



HAL
open science

Interprétation automatique de données hétérogènes pour la modélisation de situations collaboratives : application à la gestion de crise

Audrey Fertier

► To cite this version:

Audrey Fertier. Interprétation automatique de données hétérogènes pour la modélisation de situations collaboratives : application à la gestion de crise. Autre [cs.OH]. Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, 2018. Français. NNT : 2018EMAC0009 . tel-02173328

HAL Id: tel-02173328

<https://theses.hal.science/tel-02173328v1>

Submitted on 4 Jul 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Fédérale



Toulouse Midi-Pyrénées

THÈSE

en vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

délivré par

IMT – École Nationale Supérieure des Mines d'Albi-Carmaux

présentée et soutenue par

Audrey FERTIER

le 29 novembre 2018

Interprétation automatique de données hétérogènes
pour la modélisation de situations collaboratives :
application à la gestion de crise

École doctorale et discipline ou spécialité :

EDSYS : Informatique et Génie industriel

Unité de recherche :

Centre Génie Industriel, IMT Mines Albi

Directeur(s) de Thèse :

Frédéric Bénaben, Professeur, IMT Mines Albi
Sébastien Truptil, Maître-Assistant, IMT Mines Albi

Autres membres du jury :

François Charoy, Professeur, Université de Lorraine, (*Rapporteur*)
Jean-Pierre Bourey, Professeur, Centrale Lille, (*Rapporteur*)
Bartel Van de Walle, Professeur, Delft University of Technology, (*Président*)
Aurélié Montarnal, Maître-Assistant, IMT Mines Albi, (*Examineur*)
Hélène Dolidon, CEREMA Ouest, (*Invitée*)
Anne-Marie Barthe-Delanoë, Maître de Conférence, INP ENSIACET, (*Invitée*)

RÉSUMÉ

Interprétation automatique de données hétérogènes pour la modélisation de situations collaboratives : application à la gestion de crise

Les travaux présentés dans ce manuscrit s'appliquent au domaine de la *gestion de crise* française, et notamment à la phase de réponse qui suit un évènement majeur, comme une crue ou un accident industriel. Suite à l'évènement, des cellules de crise sont activées pour prévenir et traiter les conséquences de la crise. Elles font face, dans l'urgence, à de nombreuses difficultés. Les parties-prenantes sont nombreuses, autonomes et hétérogènes, la coexistence de plans d'urgence engendre des contradictions et des effets en cascade se nourrissent des interconnexions entre réseaux.

Ces constats arrivent alors que les données disponibles sur les réseaux informatiques ne cessent de se multiplier. Elles sont, par exemple, émises par des capteurs de mesures, sur des réseaux sociaux, ou par des bénévoles. Ces données sont l'occasion de concevoir un système d'information capable de les collecter pour les interpréter en un ensemble d'information formalisé, utilisable en cellule de crise. Pour réussir, les défis liés aux *4Vs du Big data* doivent être relevés en limitant le Volume, unifiant (la Variété) et améliorant la Véracité des données et des informations manipulées, tout en suivant la dynamique (Vélocité) de la crise en cours.

Nos états de l'art sur les différentes parties de l'architecture recherchée nous ont permis de définir un tel système d'information. Ce dernier est aujourd'hui capable de (i) recevoir plusieurs types d'*évènements* émis de sources de données connues ou inconnues, (ii) d'utiliser des *règles d'interprétations* directement déduites de règles métiers réelles et (iii) de formaliser l'ensemble des informations utiles aux parties-prenantes. Son architecture fait partie des *architectures orientées évènements*, et coexiste avec l'*architecture orientée services* du logiciel développé par le laboratoire Centre de Génie Industriel (CGI). Le système d'information ainsi implémenté a pu être éprouvé sur un scénario de crue majeure en Loire Moyenne, élaboré par deux Services de Prévision des Crues (SPC) français.

Le modèle décrivant la situation de crise courante, obtenu par le système d'information proposé, peut être utilisé pour (i) déduire un processus de réponse à la crise, (ii) détecter des imprévus ou (iii) mettre à jour une représentation de la situation en cellule de crise.

Mots clefs : Interprétation de données, Ingénierie dirigée par les modèles (IDM/MDE), Architecture dirigée par les évènements (ADE/EDA), Modélisation orientée objet, Architecture orientée service (AOS/SOA), Big data, Gestion de crise, Crue de la Loire

Automatic interpretation of heterogeneous data to model collaborative situations: application to crisis management

The present work is applied to the field of French crisis management, and specifically to the crisis response phase which follows a major event, like a flood or an industrial accident. In the aftermath of the event, crisis cells are activated to prevent and deal with the consequences of the crisis. They face, in a hurry, many difficulties. The stakeholders are numerous, autonomous and heterogeneous, the coexistence of contingency plans favours contradictions and the interconnections of networks promotes cascading effects.

These observations arise as the volume of data available continues to grow. They come, for example, from sensors, social media or volunteers on the crisis theatre. It is an occasion to design an information system able to collect the available data to interpret them and obtain information suited to the crisis cells. To succeed, it will have to manage the *4Vs of Big Data*: the Volume, the Variety and Veracity of data and information, while following the dynamic (velocity) of the current crisis.

Our literature review on the different parts of this architecture enables us to define such an information system able to (i) receive different types of *events* emitted from data sources both known and unknown, (ii) to use *interpretation rules* directly deduced from official business rules and (iii) to structure the information that will be used by the stake-holders. Its architecture is *event-driven* and coexists with the *service oriented architecture* of the software developed by the CGI laboratory. The implemented system has been tested on the scenario of a 1/100 per year flood elaborated by two french forecasting centres.

The model describing the current crisis situation, deduced by the proposed information system, can be used to (i) deduce a crisis response process, (ii) to detect unexpected situations, and (iii) to update a Common Operational Picture (COP) suited to the decision-makers.

Keywords : Data interpretation, Model driven engineering (MDE), Event-driven architecture (EDA), Object oriented modelling, Service oriented architecture (SOA), Big data, Crisis management, Flood of the Loire River

REMERCIEMENTS

Avant de vous laisser vous plonger dans la lecture de ce manuscrit, j'aimerais remercier les personnes sans qui tout n'aurait ni commencé, ni grandi, ni fini.

Tout d'abord Frédéric, mon directeur, qui m'a appris à aimer la modélisation et le monde passionnant de la gestion des crises. Tu m'as donné envie de continuer dans la recherche et tu m'as ouvert les portes du projet GÉNÉPi. Merci pour ta confiance, les réunions où tu es indispensable et où les idées pleuvent autant que la bienveillance.

Il y a ensuite deux amies, Aurélie et Anne-Marie, mes encadrantes, qui ne manquent ni de gentillesse, ni de temps pour les cafés, les idées, les soirées zombies, les crêpes, les fondues ou les marmottes. Merci de m'avoir accepté comme collègue et merci surtout de m'avoir accepté comme amie.

Sébastien, mon encadrant, qui a toujours été là quand j'en avais besoin. Tu as toujours su donner de ton temps pour me sortir des bibliographies infinies ou des rédactions compliquées. Ton envie d'avancer, de fouiller et de partager ne s'arrête jamais. Merci, grâce à toi j'ai découvert le monde du développement et je m'amuse comme une petite fille qui découvre Noël.

Jean-Pierre Bourey et François Charoy qui ont accepté de rapporter mes travaux. Bartel Van de Walle qui a accepté de présider mon jury et Hélène qui a accepté de se joindre à nous.

Les compères de la cellule informatique, Sébastien, Nicolas et Julien qui diffusent un air paisible et plein de bonne humeur autour d'eux. Merci car sans vous, il n'y aurait pas de RIO-Suite et sans RIO-Suite, GÉNÉPi n'aurait pas eu le succès qu'il a connu.

Les compères du projet GÉNÉPi, Chihab, Eric, Hanane, Nicolas, Guillaume, Jérôme, Thomas et Johann avec qui j'ai passé trois très bonnes années.

Les compères tout confondu. Les doctorants (ou quasi-doctorants) qui m'ont accueilli, Tiexin, Andrès, Romain, Laura, Shadan, Abdou, Zheng, Luis, Mylène, les doctorants (ou quasi-doctorants) qui nous ont rejoint, Antoine, Aurélie, Alexandre, Delphine, Eva, François, Hamidreza, Ibrahim, Julien, Liwen, Manon et Manon, Quentin, Rania, Robin, Sanaa et les permanents qui seront toujours là, Claude, Didier, Daouda, Elise, Franck, François et François, Matthieu, Paul et Paul. Parmi eux, Xavier, Jacques et Michel ont su trouvé le temps de m'aider pour mes demandes de qualifications. Elyes m'a montré une mine d'or (et surtout de SVG). Sina et Raphaël m'ont offert le meilleur bureau de ces trois années et Isabelle a su illuminer le laboratoire par sa gentillesse et sa bienveillance. Je me rappellerai toute ma vie d'ISCRAM et de tous les bons (et *horribles*) moments qu'on a passé toutes les deux.

Ma maman, mon papa et ma sœur pour m'avoir supporté toutes ces années. Merci pour votre soutien et vos efforts à suivre les méandres de mon travail. Mes grand-parents papi Philippe, papi Jean, mamie Marie et mamie Chantal pour leur gentillesse à toute épreuve.

Guillaume, qui a toujours été là dans les bons et les mauvais moments et qui m'a convaincu que je pouvais y arriver. Merci pour toutes les heures que tu as passé à relire mes articles, pour toutes les heures où on est parti un peu après les autres, pour les conférences, pour les répétitions, les vacances et la super maison. Enfin, le chaton qui est venu me tenir compagnie pendant les longs mois de rédaction.

Merci à vous lecteur, qui avez eu le courage d'ouvrir ce manuscrit. J'espère que la lecture vous plaira et n'hésitez pas à me contacter si vous souhaitez en discuter.

SOMMAIRE

Résumé	i
Remerciements	iii
Introduction	1
1 La réponse aux crises : enjeux et problématiques	5
1.1 La notion de crise	5
1.1.1 Les caractéristiques d'une situation de crise	6
1.1.2 La vulnérabilité du système touché et les risques encourus	8
1.2 La gestion de crise	8
1.2.1 Les phases de gestion de crise	9
1.2.2 La phase de réponse	9
1.2.3 Les caractéristiques de la réponse à une crise française	11
1.3 Les enjeux de la réponse à une crise	12
1.3.1 Une collaboration de crise complexe en environnement incertain	13
1.3.2 La conscience de la situation des décideurs	14
1.3.3 Le système d'information	15
1.3.4 La gestion des données	15
1.3.5 La gestion des informations	17
1.4 Un système d'information dédié aux cellules de crise	18
1.4.1 Les pistes de réponses	19
1.4.2 Le projet MISE et le projet GÉNÉPi	19
1.4.3 L'organisation du manuscrit	20
2 Les étapes de modélisation d'une situation de crise dans la littérature	23
2.1 Le cadre de recherche	25
2.1.1 Les hypothèses de travail	25
2.1.2 La méthodologie suivie	27
2.2 Les méthodes de collecte en temps réel	28
2.2.1 Les types de collecte	28
2.2.2 Les méthodes de collecte dans la littérature	29
2.2.3 La collecte de données en situation de crise	29
2.3 Les méthodes pour structurer les informations disponibles	31
2.3.1 Les types de structures	31
2.3.2 Les méthodes pour structurer des informations dans la littérature	33
2.3.3 La structuration des informations en situation de crise	33
2.4 Les méthodes pour interpréter les données collectées	36
2.4.1 Les types d'interprétation	36

2.4.2	Les méthodes d'interprétation dans la littérature	37
2.4.3	L'interprétation de données en situation de crise	37
2.5	Les solutions transversales	40
2.5.1	Les méthodes transversales dans la littérature	40
2.5.2	Les solutions transversales en situation de crise	40
2.6	Récapitulatif des méthodes identifiées	43
3	Les étapes de modélisation d'une situation de crise proposées	45
3.1	Un métamodèle configurable comme structure de référence	46
3.1.1	La structure en couches	48
3.1.2	Le métamodèle Cœur pour représenter une situation collaborative	49
3.1.3	La couche dédiée à la modélisation d'une situation de crise	49
3.1.4	L'utilisation du métamodèle en situation de crise	51
3.2	La collecte de données pour décrire la situation de crise	52
3.2.1	Les évènements à notre disposition	52
3.2.2	Les méthodes synchrones et asynchrones	53
3.2.3	Les mécanismes de souscription	54
3.2.4	La méthode de collecte proposée	54
3.3	L'interprétation de données pour suivre la situation de crise en cours	55
3.3.1	Le traitement d'évènements complexes	56
3.3.2	La structure des règles d'interprétation	57
3.3.3	Les règles d'interprétation dédiées aux situations de crise .	58
3.3.4	Les règles d'interprétations mises au point	59
3.4	Une architecture dirigée par les évènements	60
3.4.1	Les effets sur les 4Vs du Big Data	62
3.4.2	Les contributions et perspectives d'évolutions de l'architecture proposée	63
4	Cas d'application : une crue centennale en Loire Moyenne	67
4.1	Le cas d'étude proposé	68
4.1.1	Les parties prenantes usuelles	71
4.1.2	Les risques encourus en Loire Moyenne	73
4.1.3	Les enjeux présents en Loire Moyenne	74
4.2	L'implémentation du système d'information proposé	75
4.2.1	Le système d'aide à la décision implémenté	75
4.2.2	Le métamodèle implémenté	77
4.3	Le fonctionnement du système d'information mis au point	79
4.3.1	La simulation d'une crue centennale en Loire Moyenne . . .	79
4.3.2	L'interprétation des évènements en un modèle de la situation courante	80
4.4	L'utilisation du modèle de situation mis à jour	85
4.4.1	Le modèle de la situation de crise pour déduire un processus de réponse adapté	85
4.4.2	Le modèle de la situation de crise pour mettre à jour la COP en cellule de crise	87
4.4.3	Le modèle de la situation de crise pour réagir aux imprévus	89
4.5	Les performances du système d'information proposé	89

Conclusion	91
A Blind men and the elephant	95
B Les acronymes métiers propres aux opérateurs réseaux français	97
B.1 Les domaines de tension	97
B.2 Le vocabulaire métier utilisé en gestion de crise	98
C L'évolution des articles sur les structures de références dédiées aux crises	99
D Le monde du Wumpus Collaboratif	101
D.1 La caverne du Wumpus	101
D.2 L'environnement collaboratif du Wumpus	101
D.3 La modélisation de la collaboration du Wumpus	102
E Manuel d'utilisation du logiciel RIO-Suite	105
E.1 Avant chaque nouvelle démonstration	105
E.1.1 Lancement de la distribution	105
E.1.2 Sélection d'un use-case	106
E.2 Simulation de la crue centennale en Loire-Moyenne	106
E.2.1 Simulation du scénario Sc2	106
E.2.2 Ajout d'informations géo-localisées	108
E.2.3 Simulation du scénario Sc3	108
E.2.4 Vérification du bon déroulé des opérations	109
E.3 Contact & Accès	110
F Exemple de mappage vers un concept du méta-modèle	111
G Partie contexte de la couche Crise du métamodèle implémenté	113
G.1 La partie Contexte historique de la Couche Crise	113
G.2 La partie réseau de la couche Crise	116
G.3 La partie inondation de la couche Crise	117
G.4 La partie Territoire de la couche Crise	120
G.5 La partie Crise routière de la couche Crise	121
H Les évènements pour simuler une crue en Loire Moyenne	125
H.1 L'évènement simulant une rupture de digue	125
H.1.1 Le format de données de rupture de digue utilisé	125
H.1.2 L'évènement rupture de digue	125
H.2 L'évènement trafic	125
H.2.1 Le format de données trafic utilisé	125
H.2.2 Les évènements trafic sur un jour entre Orléans et Clery	126
H.3 Les évènements hydrauliques	127
H.3.1 Le format des évènements hydrauliques	127
H.3.2 Les évènements de prévision hydraulique au 5ème jour de crue, à Orléans	127
I Les règles CEP implémentées dans le module d'interprétation	129
I.1 L'évaluation des Dangers pour prévoir les aléas	129

I.1.1	Le Danger d'inondation probable dans le Loiret	129
I.1.2	Le Danger d'inondation probable dans le Loir-et-Cher	130
I.1.3	Le Danger d'inondation très probable sur la Loire Moyenne	131
I.1.4	Le Danger d'inondation imminent dans le Loiret	132
I.2	La détection des Risques	133
I.2.1	Le risque probable de submersion de zones urbaines dans le Loiret	133
I.2.2	Le risque probable de submersion de zones urbaines dans le Loir-et-Cher	134
I.2.3	Le risque très probable de submersion de zones urbaines dans le Loiret	135
I.2.4	Le risque très probable de submersion de zones urbaines dans le Loir-et-Cher	136
I.2.5	Le risque de submersion imminente de maisons de retraites dans le Loiret	137
I.2.6	Le risque de coupure imminente de l'A71 dans le Loiret	138
I.2.7	Le risque de rupture de digue imminente dans le Loiret	139
I.2.8	Le risques de victimes imminente dans le Loiret	140
I.2.9	Le risque de coupure d'eau potable imminente dans le Loiret	141
I.3	La détection des incidents en chaine lors d'une rupture de digue	142
I.3.1	La submersion de trois maisons de retraite	142
I.3.2	La coupure de l'autoroute A71	144
I.3.3	La coupure de l'eau potable à Orléans	145
I.4	La surveillance des évacuations par routes à partir d'Orléans	146
I.5	Les demandes d'informations spécifiques	147
	Glossaire	152
	Bibliographie	170

INTRODUCTION

Connais-toi toi-même, connais ton ennemi, ta victoire ne sera jamais mise en danger. Connais le terrain, connais ton temps, ta victoire sera alors totale.

