l'*internet des lieux* qui est constitué de données ou informations géolocalisées, très précieuses pour les décideurs en cellules de crise (Dawes et al., 2004) ;
- l'*internet du contenu* qui contient tout le reste des données accessibles sur un réseau informatique donné.

Ces données ont toutes les caractéristiques du Big data : comme défini par Kalyvas et Albertson (2015), elles sont nombreuses, de formats variés, proviennent de sources différentes et soulèvent de nombreux défis liés aux *4Vs du Big Data*. Ces défis réfèrent à :

- la gestion du *volume* : la gestion des problèmes de charge liés à la quantité de données générées continuellement par unité de temps (Krishnan, 2013; Hashem et al., 2015) et potentiellement utilisables par les cellules de crise (Fayyad et al., 1996) .
- la gestion des formats et des types hétérogènes (*variété*) de données : la prise en compte des images qu'elles soient en .png ou .eps, des vidéos en .avi ou .mp4, ou des documents en .pdf ou .docx, etc. (Fayyad et al., 1996; Ohlhorst, 2012; Kaisler et al., 2013; Raghupathi et Raghupathi, 2014) ;
- la gestion du temps (*vélocité*) : la gestion de la péremption des données qui doivent être rendues utilisables au sein de la cellule de crise, sous forme d'information, et mises à jour avant une certaine date (Chalmers et al., 2013; Fan et Bifet, 2013; Kalyvas et Albertson, 2015) ;
- la gestion de la confiance (*véracité*) dans les données qui sont plus ou moins objectives, plus ou moins vraies, plus ou moins crédibles (Lukoianova et Rubin, 2014), plus ou moins sécurisées (Demchenko et al., 2013).

Ces défis doivent être relevés lors de la gestion des données, mais aussi lors de la gestion des informations et des connaissances mises à dispositions des décideurs en cellule de crise. La Figure 1.8 présente une définition et une illustration pour chacun de ces termes :

- les *données* « brutes » n'ont ni sens ni valeur (Rowley, 2007) : elles doivent être mises en relation pour générer de l'information ; (Bellinger et al., 2004) ;
- les *informations* sont utilisables et représentent une partie d'une situation observée ou vécue, selon un point de vue donné (Rowley, 2007) ;
- les *connaissances* sont des informations mémorisées (Bellinger et al., 2004), généralisées pour pouvoir s'appliquer à de nouvelles situations.

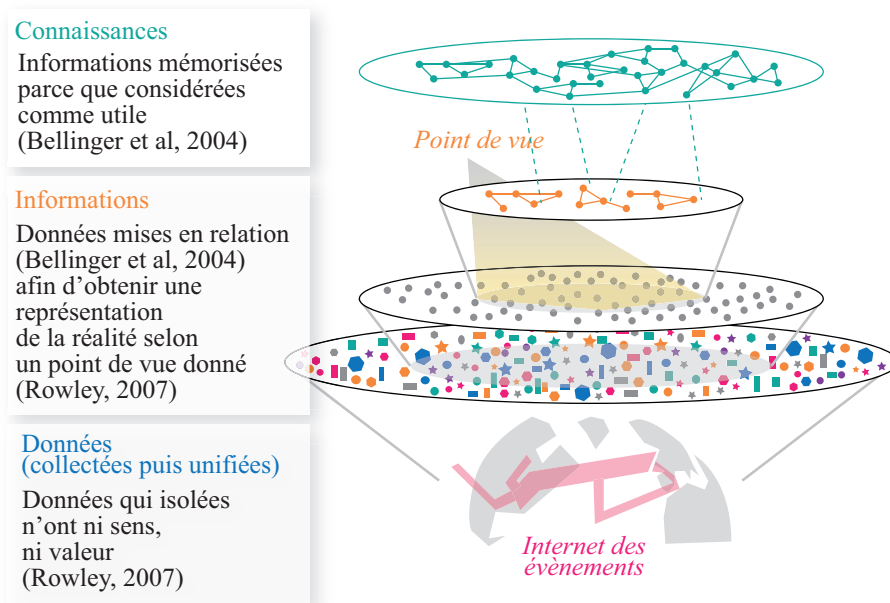


FIGURE 1.8 – De la donnée à l'information dans un monde ultra-connecté, inspiré de (Bellinger et al., 2004; Puel et Ullmann, 2006; Rowley, 2007)

1.3.5 La gestion des informations

Les informations nécessaires aux cellules de crise sont, elles aussi, variées, nombreuses, plus ou moins vraies, plus ou moins utilisables et plus ou moins valides dans le temps. La gestion et la communication de ces informations nécessitent deux étapes.

Tout d'abord, la gestion des informations se fait au niveau du système d'information. Selon Chen et al. (2008), repris plus tard par Wang et al. (2016), l'interopérabilité ne peut être envisagée que si les obstacles conceptuels, techniques ou organisationnels existants sont contournés. Les parties prenantes à la réponse étant autonomes et non connues de manière exhaustive, nous nous contenterons de lever les obstacles liés à la sémantique et la syntaxe des termes utilisés. Pour ce faire, trois solutions s'offrent à nous (Chen et al., 2008) :

- une approche *intégrée*, si un format standard de communication a été établi et est respecté par toutes les parties-prenantes ;
- une approche *unifiée*, où chaque partie-prenante adopte un modèle de communication (vocabulaire, format) commun formalisé par une structure de référence ;
- une approche *fédérée*, où chaque partie-prenante peut se référer à sa propre structure de référence, et où une « traduction » à la volée est nécessaire à chaque communication.

Même si elle peut sembler la plus adaptée en situation de crise, l'approche intégrée n'est pas applicable car elle part du principe que chaque partie-prenante a appris à se référer à un même vocabulaire, quelle que soit la nature de la crise et quelque soit le service rendu. Cette approche ne convient d'ailleurs plus du tout dans le

cas d'une crise trans-frontalière. L'approche unifiée convient si une structure de référence, posant des concepts communs à toute situation de crise, peut être mise au point. Enfin, l'approche fédérée est idéale mais demande plus d'énergie et plus de temps au système d'information qui joue alors le rôle de médiateur. Nous avons donc opté pour une approche unifiée.

Ensuite, les informations, rendues interopérables au sein du système d'information, doivent être partagées au niveau des cellules de crise. Ceci peut être rendu possible grâce à la mise en place d'une représentation de la situation de crise, accessible à tous les niveaux de la chaîne stratégique (cf. Figure 1.5) : une *Common Operational Picture (COP)*. Cette carte contient des informations valables pendant au moins quelques minutes. Les informations de « courte-durée » comme la localisation des équipes d'intervention, ou le niveau d'eau d'un fleuve mis à jour en temps réel, sont plutôt dédiées au niveau tactique (Dickinson, 2013; FEMA, 2008; Mittu et Segaria, 2000).

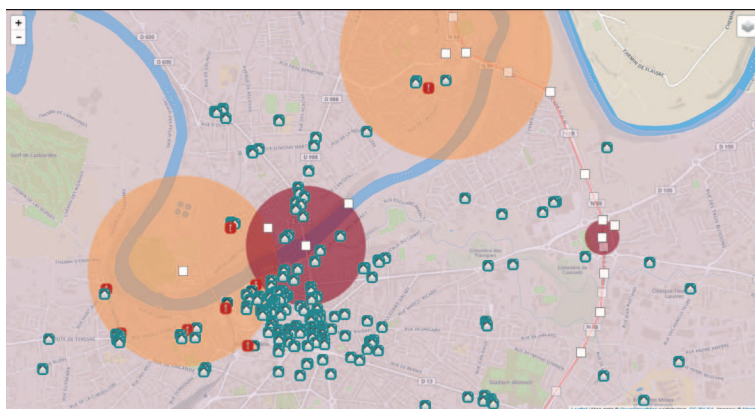


FIGURE 1.9 – Exemple de COP, obtenu sur la Ville d'Albi (81000), via la simulation d'une crue sur l'outil RIO-Suite présenté au Chapitre 4

La Figure 1.9 montre un exemple de COP, adapté à une cellule de crise en préfecture : il représente les conséquences d'une crue sur une seule agglomération, Albi, la préfecture du Tarn. Les enjeux, comme les écoles, les commerces ou les universités sont représentés par des icônes vertes. Les zones de danger, comme une zone inondable lors d'une crue, sont représentées en orange. Les risques ou les incidents associés à un enjeu, comme le risque de submersion (respectivement la submersion) d'une école, sont représentés par un logo (respectivement une aire) rouge.

1.4 Un système d'information dédié aux cellules de crise

Les systèmes d'information capables de soutenir des décideurs en cellule de crise font partie des *Systèmes d'aide à la décision d'urgence*. Leur objectif consiste à aider les décideurs au sein d'environnements instables causés, par exemple, par une catastrophe naturelle.