– Sun Tzu, *L'Art de la guerre*

En France, une catastrophe naturelle de grande ampleur déclenche l'activation de cellules de crise. Celles-ci regroupent des décideurs qui ont besoin d'informations pour prendre leurs décisions et donner des instructions aux services alors *parties-prenantes* à la réponse à la crise. Les travaux de recherche décrits dans ce manuscrit ambitionnent d'aider ces décideurs à (i) appréhender la situation de crise, (ii) supporter la collaboration des parties prenantes et (iii) réagir face aux évolutions imprévisibles de la crise.

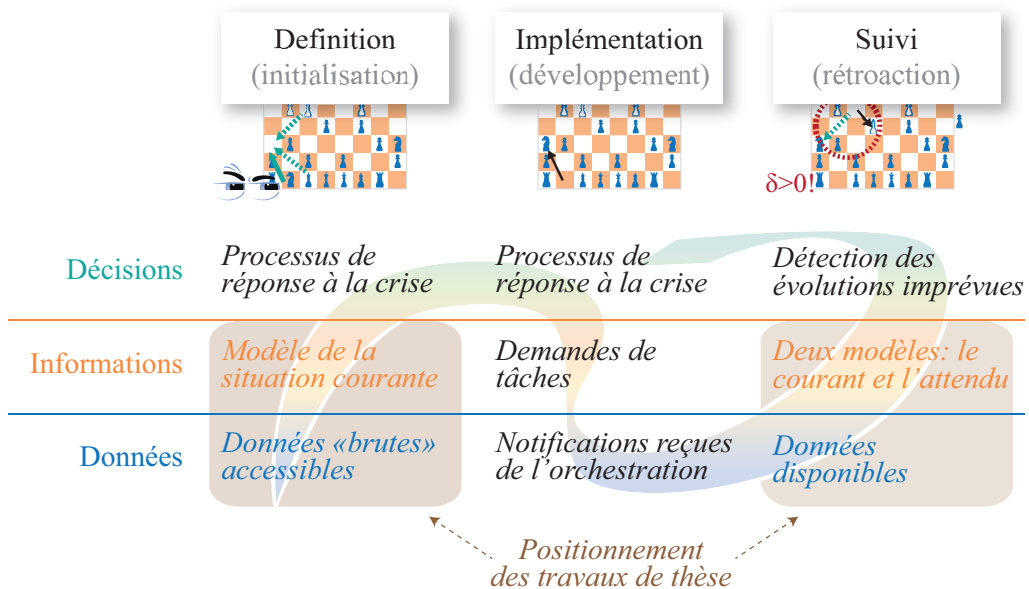


FIGURE 0.1 – La place de la thèse dans le processus d'aide à la décision porté par le projet Mediation Information System Engineering (MISE) et illustré par une partie d'échec.

La Figure 0.1 présente l'approche portée par le projet MISE (Bénaben, 2012) formé de trois axes verticaux, un pour chaque étape décrite ci-dessus. La première colonne « Définition » cherche à représenter la situation courante pour pouvoir déduire un *processus* de réponse adapté à la crise. La seconde colonne « Implémentation » est vouée à soutenir la collaboration des parties prenantes pendant la réponse proposée. Enfin, la dernière colonne « Suivi » met à jour la représentation de la situation de crise pour réagir, si besoin, aux évolutions de celle-ci. Pour illustrer ces trois étapes, la Figure 0.1 compare l'approche à un jeu d'échec en ligne. Au

sein de la première colonne, un joueur commence par analyser l'échiquier pour récupérer des données sur son environnement de décision. Grâce à une vision globale, il peut ensuite décider d'une stratégie à partir des enchaînements qu'il connaît. Dans la seconde colonne, le premier coup est communiqué à l'ordinateur, puis joué. Le joueur peut alors passer à la troisième colonne : il peut observer la réponse de l'adversaire et, selon la réaction de ce dernier, choisir de redéfinir une stratégie pour ses prochains coups (première colonne).

Les axes horizontaux de la Figure 0.1 correspondent aux trois types d'éléments utilisés par notre approche : une *donnée* correspond à un attribut d'un composant de l'environnement, et, contrairement aux informations, les données ne sont pas utilisables seules. Une *information* décrit un composant de l'environnement par rapport à une situation donnée. Enfin, une *décision* est soutenue par un ensemble d'informations décrivant la situation courante ou à venir.

Les trois étapes de « Définition », d'« Implémentation » et de « Suivi » ont servi de support au développement du prototype logiciel RIO-Suite développé par Salatgé et al. (2018) au sein du laboratoire Centre de Génie Industriel (CGI). Les savoir-faire des parties-prenantes sont mis en relation avec les conséquences de la crise pour proposer un processus de réponse. Le processus est validé par les décideurs, implémenté, puis orchestré entre les parties-prenantes. Cette étape nécessite l'envoi d'instructions des cellules de crise vers les parties prenantes et la récupération d'informations des parties-prenantes vers les cellules de crise. Le système peut alors détecter l'écart entre ce qui était prévu lors de la validation du processus de réponse (la situation de crise qui était observée moins les conséquences qui devaient être traitées) et ce qui est observé (l'état actuel de la situation de crise). Si une divergence est détectée, un nouveau processus de réponse peut, par exemple, être déduit. Ici, les informations disponibles sont informatisées sous forme de *modèles*. Tels que définis par Bézivin (2005), les modèles sont formés d'instances de concepts. Les concepts et les relations pouvant lier les instances entre elles sont décrits formellement dans un modèle particulier : le *métamodèle*, littéralement « modèle sur le modèle ». Dans RIO-Suite, le modèle de la situation de crise est construit manuellement. Il sert de base à la déduction du processus de réponse et permet de générer un autre modèle, le modèle attendu (Barthe, 2013), mis à jour à partir des données de suivi du processus en cours. Ce dernier est utilisé à l'étape de suivi.

Pour le moment, l'étape de modélisation de la situation de crise demande un temps que les décideurs n'ont pas forcément : Charles Hermann (repris par (Billings et al., 1980)) considère en effet que la surprise, l'urgence et la menace sont les trois caractéristiques d'une situation de crise. Ce constat arrive alors que les données disponibles sur les réseaux informatiques ne cessent de se multiplier : en 2021, les flux d'informations échangés, par an, via Internet, représenteront 3.3 zettabytes (Cisco, 2017). Ce sont l'équivalent de 73 millions de livres qui seront échangés chaque seconde¹ ! Parmi ces données, on retrouve des milliers de vidéos, les messages envoyés sur les réseaux sociaux, ou des rapports partagés au sein d'un groupe. A ce jour, la collecte et le traitement nécessaires à l'exploitation d'une infime partie de ces données ne pourraient pas être réalisés sans moyens supplémentaires, malgré l'aide qu'elles pourraient apporter en cellule de crise.

1. Pour 1Go = 700 livres

Dans ce contexte, nous proposons d’automatiser la modélisation de situations de crise, au bénéfice des décideurs, grâce aux données à leur disposition, comme les données émises par des capteurs de mesure, les informations circulant sur les réseaux sociaux, ou les informations récoltées et partagées spontanément par des bénévoles sur le théâtre de crise. Pour ce faire, nous proposons d’étudier, de définir, de concevoir et de tester un système d’information dédié aux cellules de crise. L’objectif est de leur permettre de :

- gérer un volume et une variété plus importantes de données, d’informations ou de connaissances ;
- multiplier les sources de données utilisées pour augmenter le degré de véracité des informations manipulées, et éviter ainsi le problème soulevé par la légende des aveugles et de l’éléphant (cf. Annexe A et Figure 0.2) ;
- suivre la dynamique de la crise en cours, surtout au moment où les événements s’enchaînent et où des décisions doivent être prises dans l’urgence.

La Figure 0.2 illustre les *4Vs du Big Data* qui font directement échos aux objectifs ci-dessus :

- la gestion du Volume des données et des informations à recevoir, traiter ou communiquer en cellule de crise ;
- la gestion des différents formats utilisés pour envoyer ou utiliser les données et informations au sein de la collaboration formée par les parties-prenantes à la réponse à la crise (Variété) ;
- la gestion de la Véracité des données et informations utilisées pour soutenir les prises de décisions ;
- la gestion de la Vélocité des données et des informations disponibles, liées à la dynamique de la crise en cours et qui oblige les cellules de crise à tenir à jour et utiliser dans les temps leurs données et informations.

Ce manuscrit de thèse commence par poser la problématique de recherche de la thèse, dédiée à soutenir les décideurs en cellule de crise, via la gestion des données et des informations à leur disposition. Les chapitres 2, 3 et 4 permettront de répondre à la problématique posée. Le chapitre 2 commence par un état de l’art, puis le chapitre 3 propose de concevoir un nouveau type de système d’information qui pourra alors être testé sur un scénario réaliste de crise proposé au chapitre 4 : une crue de la Loire similaire à celle qui toucha la France en 1866.

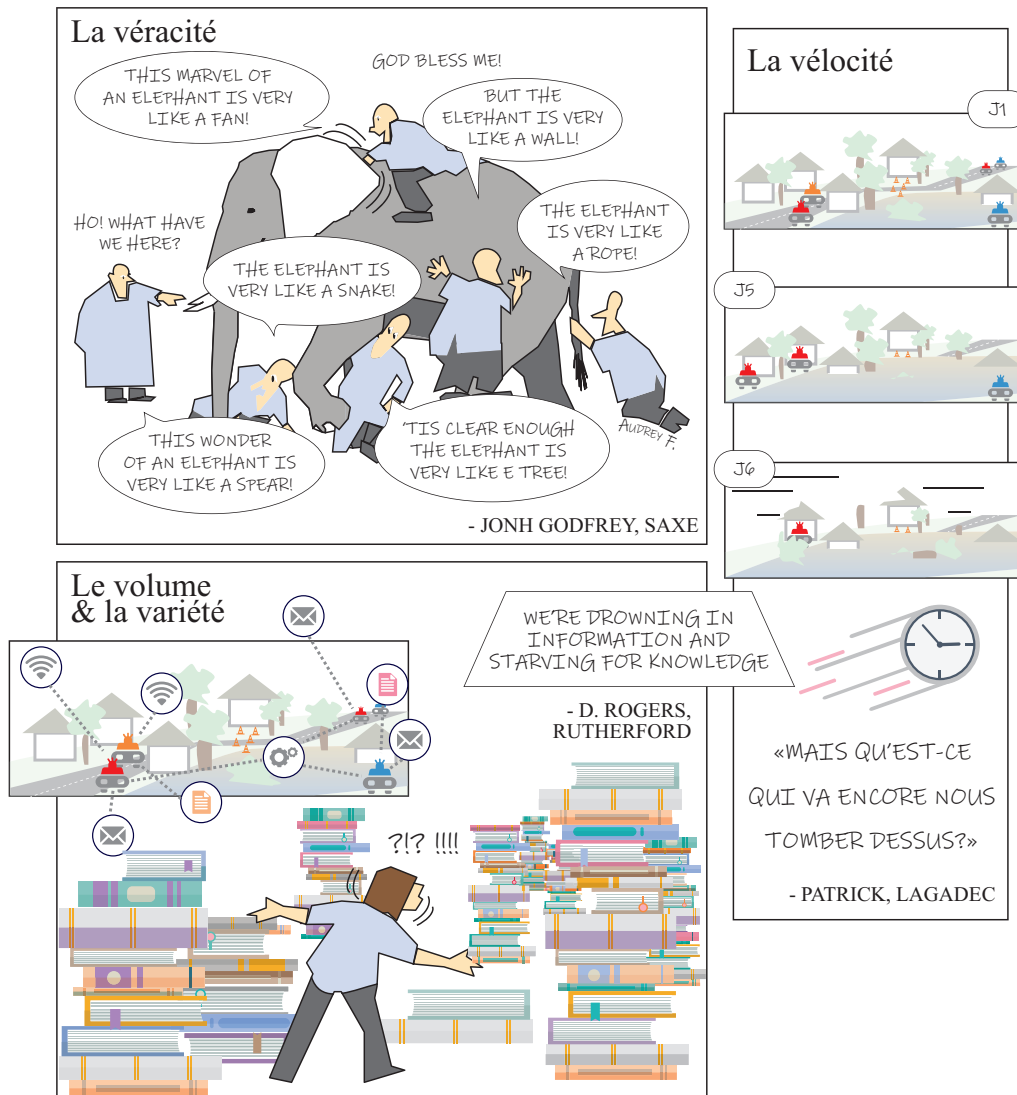


FIGURE 0.2 – L'importance du volume (Jain, 2009), de la variété, de la véracité et de la vélocité (Lagadec, 1994) des informations manipulées en cellule de crise. Inspiré de la légende "The blind men and the elephant" (Saxe, 2016) disponible en Annexe A. Quelques éléments graphiques sont issus de la bibliothèque Freepik (2018).