1.4.1 Les pistes de réponses

- *Comment soutenir et alimenter la connaissance des décideurs en cellule de crise, en temps réel, au bon niveau de détail et sur l'ensemble de la situation de crise, pour faciliter (i) les prises de décisions et (ii) la coordination de parties-prenantes ?*

Un système d'aide à la décision, dédié à faciliter la coordination des parties-prenantes et les prises de décisions, pourrait alimenter, en temps réel, la conscience de la situation des décideurs en cellule de crise. Pour ce faire, il devrait pouvoir :

- collecter automatiquement des données décrivant une partie de la situation de crise en cours, tout en contrôlant leur volume, leur véracité, leur variété et leur vélocité ;
- interpréter ces données en temps réel pour pouvoir mettre à jour en continu un *modèle de la situation de crise*, selon des concepts pré-définis permettant de tenir à jour les COPs affichées en cellule de crise ;
- sélectionner en temps réel la partie des informations nécessaire à un utilisateur donné, afin de limiter le nombre d'informations mis à disposition et tenir informer les parties prenantes selon leurs objectifs courants ;
- ajouter, modifier ou supprimer les informations, pour respecter les demandes des utilisateurs et améliorer la véracité des informations disponibles.

1.4.2 Le projet MISE et le projet GÉNéPi

Le projet Mediation Information System Engineering (MISE) porté depuis 2004 par (Bénaben, 2012), cherche à concevoir un tel système d'aide à la décision d'urgence. L'idée principale consiste à soutenir un effort de collaboration via un *système d'information de médiation*. Pour mettre en œuvre les principes scientifiques développés au sein du projet MISE (Benaben et al., 2015), le laboratoire Centre de Génie Industriel (CGI) a mis au point un prototype logiciel appelé IO-Suite Benaben et al. (2017). Ce logiciel a depuis fusionné avec d'autres prototypes de recherche. Il s'appelle aujourd'hui RIO-Suite, pour la gestion des (R)isques et de l'(I)ntéropérabilité des (O)rganisations. Son développement est assuré par Salatgé et al. (2018).

Par ailleurs, les travaux présentés dans ce manuscrit s'inscrivent au sein du projet ANR Granularité des Niveaux de Pilotage (GÉNéPi). Ce dernier projet relève de deux constats (Bénaben, 2014) : (i) la collaboration de crise est primordiale, mais elle demande du temps et des informations parfois inaccessibles, alors que (ii) notre environnement génère en continu des flux de données qui, s'ils étaient bien interprétés, permettraient de soutenir les collaborations. Dans ce contexte, le projet GÉNéPi propose un autre système d'aide à la décision d'urgence, compatible avec la méthodologie portée par le projet MISE.

La Figure 1.10 présente les attentes du projet MISE et du projet GÉNéPi vis à vis de nos travaux. Cette figure reprend les étapes présentées sur la Figure 0.1 en Introduction. Les deux projets, un sur le court terme et un sur le long terme, ambitionnent de déduire, d'orchestrer et d'adapter automatiquement un processus