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 Tōhoku-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 :

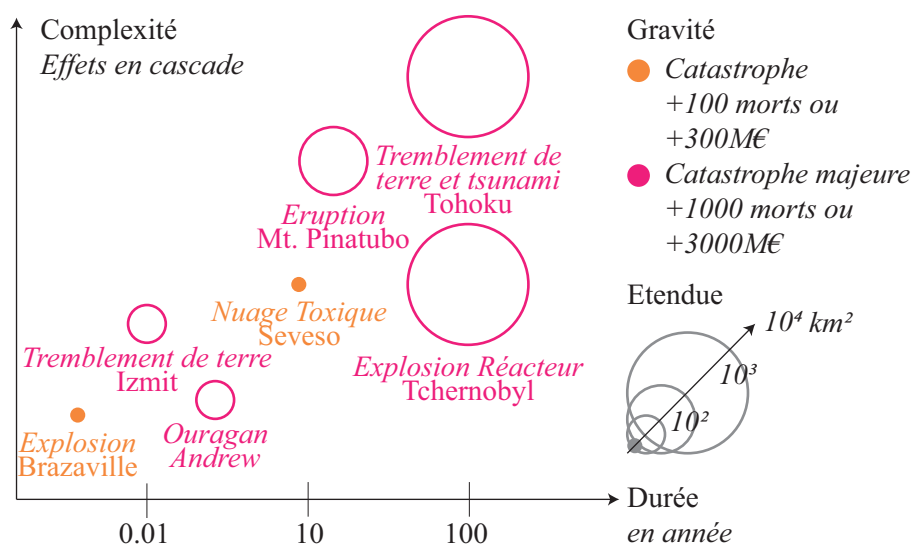


FIGURE 1.2 – Les caractéristiques d’une crise illustrée par quelques exemples d’événements majeurs tirés de (Gaillard, 2008; Pielke et Landsea, 1998; Yilmaz et al., 2005; Imamura et Anawat, 2011; Born et al., 2007; Mbopi-Kéou, 2012; Bertazzi, 1991)

- 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. La réponse aux crises : enjeux et problématiques

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).

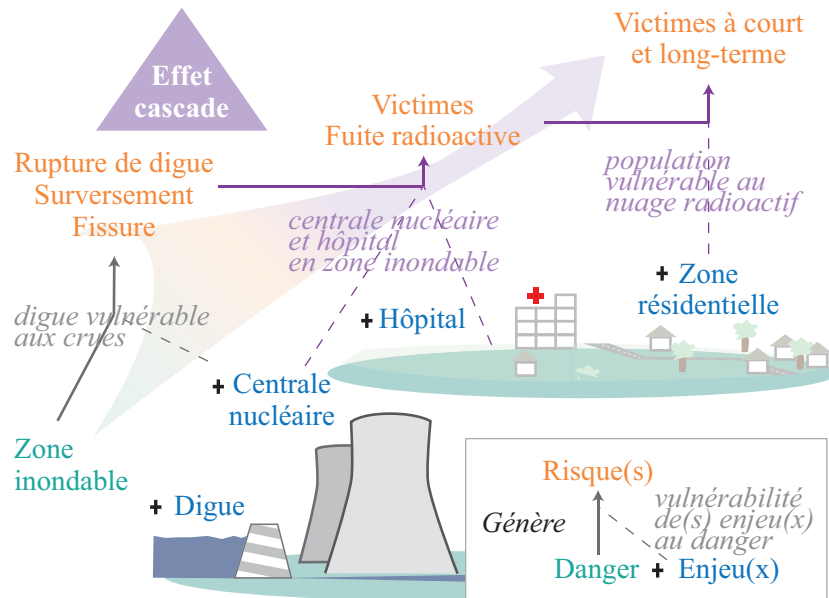


FIGURE 1.3 – Illustration des liens liant la notion de *Danger*, de *Risque* et d'*Enjeu*, inspiré de Desroches (2013); Bénaben et al. (2014) et Li et al. (2018a)

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

1. La réponse aux crises : enjeux et problématiques

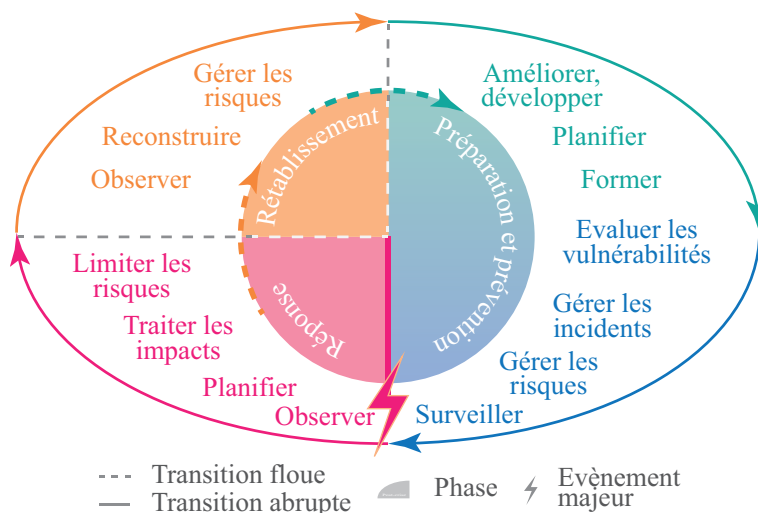


FIGURE 1.4 – Le cycle de vie de la gestion de crise, inspiré de Alexander (2002); Cutter (2003); Jaques (2007) et Kruchten et al. (2008)

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 évènement 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 évènement 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.

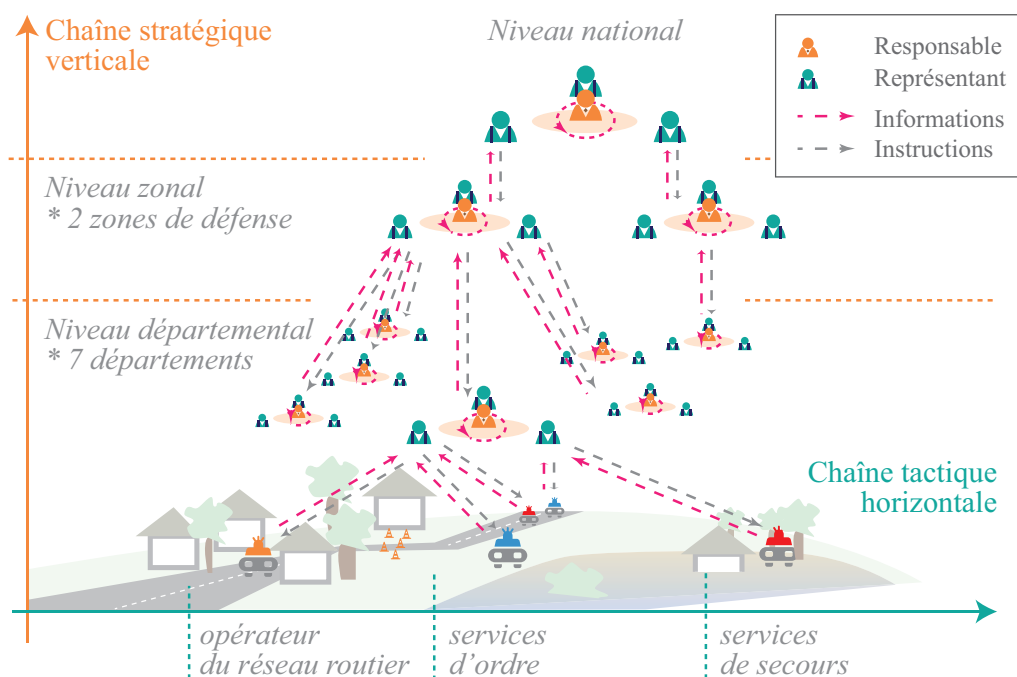


FIGURE 1.5 – Le théâtre de crise, la chaîne tactique et la chaîne stratégique impliquées dans la réponse à une crise sur le territoire français. Figure inspirée de Bader et al. (2008); Truptil (2011) et Renn (2017)

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

1. La réponse aux crises : enjeux et problématiques

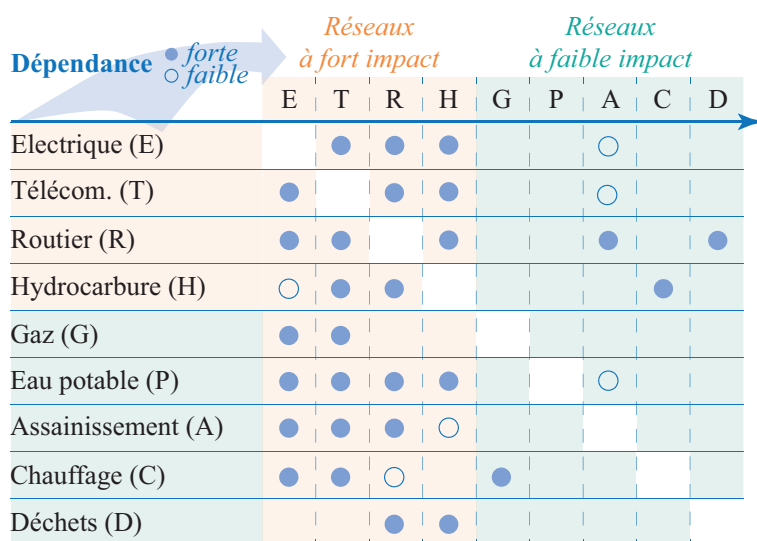


FIGURE 1.6 – L’interconnexion des réseaux d’après DGSCGC (2015); CEPRI (2016); EP Loire (2006), et, dans le cadre du projet GénÉPi, inspiré de Dolidon (2016a); Fertier et al. (2017)

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.

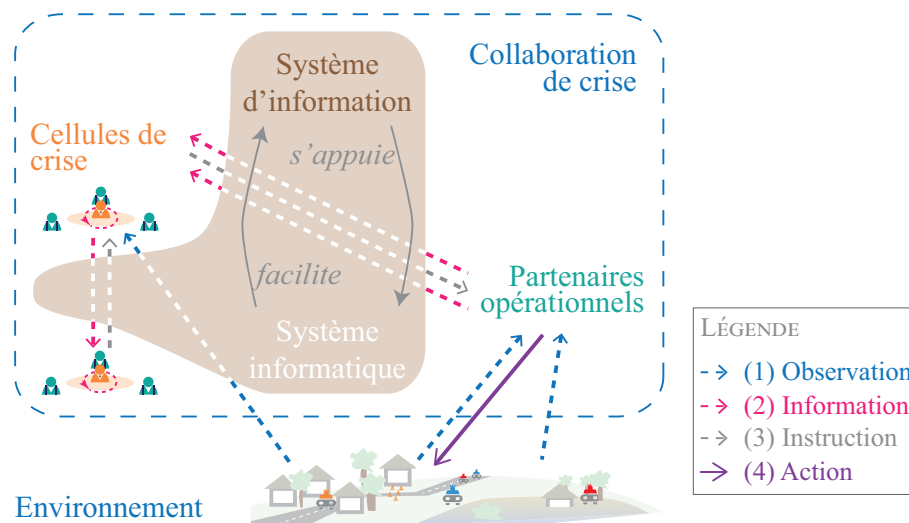


FIGURE 1.7 – Le système d'information, pouvant être supporté par un système informatique, liant les cellules de crise et les partenaires opérationnels au théâtre de crise, inspiré de [Walls et al. \(1992\)](#) et [Morley \(2016\)](#)

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 évènements* (« *Internet of event* ») formalisé par [Van der Aalst \(2014\)](#) et composé de :

1. La réponse aux crises : enjeux et problématiques

- 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 évènements 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.

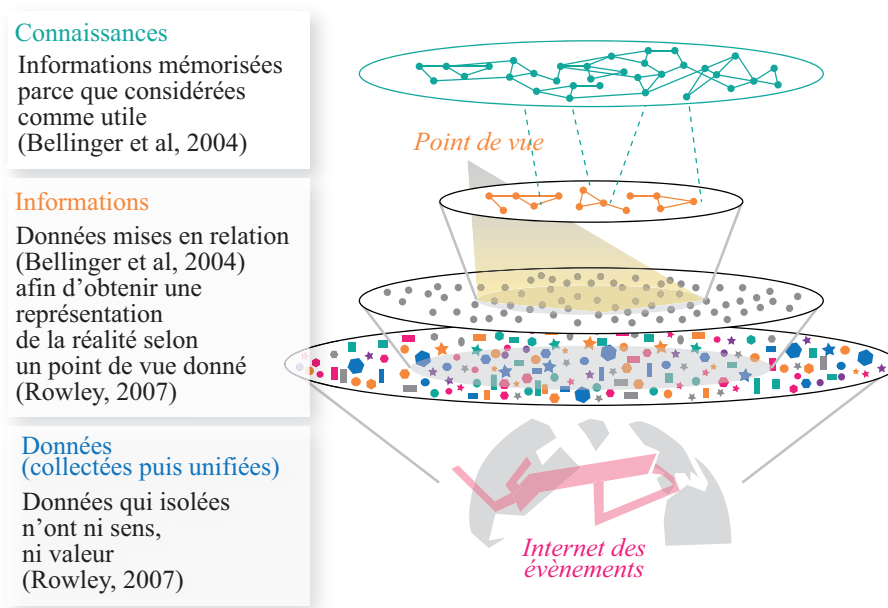


FIGURE 1.8 – De la donnée à l'information dans un monde ultra-connecté, inspiré de (Bellinger et al., 2004; Puel et Ullmann, 2006; Rowley, 2007)

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

1. La réponse aux crises : enjeux et problématiques

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).

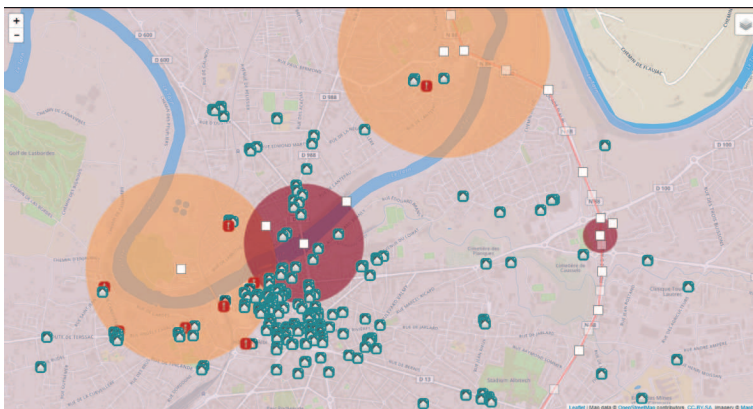


FIGURE 1.9 – Exemple de COP, obtenu sur la Ville d'Albi (81000), via la simulation d'une crue sur l'outil RIO-Suite présenté au Chapitre 4

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

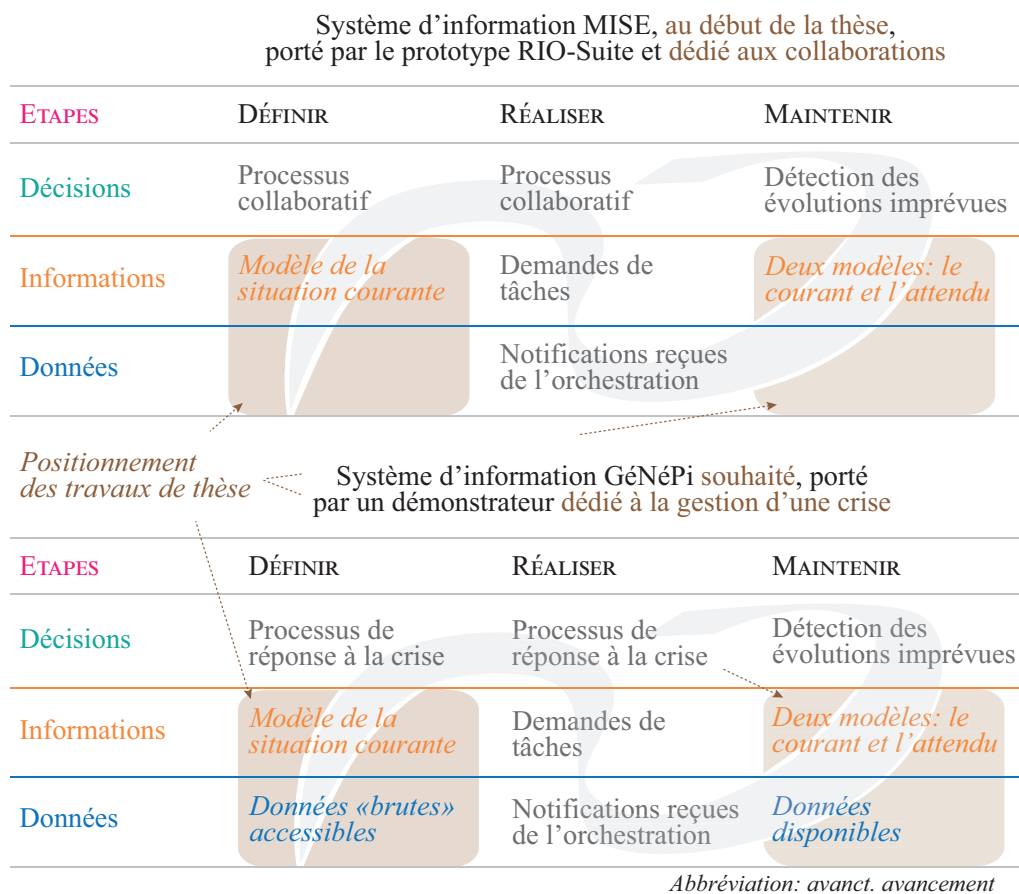


FIGURE 1.10 – Les étapes couvertes par le projet GénÉPi et la place de la thèse dans le projet

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 :

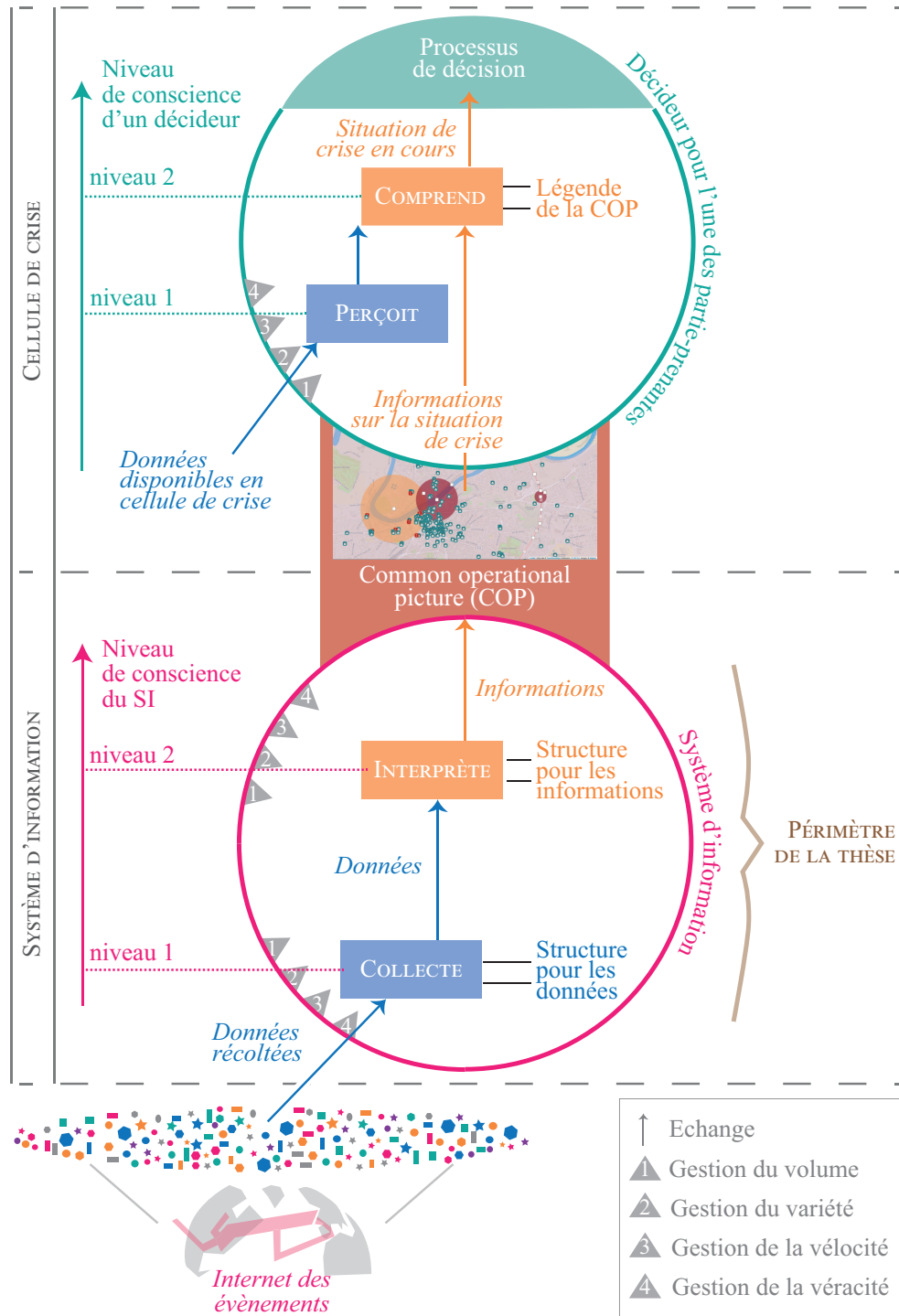


FIGURE 1.11 – L'objectif et la place du système d'information recherché pour soutenir la conscience de la situation des décideurs en cellules de crise, en temps réel, inspiré de Endsley (2011); Rogova et Scott (2016) et Luukkala et al. (2017)

1. La réponse aux crises : enjeux et problématiques

- *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.

LES ÉTAPES DE MODÉLISATION D'UNE SITUATION DE CRISE DANS LA LITTÉRATURE

Our « Age of Anxiety » is, in great part, the result of trying to do today's jobs with yesterday's tools—with yesterday's concepts. [With yesterday's ideals.]

– Marshall McLuhan, *The Medium is the Massage : An Inventory of Effects*

Introduction

Suite à un événement majeur (Lagadec, 1994), les décideurs doivent rapidement recueillir des informations pertinentes, obtenues si possible selon un processus de recherche et d'analyse éprouvé, pour comprendre la « dynamique générale » de la crise.

Dans ce contexte, nous proposons de mettre au point un système d'information capable de générer un ensemble structuré d'informations décrivant la situation de crise en cours. Cet ensemble, présenté sous forme de modèle (Bézivin, 2005), doit alimenter directement le niveau 2 de conscience des décideurs, c'est-à-dire leur compréhension de la situation de crise, via une Common Operational Picture (COP) adaptée à chaque cellule de crise.

Le chapitre 1 nous a permis d'identifier notre problématique : *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 ?*. Le chapitre 2 cherche maintenant à identifier les méthodes qui composeront le système d'information recherché, pour répondre à la problématique posée. L'architecture doit permettre :

- la *collecte* des données « brutes » contenues dans l'Internet des événements ;
- l'*interprétation* des données collectées, c'est à dire leur mise en relation, pour déduire des informations permettant de se représenter la situation dans laquelle se trouve l'utilisateur ;
- la *structuration* des informations disponibles sur la crise en cours, pour obtenir un modèle utile et partageable de la situation de crise.

2. Les étapes de modélisation d'une situation de crise dans la littérature

tout en répondant aux défis liés aux 4Vs du Big data, définis à la section 1.3.4) :

- *volume* : comment sélectionner les données ou les informations de façon à optimiser leur taux d'utilisation en cellule de crise ?
- *variété* : comment harmoniser les formats et les types de données et d'informations manipulés ?
- *vélocité* : comment minimiser le temps nécessaire aux processus de collection, d'interprétation et de structuration ?
- *véracité* : comment vérifier les informations transmises aux cellule de crise ?

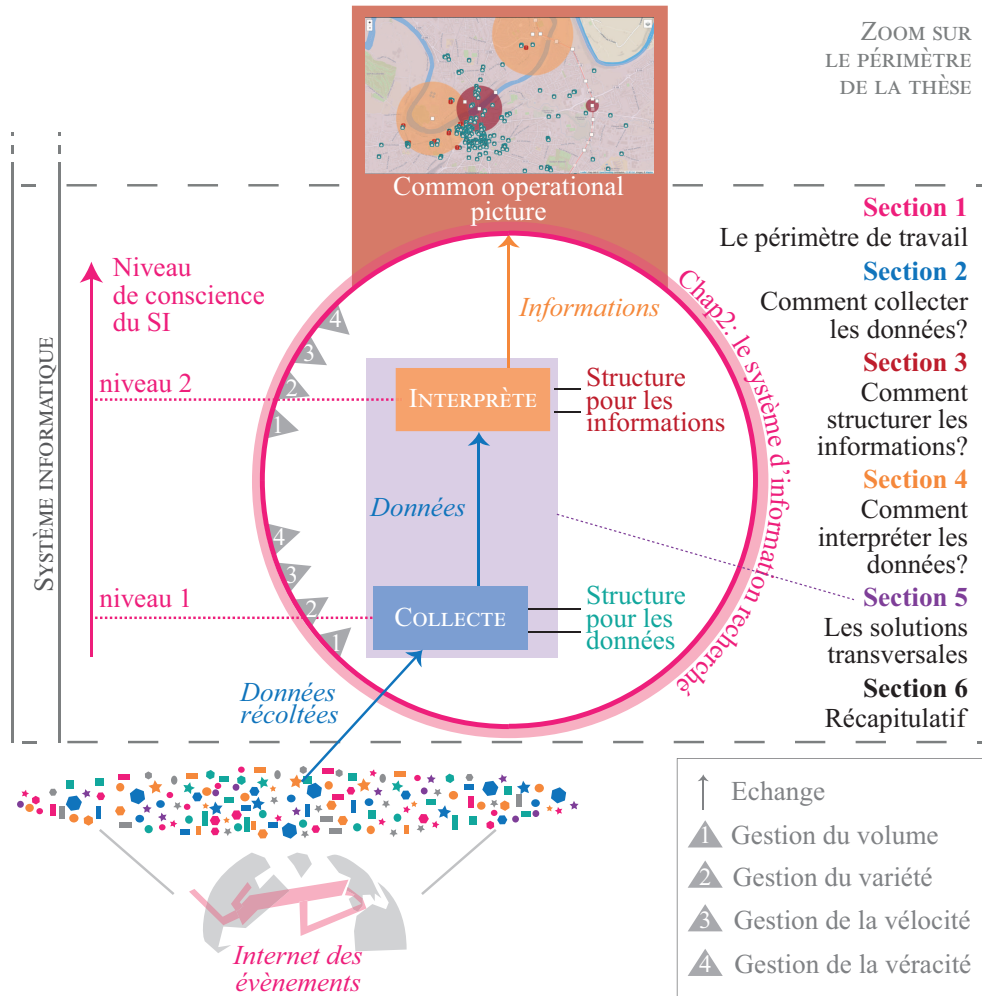


FIGURE 2.1 – Périmètre d'étude du Chapitre 2

La Figure 2.1 présente l'organisation du chapitre. La Section 1 commence par poser les hypothèses et le cadre de recherche suivi par les travaux décrits dans ce manuscrit. Les Sections 2, 3 et 4 cherchent respectivement à identifier les méthodes de collecte, de structuration et d'interprétation existantes dans la littérature. A chaque fois, les résultats seront évalués selon les contraintes liées à leur utilisation en situation de crise et dans un contexte de « Big data ». A la section 5, une recherche transverse aux états de l'art, présentés aux sections 2, 3 et 4, est proposée, pour tenter d'identifier des solutions hybrides présentes dans la littérature, comme par exemple, une méthode capable d'assurer à la fois la collecte et l'interprétation

de données brutes. Enfin, la Section 6 offre un récapitulatif des travaux les plus pertinents, compatibles avec notre domaine d'application et capables de répondre à notre problématique, compte tenu de nos hypothèses de départ.

2.1 Le cadre de recherche

2.1.1 Les hypothèses de travail

Un système d'information, destiné à collecter des données provenant de l'Internet des événements, pourrait détecter et identifier automatiquement des sources de données disponibles sur une zone géographique donnée. En gestion de crise, cette étape peut être réalisée en préfecture, durant la phase de préparation. Nous considérons donc pouvoir avoir accès à des sources fiables, existantes, identifiées par des experts métier. Nous posons ainsi notre première hypothèse :

Hypothèse 1. *Le système d'information sait, a priori, se connecter à des sources de données fiables, disponibles quelque soit le territoire étudié.*

Pour gérer le volume de données, plusieurs méthodes existent déjà, comme par exemple la technique connue sous le nom de Map-Reduce ([Zhang et al., 2015](#); [Dean et Ghemawat, 2008](#)) qui permet de séparer des données en plusieurs ensembles qui seront traités en parallèle. Ce constat nous amène à poser l'hypothèse ci-dessous qui signifie, en particulier, qu'aucune étude de scalabilité ou de limite de calcul n'est conduite dans ces travaux.

Hypothèse 2. *Le système d'information, supposé à ressources infinies, saura s'adapter à n'importe quel volume de données, grâce à une multiplication des moyens de calcul et à la parallélisation des étapes de collecte et d'interprétation.*

Pour gérer la variété des données, l'approche unifiée est envisageable, grâce à la standardisation du langage de description des données rendue possible par des communautés telles que le World Wide Web Consortium (W3C). Ce qui nous amène à une nouvelle hypothèse, décrite ci-dessous. Concrètement, le système d'information recherché ne collectera pas les données provenant directement de sources de données de « premier ordre », comme un capteur de mesure hydraulique, mais à des sources de données de seconde main, qui fournissent des données pré-traitées, telles que les relevés hydrométriques fournis par les Services de Prévision des Crues (SPC) français en cas de crue.

Hypothèse 3. *Le système d'information reçoit des données ou des informations déjà uniformisées via l'utilisation d'un langage de description unique.*

Enfin, nous supposons, comme indiqué par [Wolbers et Boersma \(2013\)](#) ou [Sophronides et al. \(2017\)](#), que les COPs sont efficaces pour communiquer rapidement et correctement des informations. Plus encore, nous considérons, comme relevé par [Stanton et al. \(2010\)](#), que la COP permet aux décideurs d'accéder à une conscience de la situation soutenue par un ensemble d'information compréhensible. Ainsi, comme proposé par l'hypothèse ci-dessous, l'amélioration de la conscience des décideurs est conditionné par l'amélioration des informations accessibles depuis la COP.