1. La réponse aux crises : enjeux et problématiques

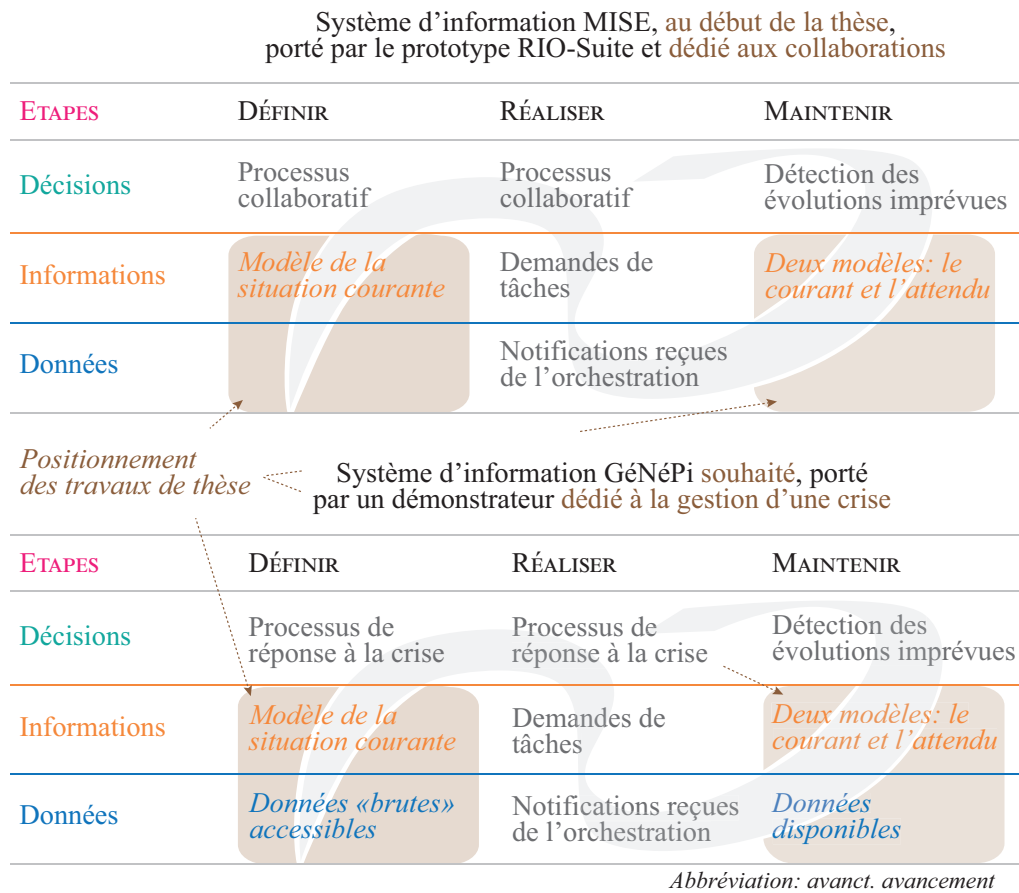


FIGURE 1.10 – Les étapes couvertes par le projet GÉNéPi et la place de la thèse dans le projet

de réponse à la situation de crise en cours. Pour générer automatiquement le modèle de situation nécessaire à leur processus de déduction, le système d'information, proposé dans ce manuscrit et représenté par une zone marron sur la Figure 1.10, doit permettre de :

- recueillir des données et des informations décrivant les caractéristiques de la situation de crise, en temps réel, pendant la phase de réponse ;
- interpréter ces données en information, pour modéliser la situation de crise dans son ensemble, et tenir à jour le modèle obtenu.

1.4.3 L'organisation du manuscrit

La Figure 1.11 montre comment le système recherché doit faire le lien entre l'Internet des événements, en bas, et les cellules de crise, en haut de la figure. Notre objectif est d'obtenir un système d'information capable de soutenir directement le niveau 2 de conscience des décideurs présents en cellule de crise (la compréhension). Ainsi, ils pourront consacrer plus de temps aux prises de décisions. Pour ce faire, le système d'information doit d'abord améliorer sa propre conscience de la situation représentée par une flèche rose ; il doit :