Hypothèse 4. *L'amélioration de la conscience de la situation du système d'information contribue directement à la conscience de la situation de son utilisateur.*

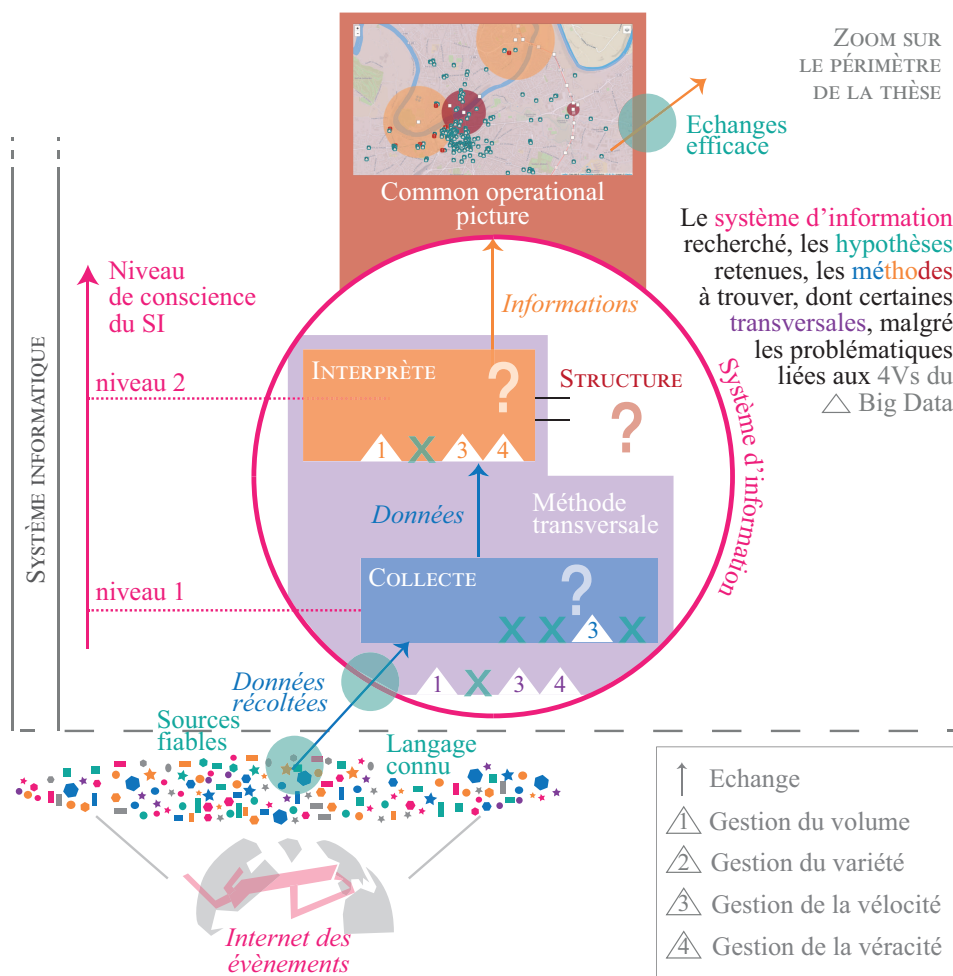


FIGURE 2.2 – Les hypothèses régissant notre cadre de recherche, présentées sur le cadre de réponse proposé pour mettre au point le système d'information recherché, mis en relation avec les numéros de sections du chapitre

La Figure 2.2 met en avant notre périmètre de recherche, encadré par nos quatre hypothèses :

1. les sources de données utilisées ont été jugées fiables, en phase de préparation ;

2. l'augmentation du volume de données en entrée n'impactera pas les performances du système d'information ;
3. les données disponibles au sein de l'Internet des évènements sont échangées selon un format commun et les informations manipulées par le système d'information sont structurées selon une structure de référence ;
4. les informations partagées avec les décideurs en cellule de crise sont comprises rapidement et entièrement.

2.1.2 La méthodologie suivie

La Figure 2.2 présente notre nouveau cadre de réponse, adapté à notre périmètre de recherche. A chaque étape, les conditions d'acceptation sont héritées des 4Vs du Big data encore à traiter.

Pour compléter ce cadre de recherche, par rapport à l'existant, nous suivrons la méthode décrite par Thomé et al. (2016) pour obtenir un état de l'art exploitable, qui consiste à :

1. formuler le problème et poser les frontières de la recherche souhaitée : la problématique a été posée à la fin du chapitre 1 et la frontière est délimitée par nos quatre hypothèses de recherche ;
2. poser les mots clefs et identifier les journaux concernés, sélectionner des articles selon leur résumé, puis selon leur contenu.
3. présenter les résultats de façon ordonnée et les mettre à jour régulièrement : les résultats seront représentés selon les trois étapes identifiées en orange et en bleu sur la Figure 2.2.

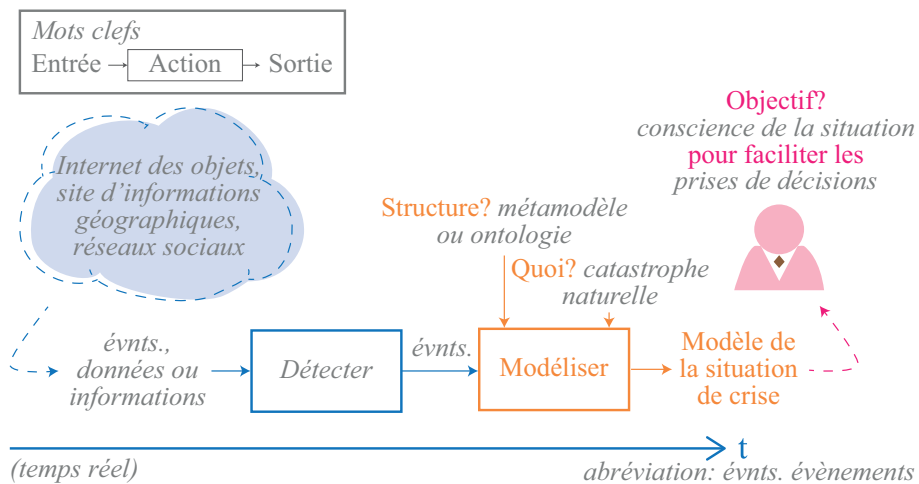


FIGURE 2.3 – Mots clefs choisis pour chacun des états de l'art réalisés dans ce chapitre, aux sections 2.2, 2.3 2.4 et 2.5

La Figure 2.3 présente les mots clefs sélectionnés pour chaque état de l'art. L'objectif était d'obtenir 15 à 50 articles par requête, pour ensuite n'en sélectionner qu'une dizaine. Il a donc fallu définir des mots clefs assez près de nos besoins pour obtenir 20 à 67% d'articles pertinents dans l'ensemble des résultats obtenus par requête. Trois requêtes ont ainsi été définies :

- la première requête recherche des méthodes de collecte capable de détecter, en *temps réel*, des évènements, des données ou des informations

provenant de diverses sources de données présentes dans l'Internet des objets, l'Internet des lieux (les *informations géographiques regroupées par des volontaires*), ou l'Internet des personnes (les *réseaux sociaux*) dans le contexte d'une situation de crise ;

- la seconde requête recherche des structures, telles que les ontologies ou les métamodèles, dédiées à la représentation de situation crise dues à des *catastrophes naturelles* ;
- la dernière requête recherche des méthodes d'interprétation capable de traiter des (événements) pour *modéliser* une situation courante, améliorer la *conscience de la situation* de décideurs et faciliter ainsi les *prises de décisions* ;

Enfin, les trois dernières requêtes, utilisées à la section 5, combinent les mots clefs ci-dessus, en élargissant nos critères de sélection, pour tenter d'identifier des méthodes transversales qui auraient pu nous échapper.

2.2 Les méthodes de collecte en temps réel

Pour commencer à compléter notre cadre de réponse, cette partie s'intéresse à l'étape de collecte des données, en bleu sur la Figure 2.2. Pour cette étape, l'objectif est d'éviter toute implication des décideurs lors de la collecte des données sur une crise en cours. Pour ce faire, le module *Collecte* a accès à des sources de données jugées fiables en phase de préparation (hypothèse 1) et qui mettent à disposition des données écrites sous un format unique, connu (hypothèse 3).

2.2.1 Les types de collecte

Selon Perera et al. (2014), les méthodes qui permettent, à distance, de récupérer des données appartiennent à deux familles distinctes :

- les méthodes qui interrogent, sur demande, une ou plusieurs bases de données via l'utilisation de requêtes écrites dans des langages dédiés.
- les méthodes qui souscrivent une fois à un abonnement particulier et reçoivent automatiquement les événements émis sous cet abonnement, quel que soit leur envoyeur.

La première méthode pourrait amener le système d'information à passer à côté de données critiques, rendues disponibles entre deux requêtes (Perera et al., 2014). A contrario, la seconde méthode est capable, selon Fabret et al. (2001), de gérer des centaines d'évènements par seconde. Celle-ci serait donc plus adaptée à la phase de réponse, où la dynamique de la crise contraint le temps disponibles pour les prises de décisions, et où chaque information peut jouer un rôle critique.

Les *Évènements* sont des objets informatiques (Luckham et Frasca, 1998), des données, *représentant* un événement réel, passé, en cours, prédit ou simulé. Ils doivent être constitués d'un identifiant, d'une date (d'émission, de réception ou d'observation) et d'une description. Ils peuvent aussi être géo-localisés. Les événements informatiques représentent des événements tels que la mesure de température issue d'un capteur, une alerte émise suite au dépassement d'un seuil

de mesure de radioactivité, ou encore la mise à disposition d'un rapport sur un serveur.

2.2.2 Les méthodes de collecte dans la littérature

Suite aux abonnements de notre système d'information à diverses sources de données, des flux d'évènements peuvent être reçus de façon quasi-continue. Pour cette raison, l'objectif est de *détecter* des évènements de valeur, et non pas de collecter tous les évènements disponibles. Pour rappel, le système d'information a accès à des évènements émis au sein de l'Internet des personnes, de l'Internet des objets, de l'Internet des contenus et de l'Internet des lieux (cf. section 1.3.4).

Pour classifier les principales méthodes de détection utilisées aujourd'hui, nous avons interrogé la base documentaire *Web of Science* avec la première des requêtes décrites sur la Figure 2.3 : « (detect (event* OR data OR information) AND ("social media" OR microblog* OR "internet of things" OR "volunteered geographic information") AND real-time) ». Seuls les articles catégorisés sous la dénomination « Computer Science Information System » ont été retenus. En tout, 38 publications ont été obtenues, puis étudiées. Les résultats les plus pertinents sont résumés dans le Tableau 2.1.

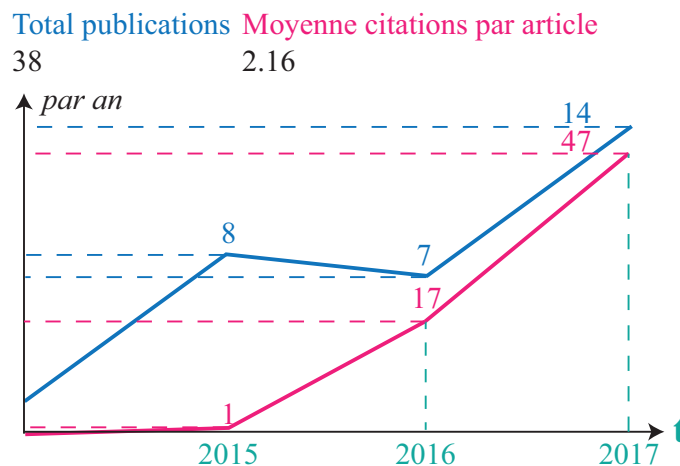


FIGURE 2.4 – Résultats obtenus sur *Web of Science*, des *Articles* publiés après 2014 et sous la catégorie *Computer Science Information System*, à la requête : (detect (event* OR data OR information) AND ("social media" OR microblog* OR "internet of things" OR "volunteered geographic information") AND real-time)

La figure 2.4 présente l'évolution du nombre de publications répondant à notre requête sur la base *Web of Science*. La détection de nouveaux évènements semble gagner en popularité chaque année depuis 2014. Pour rappel, [Luckham et Frasca \(1998\)](#) souhaitait déjà mettre au point un système capable d'extraire de l'information à partir d'évènements informatiques.

2.2.3 La collecte de données en situation de crise

Le Tableau 2.1 présente les résultats de l'état de l'art présenté à la Figure 2.4. Au vu des résultats détaillés dans le tableau, nous proposons une classification

2. Les étapes de modélisation d'une situation de crise dans la littérature

Réf.	Défi posé	Solution proposée	Couverture ?
Hu et Ni (2018)	(b) Détecter un type d'objet précis sur une bande vidéo	Filtrer les images par fréquence d'énergie	1 type de sources, 1 type d'objets
Akbar et al. (2017, 2018)	(b) Ingérer et analyser en temps réel des événements et des données historiques	Un moteur d'interprétation basé sur des règles seuils, associé à des techniques d'apprentissage	X types de sources, (?) types d'objets
Rathore et al. (2017)	(a) \cap (c) Détecter des événements à partir des flux de données générés sur les réseaux sociaux	Le classement des messages selon leur lieu, leur date d'émission et leur contenu	1 type de sources, X types d'objets
Wang et al. (2017)	(b) \cap (c) Détecter des événements de trafic grâce à des données GPS et un réseau social	La détection de motifs via l'utilisation de tenseurs représentant le trafic	X types de sources, 1 type d'objets
Xu et al. (2016, 2017)	(a) \cap (c) Récupérer des messages sur un réseau social pour une crise donnée	Un métamodèle et une analyse sémantique du contenu par rapport au lieu d'émission	1 type de sources, 1 type d'objets
Laylavi et al. (2017); Hua et al. (2016)	(a) \cap (c) Récupérer des données sur un réseau social, pour une crise ou un domaine donné	Le calcul de proximité entre un message sélectionné et un ensemble de termes spécifiques	1 type de sources, 1 types d'objets
Mallah et al. (2015)Car-rino et al. (2016)	(b) \cap (c) Détecter des situations dangereuses durant un évènement précis grâce à des volontaires	Le classement des personnes par groupe et l'estimation de la pression exercée	1 type de sources, 1 type d'objets
Musaev et al. (2015)	(a,b) \cap (c) Détecter un type d'incident grâce aux données provenant des réseaux sociaux ou de capteurs	Classification des messages sélectionnés et calcul de la probabilité de l'incident par zone	X types de sources, 1 type d'objets
Sugitani et al. (2015)	(a) \cap (c) Détecter des événements terrain sur un réseaux social	Le calcul de proximité entre les mots clefs pour chaque message émis du même endroit, pour une fenêtre de temps donnée	1 type de sources, X types d'objets
Chen et al. (2014)	(b) Détecter une attaque	La classification des événements entrants suivie de la détection d'anomalie	1 type de données, 1 type d'objets

TABLE 2.1 – Résultats les plus pertinents de l'état de l'art sur les méthodes dédiées à la détection d'évènements en temps réel, en vue de décrire une situation courante, à partir des données provenant de (a) l'Internet des personnes, (b) l'Internet des objets ou (c) l'Internet des lieux

des méthodes de collecte en quatre catégories, selon les types de données qu'elles acceptent en entrée et les types d'évènements qu'elle cherchent à détecter :

- les méthodes $1 \text{ à } 1$, où un type particulier de données connues est analysé pour détecter des types d'anomalies (Hu et Ni, 2018; Chen et al., 2014), ou isoler des groupes de données qui présentent des caractéristiques particulières (Xu et al., 2017; Laylavi et al., 2017; Carrino et al., 2016);
- les méthodes $x \text{ à } 1$, où des données provenant de plusieurs sources sont analysées pour détecter un évènement en particulier, comme des bouchons (Wang et al., 2017), ou des glissements de terrain (Musaev et al., 2015);
- les méthodes $1 \text{ à } x$, où un type de données connues est analysé pour détecter plusieurs type d'évènements comme l'analyse de tweets permettant de détecter des tremblements de terre ou des incendies à l'échelle d'un pays (Rathore et al., 2017), ou n'importe quel type d'évènement au niveau local (Sugitani et al., 2015).
- les méthodes $x \text{ à } x$, où des données, provenant de plusieurs sources, sont analysées pour détecter plusieurs types d'évènements.

En situation de crise, le système d'information recherché devra détecter en temps réel les conséquences de la crise en cours, les enjeux menacés ou touchés, ou encore les moyens à dispositions des cellules de crise. Il faut donc au minimum une méthode de collecte de type (1 à x). Mais, pour pouvoir suivre la dynamique (vélocité des données et informations) et les différents types de conséquences dues à la crise (variété des informations), une méthode de type (x à x) est indispensable.

2.3 Les méthodes pour structurer les informations disponibles

Pour continuer à compléter notre cadre de réponse, cette partie s'intéresse à l'étape de structuration des informations, en orange sur la Figure 2.2. Pour cette étape, l'objectif est de définir des concepts et de généraliser des relations liant tout ou partie des informations utilisables en cellule de crise. Comme proposé par Bourey et al. (2006), cette étape permettra surtout de résoudre les problèmes d'interopérabilité entre les systèmes d'information des parties-prenantes à la crise et entre les services composant notre système informatique.

2.3.1 Les types de structures

Deux types de structures prédominent lorsqu'elles sont utilisées par des systèmes d'information :

- le *métamodèle* présentant des concepts et un vocabulaire nécessaire à la modélisation cohérente d'un ensemble de situations pour un point de vue donné (Bézivin, 2005). Il peut lui-même être décrit selon un ensemble de concepts pré-définis alors appelé *métamétamodèle* (Karagiannis et Kühn, 2002);
- les *ontologies* construites dans le but de faciliter la réutilisation et le partage d'information (Uschold et Gruninger, 1996; Gómez-Pérez,

2. Les étapes de modélisation d'une situation de crise dans la littérature

2001), grâce à un ensemble de concepts, pour une partie du monde et un point de vue donnés. Dans cette catégorie, on retrouve souvent les taxonomies construites pour nommer des concepts similaires et les organiser entre eux, comme, par exemple, la taxonomie exhaustive des primates vivants (Groves, 2001).

Ces définitions héritent toutes les deux des recommandations écrites par (Gruber, 1995) sous le terme d'ontologie, pour encadrer un processus de conceptualisation. Elles sont similaires par leur conception, mais poursuivent des objectifs différents : (i) l'instanciation ou (ii) le rapprochement de concepts pré-définis.

De son côté, Karagiannis et Kühn (2002) se réfère à trois niveaux de modélisation précis : le métamodèle de (niveau 3) qui définit les concepts utilisés par ses métamodèles de (niveau 2) qui définissent eux-même les concepts destinés à être instanciés pour modéliser une situation particulière (niveau 1). Bézivin (2005) propose même d'utiliser un standard mis au point en 1997 par l'Object Management Group (OMG) pour unifier le niveau 3 de méta-modélisation : le Meta-Object Facility (MOF).

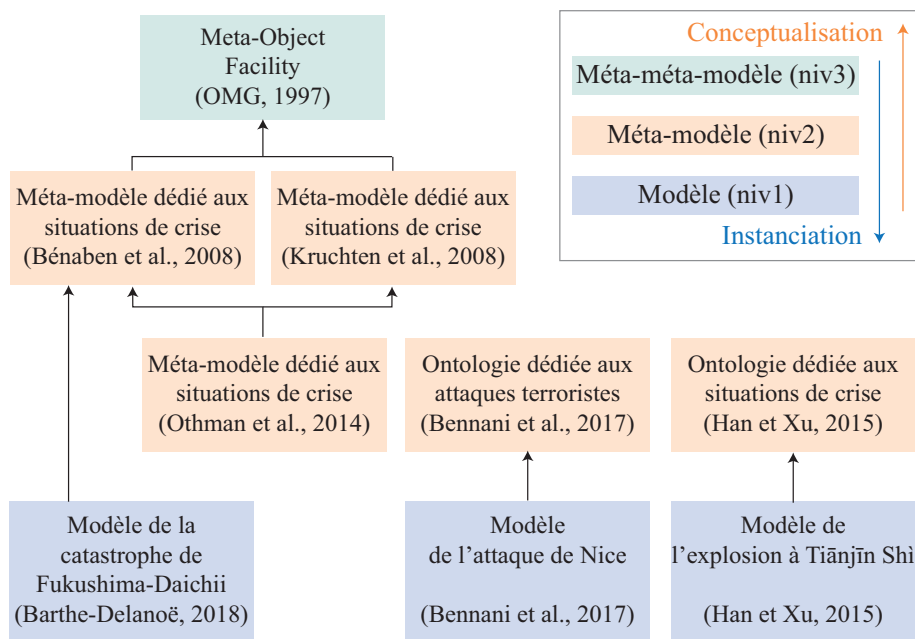


FIGURE 2.5 – Illustration du principe de méta-modélisation, inspiré de Karagiannis et Kühn (2002); Djurić et al. (2005) et illustré par les travaux de Othman et al. (2014); Costa et al. (2012); Han et Xu (2015); Barthe-Delanoë et al. (2018) et Bennani et al. (2017)

La Figure 2.5 illustre le fonctionnement et l'utilisation de ces trois niveaux de modélisation à partir d'exemples tirés des travaux en interne de notre laboratoire utilisés par exemple pour modéliser la crise nucléaire de Fukushima-Daiichi (Barthe-Delanoë et al., 2018), ou de travaux concurrents, comme ceux de :

- Othman et al. (2014) s'inspirent du métamodèle utilisé dans notre laboratoire et ajoutent quelques concepts tirés des travaux de Kruchten et al. (2008);

- [Bennani et al. \(2017\)](#) proposent une ontologie construite à partir de cas passés et dédiée à la réponse à des attaques terroristes ;
- [Han et Xu \(2015\)](#) proposent une ontologie formée de types d'évènements et de types de tâches adaptées pour y répondre. L'ontologie est utilisée pour suivre la crise qui suivit l'explosion d'un entrepôt de produit chimique à Tiānjīn Shì (Chine).

Tous les modèles de niveau 2 ne se rapportent pas systématiquement à un modèle de niveau 3.

2.3.2 Les méthodes pour structurer des informations dans la littérature

Pour structurer les informations décrivant tout ou partie de la situation de crise, seuls les métamodèles ou les ontologies de niveau 2, représentés en orange sur la Figure 2.5, nous intéressent. Pour identifier ceux dédiés à décrire des catastrophes naturelles, nous avons interrogé la base documentaires [Web of Science](#) avec la deuxième des requêtes décrites sur la Figure 2.3 : « ((ontology OR ontologies OR meta-model* OR metamodel*) AND ("natural disaster" OR "natural disasters")) ». Seuls les articles catégorisés sous la dénomination « Computer Science » ont été retenus. En tout, 20 publications ont été obtenues, puis étudiées. Les résultats les plus pertinents sont résumés dans le Tableau 2.2.

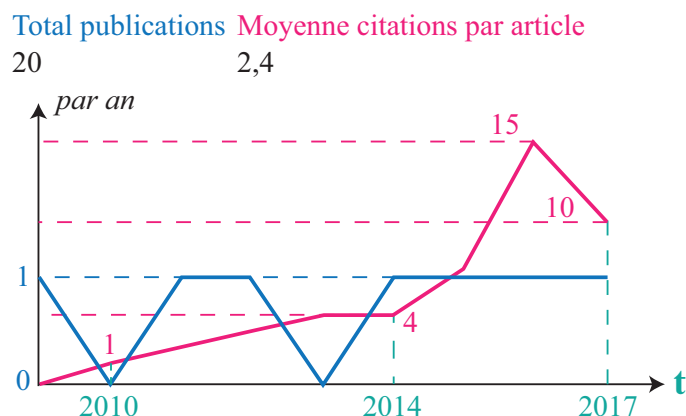


FIGURE 2.6 – Résultats obtenus, le 23 mai 2018, sur [Web of Science](#), sur la base des résultats des *Articles* publiés après 2008 et sous la catégorie *Computer Science*, à la requête : ((ontology OR ontologies OR meta-model* OR metamodel*) AND ("natural disaster" OR "natural disasters"))

La figure 2.6 présente l'évolution du nombre d'articles répondant à notre requête sur la base Web of Science. Cette évolution est nuancée. Pourtant, selon l'étude présentée en Annexe C, le nombre d'articles et le nombre de citations, portant sur les structures d'informations liées à une situation de crise, augmentent régulièrement depuis 1992.

2.3.3 La structuration des informations en situation de crise

Pour répondre aux besoins d'information des décideurs en gestion de crise, la structure de référence recherchée devrait permettre aux décideurs de :

2. Les étapes de modélisation d'une situation de crise dans la littérature

Réf.	Complexité	Couverture	Niveau d'abstraction	Concepts principaux
Bennani et al. (2017)	Ontologie	Objectif, Partenaire	Domaine (attaque terroriste)	Attaque evaluation, Context, Cause, Solution
Benaben et al. (2017)	Métamodèle	Partenaire, Contexte, Objectif	Mixte (collaboration - crise)	Environment component, Opportunity/Threat, Partner, Capacity Planning engine, Event ontology, Task ontology
Han et Xu (2015)	Ontologie	Partenaire, Objectif	Général	Response organisation, Rescue, Exposure
Othman et al. (2014)	Métamodèle	Partenaire, Contexte, Objectif	Général (réponse aux crises)	Disaster event, Cell, Infrastructure element, Agent
Kruchten et al. (2008)	Métamodèle	Partenaire, Contexte, Objectif	Général (crise)	
Jung et Chung (2015)	Ontologie	Partenaire, Contexte	Mixte	Environment, Location, Equipment, Personal
Calcaterra et al. (2015)	Ontologie	Contexte, Objectifs	Général (crise)	Hazard, Sensor, Spatial object, Region
Yu et al. (2015)	Ontologie	Contexte, Objectif, Partenaire	Domaine (réseau électrique)	Environment, Responders, Physical system, Hazard, Risk, Safety measure
Iribarne et al. (2010)	Métamodèle	Partenaire	Général	Actor, Coreography, Task
Zschocke et al. (2010)	Métamodèle	Objectif, Partner	Général (crise)	Hazard, Risk, Vulnerability, Actor, Corrective risk management

TABLE 2.2 – Travaux illustrés sur la Figure 2.5 et résultats pertinents de l'état de l'art sur les métamodèles de niveau 2 dédiés à la représentation de situation de crise, et notamment les crises dues à des catastrophes naturelles

- raisonner. Pour ce faire, les concepts, et par extension les instances du modèle, doivent être *liées* les unes aux autres grâce à des relations prédéfinies ;
- améliorer efficacement leur conscience de la situation. Pour ce faire, les concepts doivent *couvrir* l'ensemble des informations utilisables pour soutenir les prises de décisions. Ces informations peuvent concerner les partenaires de la collaboration de crise, leurs objectifs ou les caractéristiques du théâtre de crise ;
- suivre et réagir aux effets en cascade dus à la crise en cours. Pour ce faire, les concepts proposés doivent pouvoir se *spécifier* selon la nature changeante et imprévisible de la crise.

Tous les résultats présentés dans le Tableau 2.2, issus de l'état de l'art ou de la Figure 2.5, ont été évalués selon ces trois critères. Au vue de ces résultats, nous proposons deux catégories distinctes pour évaluer les structures existantes selon leur complexité :

- les métamodèles qui permettent de définir des relations complexes entre concepts, comme par exemple, « un risque, généré par un danger, impacte un ou plusieurs enjeux » (cf. Figure 1.3). Cette catégorie concerne les travaux de Benaben et al. (2017); Othman et al. (2014); Kruchten et al. (2008); Iribarne et al. (2010) et Zschocke et al. (2010).
- les métamodèles, que nous nommeront ontologies ici, qui sont mis au point pour définir et fixer des termes dans un domaine métier donné.

Puis trois catégories différentes selon leur couverture des informations portant sur une situation de crise :

- les *généralistes* qui concernent les objectifs de la collaboration, le contexte de crise et les partenaires impliqués dans la réponse à la crise. Nous retrouvons ici les travaux de Benaben et al. (2017); Othman et al. (2014); Kruchten et al. (2008) et Yu et al. (2015).
- les *intermédiaires*, qui concernent au moins deux de ces catégories ;
- les *spécialistes* qui conceptualisent les informations d'une seule de ces catégories, comme les travaux de Iribarne et al. (2010).

Enfin, trois catégories différentes selon le niveau d'abstraction travaillé :

- *général*, lorsque tous les types de crises peuvent être représentés par la structure proposée ;
- par *domaine*, lorsque les concepts proposés sont spécifiques à un type de crise, comme chez Bennani et al. (2017) ou Yu et al. (2015).
- *mixte*, lorsque la structure permet de décrire une crise selon plusieurs niveaux d'abstraction comme chez Benaben et al. (2017) et Jung et Chung (2015).

Dans notre contexte de crise, une seule structure de référence permet de répondre à nos trois critères : la structure proposée par Bénaben (2012) qui est complexe, généraliste et mixte.

2.4 Les méthodes pour interpréter les données collectées

Pour continuer à compléter notre cadre de réponse, cette partie s'intéresse à l'étape d'interprétation, en orange sur la Figure 2.2. Pour cette étape, l'objectif est de permettre au système d'information de se représenter l'environnement de crise courant de façon à générer des informations utilisables par les décideurs en cellule de crise. Pour ce faire, il doit modéliser la situation de crise selon le métamodèle choisi à la section 2.3.

2.4.1 Les types d'interprétation

Pour générer de l'information, le module d'interprétation peut faire appel, selon nous, à deux types de méthodes :

- les méthodes de *création* (c) qui permettent, à partir de données, d'instancier un métamodèle pour obtenir un modèle de la situation de crise ;
- les méthodes d'*amélioration* (a) qui permettent, à partir du modèle de situation, d'ajouter des instances ou de lier les instances entre-elles.

Ces deux types de méthodes participent au fonctionnement du système d'information recherché qui doit être capable de (i) créer le modèle d'une situation de crise à partir de données brutes, de (ii) le compléter en inférant de nouvelles informations de manière à couvrir l'ensemble des informations utiles aux décideurs, et (iii) de tenir à jour le modèle obtenu. Pour ce faire, ces deux méthodes utilisent l'une des techniques listées par [Perera et al. \(2014\)](#) :

- des techniques d'apprentissage, dont :
 - (c) l'*apprentissage supervisé* où un système met au point une fonction capable de catégoriser de nouvelles entrées, sur la base d'exemples fournis par des experts ;
 - (c) l'*apprentissage non supervisé* qui cherche à identifier des structures au sein d'un ensemble de données non expertisées.
- des règles, dont :
 - (c,a) les *règles conditionnelles* de type *Si, Alors, Sinon* utilisées pour raisonner sur un modèle de situation existant, pour détecter des événements plus ou moins complexes, ou pour annoter des données entrantes et les associer à des classes existantes ;
 - (a) les *règles d'inférences* utilisées sur des modèles de situation existants pour inférer de nouvelles informations sur la base des anciennes.
- l'un des principes formant :
 - (c,a) la *logique probabiliste* qui utilise les probabilités pour combiner des données, identifier des solutions, ou comprendre l'origine de certains événements ;
 - la *logique floue* où des affirmations plus nuancées que la dichotomie vrai/faux sont utilisées. Elle peut être utilisée en supplément d'une des méthodes ci-dessus.

La logique floue ne sera pas étudiée dans ce manuscrit : elle pourra toujours permettre, dans un second temps, d'améliorer la ou les méthodes qui seront choisies pour compléter le système d'information recherché.