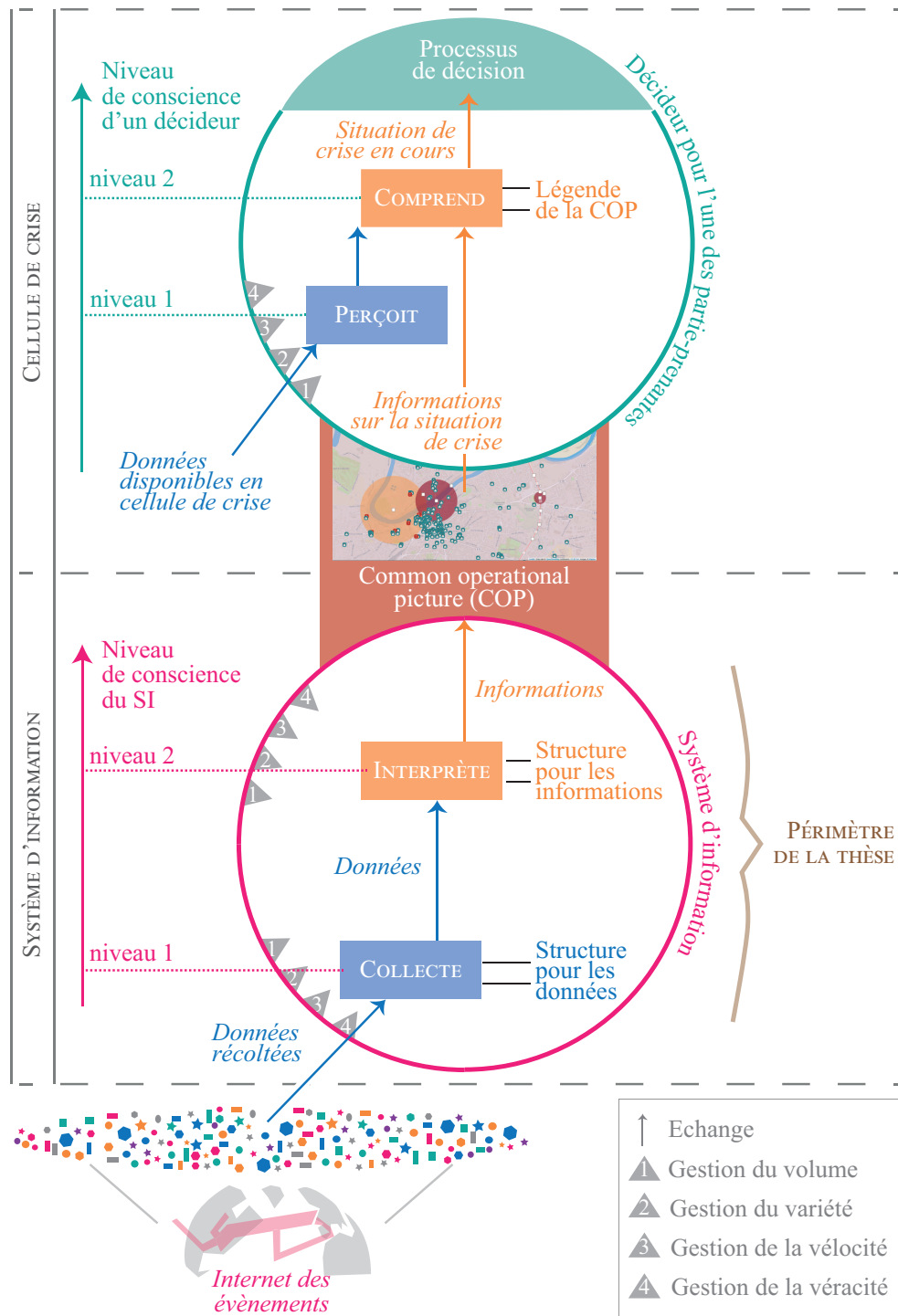


FIGURE 1.11 – L'objectif et la place du système d'information recherché pour soutenir la conscience de la situation des décideurs en cellules de crise, en temps réel, inspiré de Endsley (2011); Rogova et Scott (2016) et Luukkala et al. (2017)

- *collecter* les données « brutes » disponibles au sein de l'Internet des événements. Cette étape correspond au niveau 1 de conscience : elle permet de *percevoir* les éléments de l'environnement.
- *interpréter* les données récupérées en un ensemble d'informations structuré utilisable en cellule de crise. Cette étape correspond au niveau 2 de conscience : elle permet de *comprendre* la situation courante.

A chacune de ces étapes, les défis liés aux 4Vs du Big Data doivent être relevés. Ils sont pour le moment représentés par des triangles gris obstruant l'amélioration de la conscience de la situation du système d'information.

Les informations obtenues sont transmises aux décideurs, via une COP partagée dans chaque cellule de crise. La COP, représentée en rouge sur la Figure 1.11, permet d'informer les décideurs en alimentant directement leur étape de compréhension de la situation de crise, en orange. Si tous les éléments nécessaires aux prises de décisions, en vert, sont accessibles sur la COP, les décideurs n'auront plus besoin de percevoir manuellement de nouvelles données, en bleues.

Les travaux décrits dans cette thèse se focalisent sur l'étude, la définition, la conception et le test du système d'information délimité par le cercle rose sur la Figure 1.11. Le système d'information obtenu devrait alors permettre de répondre à la problématique reportée ci-dessous.

Problème de recherche dédié à soutenir les décideurs en cellule de crise

Comment collecter, puis interpréter des données brutes issues de sources hétérogènes pour déduire un ensemble d'informations structuré et utilisable, décrivant une situation courante, tout en gérant le volume, la variété, la vélocité et la véracité des données et des informations manipulées ?

Pour pouvoir répondre à cette problématique, le Chapitre 2 présente nos hypothèses de travail et cherche des méthodes, ou des outils, parmi les travaux et les contributions existants dans la littérature. Ces approches doivent permettre de (i) collecter les données de l'Internet des événements, (ii) de les interpréter ou (iii) de structurer les informations obtenues. Fort de l'état l'art précédent, le Chapitre 3 décrit, selon une approche théorique, l'architecture du système d'information adaptée aux attentes soulevées par (i) notre problématique et (ii) notre contexte de situation de crise. Cette architecture englobe les fonctions de *collecte* de données, d'*interprétation* de données et de *modélisation* d'une situation de crise, quelles que soient la complexité ou la nature de cette dernière. Le modèle obtenu est alors affiché en cellule de crise sous la forme d'une COP. Enfin, le Chapitre 4 décrit, selon une approche pratique, l'implémentation de l'architecture proposée et déroule un scénario de crise réaliste, pour tester l'ensemble des fonctionnalités proposées au chapitre 3.