2.4.2 Les méthodes d'interprétation dans la littérature

Pour classifier les principales méthodes d'interprétation utilisées aujourd'hui, nous avons interrogé la base documentaires **Web of Science** avec la dernière des requêtes décrites sur la Figure 2.3 : « (event* AND awareness AND (model* OR ontolog*) AND decision*) ». Seuls les articles catégorisés sous la dénomination « Computer Science » ont été retenus. En tout, 13 publications ont été obtenues, puis étudiées. Les résultats les plus pertinents sont résumés dans le Tableau 2.1.

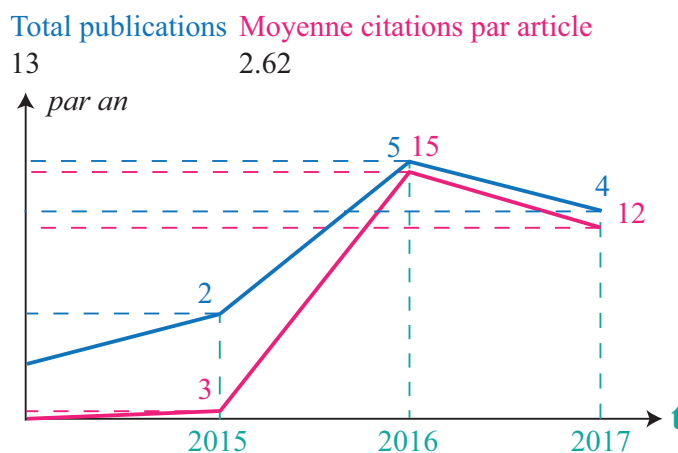


FIGURE 2.7 – Résultats obtenus, le 23 mai 2018, sur **Web of Science**, sur la base des *Articles* publiés après 2014 et sous la catégorie *Computer Science*, à la requête : (event* AND awareness AND (model* OR ontolog*) AND decision*)

La Figure 2.7 présente l'évolution du nombre de publications, répondant à notre requête sur la base Web of Science. Cette évolution est nuancée mais le faible nombre de publications observées ne permet pas de généraliser ces observations. Nous pouvons simplement noter que les premières publications coïncident avec (i) les premières utilisations des publications obtenues à la section 2.2 pour la détection d'évènements et (ii) à l'augmentation du nombre de publications parues sur la modélisation de situation de crise (cf. Annexe C).

2.4.3 L'interprétation de données en situation de crise

Le Tableau 2.3 présente les résultats de l'état de l'art présenté à la Figure 2.7. Nous proposons d'évaluer les types d'interprétation (cf. section 2.4.1), selon leur capacité à gérer les 4Vs du Big data lors de leur utilisation dans les travaux présentés. Ici, seules les problématiques liées à la véracité, au volume et à la vitesse sont prises en compte : la variété des données est éliminée par notre hypothèse 3 et la variété des informations est éliminée grâce à la mise en place d'un métamodèle.

La Figure 2.8 reprends les résultats présentés sur le tableau 2.3, regroupés selon leur utilisation des méthodes d'apprentissage, des règles conditionnelles, des règles

2. Les étapes de modélisation d'une situation de crise dans la littérature

Réf.	Type	Objet de recherche	Solution proposée	4Vs ?
Akbar et al. (2018)	(c) RC (a) P	Analyser en temps réel les données provenant de l'Internet des objets	Un moteur d'interprétation et des réseaux bayésiens pour informatiser les incertitudes	vitesse véra- cité
Taleb et al. (2018)	(c) RC, A	Optimiser le taux d'utilisation des données récoltées par le système, en activant/désactivant le module de collection	Des fenêtres de temps activées par des règles, basées sur un modèle de la situation courante	volume vélo- cité
Botega et al. (2017)	(a) RI	Évaluer la pertinence et la véracité des informations disponibles	Une analyse sémantique des informations textuelles disponibles	volume véra- cité
Pai et al. (2017)	(a) RI, RC	Déduire automatiquement de nouvelles informations sur la base des anciennes	Une ontologie adaptée à la situation, une analyse sémantique et un raisonnement à base de règles	variété
Basu et al. (2016)	(c,a) RC	Agréger des données provenant d'un grand nombre de capteurs de même nature	Un métamodèle et des règles pour détecter, puis agréger des événements selon une fenêtre de temps	vitesse variété
Jefferson et Johannes (2016)	(a) P	Modéliser une situation de crise alors que la collecte des données est incomplète	Des scénarios générés à partir de données incomplètes puis évaluer selon leur probabilité	vitesse
Soeanu et al. (2016)	(a) P	Adresser les flux d'instructions et d'informations au bon niveau hiérarchique	Une fenêtre de temps et la formalisation du processus de communication	volume
Wen et al. (2015)	(a) A	Reconnaître des activités dans un réseau de capteur donné	Des règles d'association entre un motif et une activité pour reconnaître les activités en cours	vitesse
Aloulou et al. (2015)	(a) RC	Améliorer la véracité des informations manipulées en intégrant les incertitudes liées aux capteurs	Une classe dédiée aux incertitudes (cf. métamodèle) et la propagation des incertitudes lors de l'interprétation des données	véracité

TABLE 2.3 – Résultats les plus pertinents de l'état de l'art sur les méthodes dédiées à (c) la création d'informations ou (a) l'amélioration d'un modèle de situation existant. Les solutions reposent sur des méthodes d'apprentissage (A), des règles conditionnelles (RC), de règles d'inférence ou sémantiques (RI) ou la logique probabiliste (P)

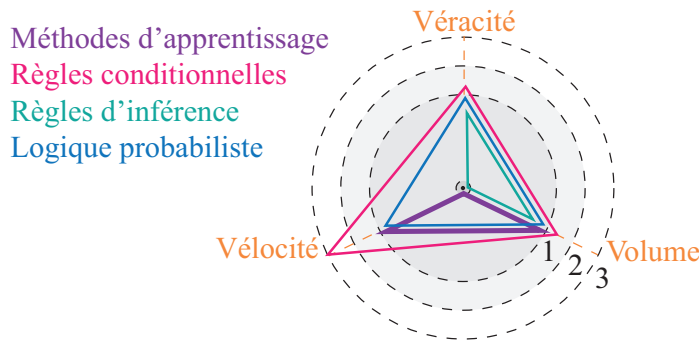


FIGURE 2.8 – Nombre de travaux, par type, de notre état de l’art proposant de traiter un des 4Vs (hors variété)

d’inférence ou de la logique probabiliste. Chaque groupe comptabilise ensuite le nombre de fois où la véracité, le volume ou la vélocité des informations a pu être contrôlée. D’après nos résultats, l’utilisation de règles permettrait, comme la logique probabiliste de contrer trois des 4Vs du Big Data :

- les règles conditionnelles ou d’inférence peuvent interpréter des événements en temps réel (Akbar et al., 2018; Taleb et al., 2018; Basu et al., 2016), en vue d’obtenir des informations sur la situation de crise en cours, en tenant compte des incertitudes (Aloulou et al., 2015);
- la logique probabiliste permet d’améliorer la véracité du modèle obtenu Akbar et al. (2018), déduire de nouvelles informations (Pai et al., 2017; Jefferson et Johannes, 2016) ou optimiser le taux d’utilisation des informations composant la COP (Soeanu et al., 2016).

Méthode unitaire	(c)	(a)	Types d’évènements en entrée	Types d’informations en sortie
Apprentissage supervisé	•		x	1
Apprentissage non supervisé	•		x	1
Règles conditionnelles	•	•	x	x
Règles d’inférence		•	x	x
Logique probabiliste	•	•	x	1

TABLE 2.4 – Résumé des techniques d’interprétations utilisées dans la littérature, qu’elle soit dédiée à la création (c) d’informations ou à l’amélioration (a) d’un modèle existant, à partir de 0, 1 ou (x) types de données pour instancier 0, 1 ou (x) types de concepts

Le Tableau 2.4 illustre les caractéristiques des méthodes d’interprétation trouvées dans nos différents états de l’art. Les avantages et inconvénients de toutes ces méthodes ont été listés par Perera et al. (2014). Nous retiendrons qu’aucun des travaux retrouvés ici ne propose d’utiliser la logique probabiliste pour *créer* de l’information à partir de données. Ce qui peut s’expliquer par le caractère imprévisible des crises compliquant l’utilisation de cas passés : les règles probabilistes sont utilisables seulement lorsque les probabilités sont connues.

Les résultats présentés sur la Figure 2.8 et le Tableau 2.4 nous pousse donc à rechercher une méthode d’interprétation utilisant des règles conditionnelles ou des règles d’inférence. Ces règles devront être rédigées à la main, pendant la phase de préparation, avant l’évènement majeur, et être validées par des experts métiers, habitués aux situations de crise.

2.5 Les solutions transversales

Pour finir, cette section tente d'identifier des méthodes transversales aux autres méthodes composant notre cadre de réponse (cf. Figure 2.2). Pour rappel, les sections précédentes nous ont permis de caractériser le système d'information recherché, pour qu'il soit adapté aux situations de crise. Il doit comprendre :

- une méthode de collecte de type (x à x) (cf. section 2.2) ;
- un métamodèle permettant (i) d'établir des relations complexes entre concepts (*complexe*), (ii) de décrire tous les aspects d'une situation de crise (*généraliste*) et (iii) de définir des concepts par type de crise ou pour tout type de crise (*configurable*) ;
- une méthode d'interprétation utilisant des règles conditionnelles ou des règles d'inférence.

2.5.1 Les méthodes transversales dans la littérature

Trois requêtes ont été utilisées pour identifier des méthodes transversales à nos besoins (cf. Figure 2.3). Elles combinent ensemble les trois requêtes utilisées aux sections 2.2, 2.3 et 2.4, et elles concernent des travaux publiés depuis dix ans par des journaux ou par certaines conférences. Les résultats sont représentés sur la Figure 2.9 et les plus pertinents, différents de ceux présentés aux états de l'art précédents, sont décrits dans le Tableau 2.5.




La Figure 2.9 présente l'évolution du nombre de publications répondant à nos trois requêtes sur la base Web of Science. Les outils, permettant de détecter des événements pour les interpréter en informations et améliorer la conscience de la situation de l'utilisateur, semblent très recherchés depuis 2013 : le nombre de citations par article paru ne cesse d'augmenter. L'évolution de cette courbe, en orange, est similaire aux évolutions du nombre d'articles portant sur la conscience d'une situation de plus en plus cités depuis 2013¹. La courbe violette est, quant à elle, révélatrice du peu de publications essayant, comme nous le proposons, d'améliorer la conscience de la situation d'un agent (logiciel ou humain) à partir d'un ensemble d'informations structuré sous forme de modèle.

2.5.2 Les solutions transversales en situation de crise

Le Tableau 2.5 présente les résultats de l'état de l'art présenté à la Figure 2.9. Au vu des résultats, nous proposons d'évaluer les 72 publications obtenues selon leur capacité à couvrir nos trois besoins.

Pour commencer, nous cherchons une méthode de collecte de type (x à x) pour caractériser une situation dans son ensemble et non pas une sous-partie caractérisée par un seul objet d'intérêt comme un bâtiment (Brizzi et al., 2016), un patient (Gómez et al., 2016) ou une pièce (Evchina et Lastra, 2016). Aucun des travaux présentés (cf. Tableau 2.5) ne permet de récolter x types de données pour en déduire x types d'informations. Par contre, il est envisageable de combiner des

1. En 2013, Web of Science comptait 3265 citations des 4181 articles parus depuis 2008 pour la requête ("context awareness" OR "contextual awareness" OR "situation awareness" OR "situational awareness"). En 2017, Web of Science comptait 10607 citations des 8795 parus depuis 2008.

Collecte et interprétation	Total publications	Moyenne citations par article	
	34	5.79	
Interprétation et structure	Total publications	Moyenne citations par article	
	33	1.97	
Collecte, interprétation et structure	Total publications	Moyenne citations par article	
	5	2.2	

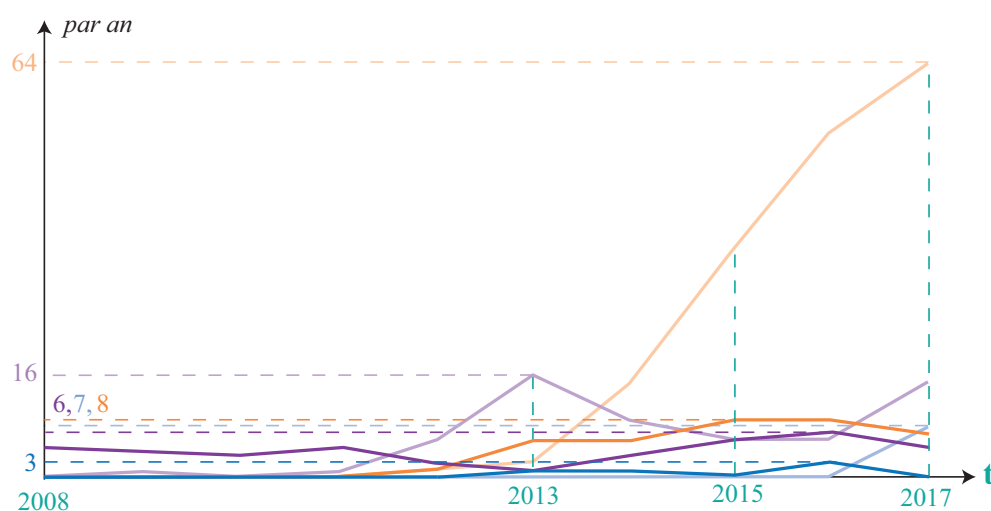


FIGURE 2.9 – Résultats obtenus, le 12 juin 2018, sur [Web of Science](#), sur la base des articles de journaux ou de conférences publiés après 2008 et sous la catégorie *Computer Science*, aux requêtes : *(("social media" OR microblog* OR "internet of things" OR "volunteered geographic information") AND real-time AND ("context awareness" OR "contextual awareness" OR "situation awareness" OR "situational awareness") AND information AND (data OR event)); (event* AND awareness AND information AND (ontology OR ontologies OR meta-model* OR metamodel*)); et (("social media" OR microblog* OR "internet of things" OR "volunteered geographic information") AND real-time AND awareness AND information AND (ontology OR ontologies OR meta-model* OR metamodel*))*

2. Les étapes de modélisation d'une situation de crise dans la littérature

Réf.	Quoi ?	Collecte ?	Interprétation ?	Structure ?
Alam et al. (2018)	Catégoriser les images des réseaux sociaux	(1 à x)	(c) Apprentissage par classifieurs personnalisables	Classification
Le Sceller et al. (2017)	Détecter les cyberattaques via Twitter	(1 à x)	(c) Apprentissage par clusters sémantiques, puis géographiques	Taxonomie générale et par type de cyber-attaque.
Lechner et al. (2017)	Détecter des événements sur une chaîne de production	(1 à x)	(c) Règles conditionnelles	Typologie des événements à détecter
Kim et al. (2016)	Détecter les risques sur une chaîne du froid, via la RFID	(1 à x)	(c+a) Règles d'inférence et un agent EPA	Ontologie pour une partie des informations
Evchina et Lastra (2016)	Interpréter les flux de données d'un système de surveillance	(? à 1)	(c+a) Règles d'inférence et moteur CEP	Métamodèle autour d'un lieu (pièce) à identifier
Andrews et al. (2016)	Identifier des groupes de tweets	(1 à x)	(c+a) Règles et Agrégation par attributs similaires	Taxonomie par type de crise et d'incident
Kabir et al. (2016)	Modéliser une situation d'après l'agenda d'un utilisateur	Absente	(a) Règles d'inférence	Ontologie des types d'activité et de période
Gómez et al. (2016)	Surveiller à distance l'état d'un patient	(x à 1)	(c) Règles seuils pour générer des alertes	Ontologie par type d'utilisateur
Brizzi et al. (2016)	Modéliser une ville et ses réseaux d'énergie	(x à ?)	Manuelle via un tableau de bord	Métamodèle autour d'un bâtiment
Steed et al. (2015)	Aider la détection des tendances sur les réseaux sociaux	(1 à x)	(c) Apprentissage grâce à un classifieur	Classification de 3 types d'émotion
Lee et al. (2014); Lee (2012)	Identifier des événements sur les réseaux sociaux	(1 à x)	(c) Apprentissage par clusters géographiques et équations mathématiques	Aucune structure de référence

TABLE 2.5 – Résultats les plus pertinents de l'état de l'art sur les méthodes dédiées à la fois à la collecte de données et à leur interprétation (création (c) ou amélioration (a)) en un ensemble d'information modélisant une situation donnée

méthodes (1 à x) comme celles proposées par [Alam et al. \(2018\)](#); [Le Sceller et al. \(2017\)](#); [Lechner et al. \(2017\)](#); [Kim et al. \(2016\)](#); [Andrews et al. \(2016\)](#); [Steed et al. \(2015\)](#) ou [Lee et al. \(2014\)](#) pour décrire l'ensemble d'une situation observée.

Deuxièmement, nous cherchons un métamodèle complexe, généraliste et configurable. Ici, le métamodèle le plus généraliste est proposé par [Kim et al. \(2016\)](#) qui cherchent à couvrir tous les aspects d'une chaîne du froid, mais il ne semble ni complexe, ni configurable. Un métamodèle configurable est proposé par [Evchina et Lastra \(2016\)](#) : il peut s'adapter au type de capteurs ou au type de pièces à représenter, par contre, il n'est pas complexe. Les seuls travaux présentés ici qui ont cherché à définir des relations complexes entre concepts sont présentés par [Brizzi et al. \(2016\)](#), mais leur métamodèle n'est ni généraliste, ni configurable.

Pour finir, nous cherchions une méthode d'interprétation capable de gérer la vélocité, le volume et la véracité des données brutes récoltées :

- seuls les travaux d'[Evchina et Lastra \(2016\)](#) semblent ici capable de suivre la *vélocité* des données entrantes : selon lui, l'utilisation d'un moteur CEP permet un temps d'interprétation, à l'étape de création (cf. section 2.4), de l'ordre de la seconde. Il a ainsi connecté plus de 10 000 capteurs à son système et il est parvenu à suivre un rythme de 1000 mises à jour par seconde.
- le *volume* et la valeur des informations obtenues sont principalement contrôlés par l'utilisation d'une structure de référence aboutie, comme chez [Kim et al. \(2016\)](#); [Evchina et Lastra \(2016\)](#) ou [Brizzi et al. \(2016\)](#). Les travaux utilisant des méthodes de collecte (x à 1) ou (x à x), plus sujet à des volumes de données importants, utilisent quant à eux un ensemble de règles fini, comme c'est le cas chez ([Gómez et al., 2016](#)).
- la recherche d'une meilleure véracité des informations obtenues est, quant à elle, au centre des méthodes basées sur de l'apprentissage, comme chez [Alam et al. \(2018\)](#); [Le Sceller et al. \(2017\)](#); [Steed et al. \(2015\)](#) ou [Lee et al. \(2014\)](#).

En résumé, parmi ces 72 travaux, seuls les travaux présentés respectivement par [Kim et al. \(2016\)](#), et [Akbar et al. \(2018\)](#) proposent une méthode hybride. Les premiers sont capables d'interpréter des informations de manière structurées et les seconds sont capables de collecter des données et de les interpréter grâce à une même technologie.

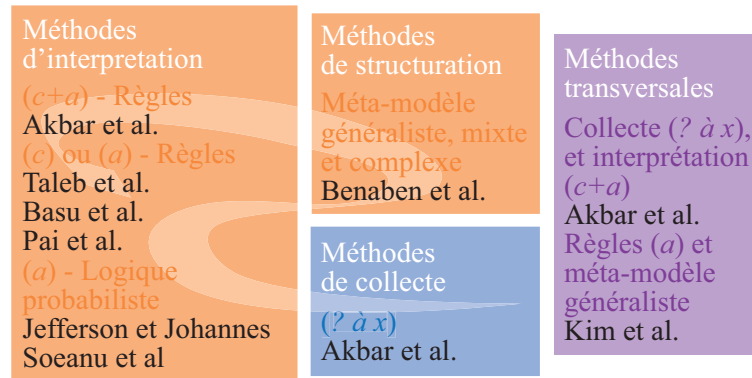
2.6 Récapitulatif des méthodes identifiées

Nous cherchions un système d'information capable d'alimenter en informations le niveau 2 de conscience des décideurs en cellule de crise.

La Figure 2.10 présente les travaux identifiés dans ce chapitre, aux différentes étapes de travail présentées sur la Figure 2.1. Les méthodes retenues permettent tour à tour de (i) détecter des évènements pour décrire multiples aspects d'une situation donnée ([Akbar et al., 2018](#)) (ii) d'interpréter des évènements pour créer de l'information ou améliorer un ensemble d'information existant ([Akbar et al., 2018](#); [Taleb et al., 2018](#); [Basu et al., 2016](#); [Pai et al., 2017](#); [Jefferson et Johannes,](#)

2. Les étapes de modélisation d'une situation de crise dans la littérature

Les méthodes identifiées, certaines transversales, adaptées à notre contexte de gestion de crise, soumis aux 4Vs du Big data



Abbréviations: (? à x) collecte d'un ou plusieurs types de données décrivant plusieurs types d'objets, (c) méthode de création d'instances, (a) méthodes d'amélioration d'un modèle existant.

FIGURE 2.10 – Réponse apportée au besoin d'informations des cellules de crise, nourrie par trois états de l'art et encadrée par quatre hypothèses de travail

2016; Soeanu et al., 2016), ou (iii) de structurer l'ensemble des informations disponibles grâce un un métamodèle généraliste, mixte et complexe (Benaben et al., 2017). Notre contribution se focalisera ici sur une méthode *transversale* capable de récupérer des données de différentes sources, pour générer, améliorer et mettre à jour en temps réel un modèle représentatif de la situation de crise. Dans ce cadre, la meilleure solution semble être de partir des méthodes utilisées par Akbar et al. (2018); Kim et al. (2016) et Benaben et al. (2017) :

- un moteur CEP, comme proposé par Kim et al. (2016) et Akbar et al. (2018) pour (i) récolter des événements selon une méthode de type (x à x) et (ii) utiliser des règles conditionnelles et des règles d'inférence efficaces pour contrer la *véracité*, la *vélocité* et le *volume* des données et informations manipulées ;
- un métamodèle hérité du métamodèle de Benaben et al. (2017) dédié aux collaborations de crise, configurable selon la nature de la crise pour structurer et formaliser l'ensemble des informations (*variées*) disponibles ;

Le chapitre 3 présente ainsi l'architecture proposée qui permettra de collecter et d'interpréter des données en un ensemble d'informations formalisées, dans un contexte de gestion de crise et de Big Data.

LES ÉTAPES DE MODÉLISATION D'UNE SITUATION DE CRISE PROPOSÉES

Intuition is the art, peculiar to the human mind, of working out the correct answer from data that is, in itself, incomplete or even, perhaps, misleading.

– Isaac Asimov, *Forward the Foundation*

Introduction

A la suite d'un évènement majeur, les décideurs doivent pouvoir suivre les évolutions de la crise grâce aux observations des parties-prenantes et aux informations circulant au sein de la collaboration. Ils souhaitent aujourd'hui accéder à une meilleure connaissance des risques, des vulnérabilités ou des procédures existantes. Pour les aider, et faciliter la collaboration de crise, les travaux présentés dans ce manuscrit vise à étudier, définir et implémenter un système d'information capable de :

- collecter en continu des données de l'Internet des évènements ;
- interpréter les données collectées en informations structurées sous forme de modèle de la situation de crise ;
- contrôler la véracité, le volume et la vélocité des informations communiquées aux décideurs en cellule de crise.

Les états de l'art présentés au chapitre 2 ont permis d'identifier des méthodes pour chacune de ces étapes, mais aucun ne proposait un outil transversal. Ce chapitre propose donc de mettre au point un système d'information pour modéliser les informations interprétées à partir des données disponibles aux cellules de crise. Le modèle obtenu pourra alors être (i) exploité par le projet Granularité des Niveaux de Pilotage (GéNéPi) (cf. section 1.4.2), ou le logiciel RIO-Suite (cf. Chapitre introductif), pour déduire un processus de réponse au profit de la collaboration de crise, ou (ii) utilisé directement en cellules de crise pour soutenir les prises de décisions. Il prendrait alors la forme d'une Common Operational Picture (COP).

La figure 3.1 illustre l'organisation de ce chapitre qui présente étape par étape l'architecture proposée. La Section 1 détaille le métamodèle qui structurera les informations disponibles, tout en s'adaptant aux évolutions de la crise en cours. La Section 2 présente les techniques utilisées pour collecter les données provenant

3. Les étapes de modélisation d'une situation de crise proposées

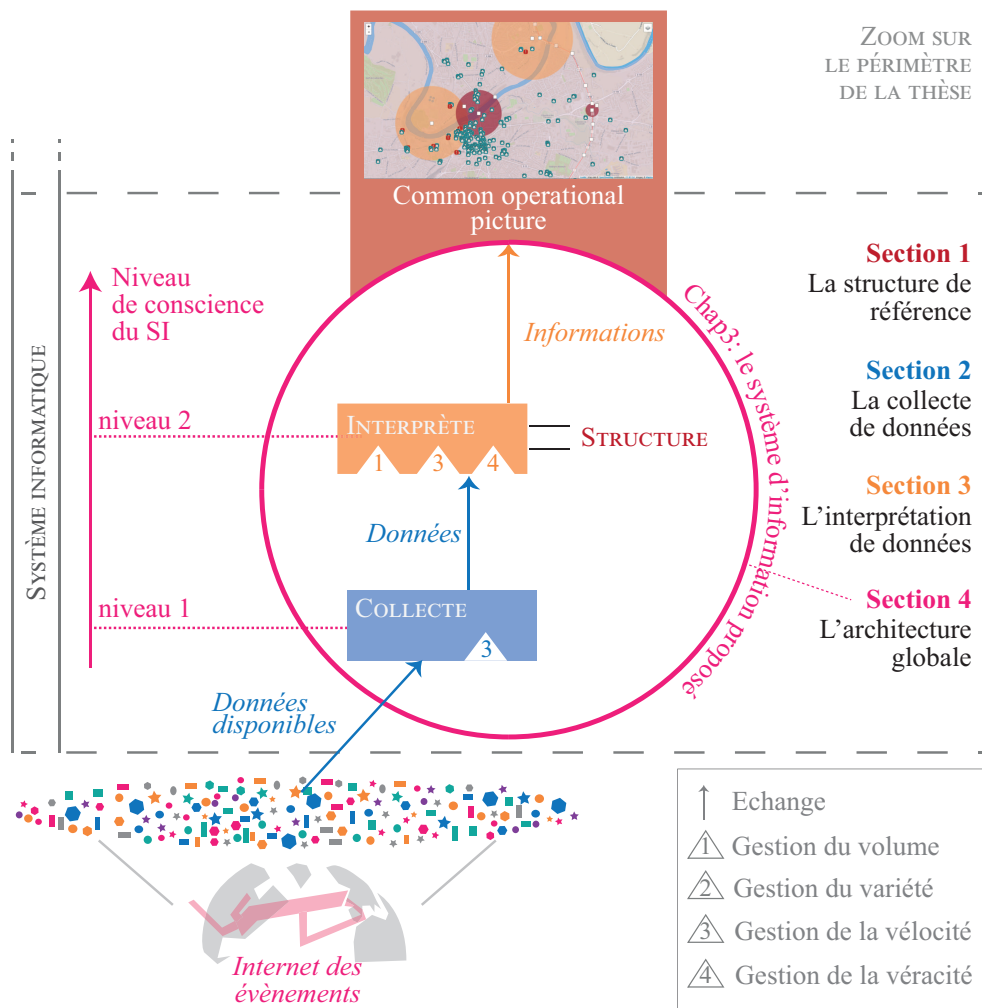


FIGURE 3.1 – Périmètre d'étude du chapitre 3

de l'Internet des événements, tout en gérant la vélocité de ses données. La Section 3 détaille comment le module d'interprétation transforme les données collectées en un modèle de situation fidèle à la situation de crise en cours, tout en gérant le volume, la vélocité et la véracité de ses informations. Enfin, la Section 4 présente l'architecture proposée, réunissant les fonctions de collecte, d'interprétation et de structuration détaillées dans les sections précédentes.

3.1 Un métamodèle configurable comme structure de référence

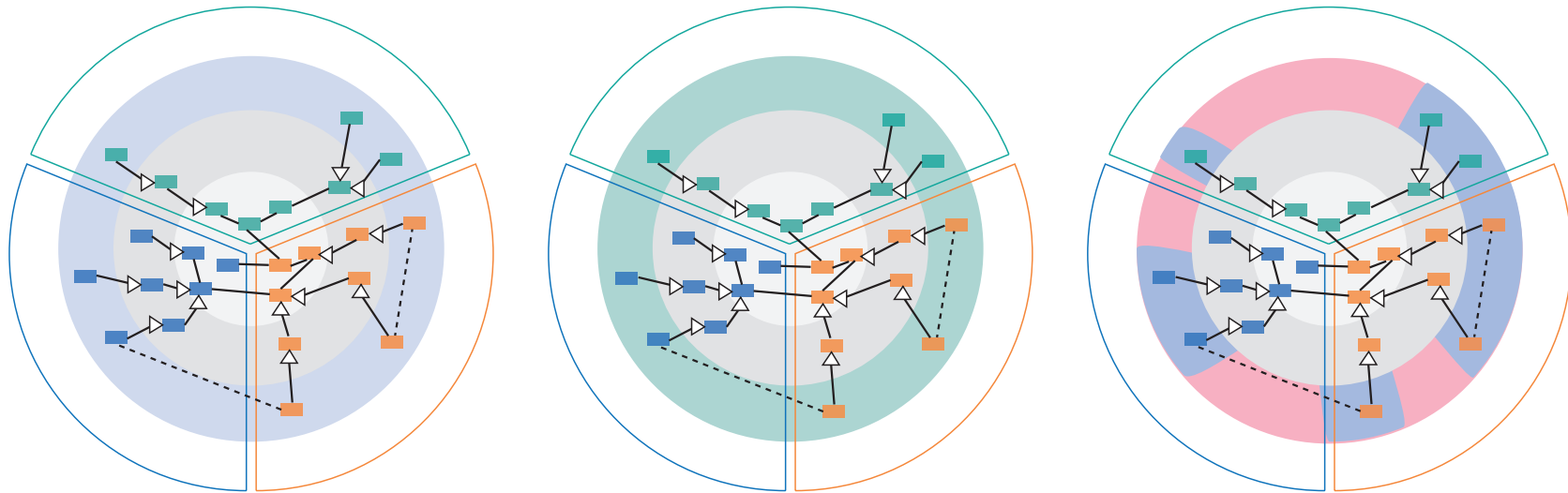
Pour commencer la conception du système d'information recherché, cette section s'intéresse à la définition d'un métamodèle complexe, généraliste et configurable (cf. section 2.5). Comme identifié à la section 2.6, le métamodèle le plus à même de répondre à nos besoins est le métamodèle proposé par Benaben et al. (2017).

Exemples de configurations
et exemples de crises associées

Crue de la Loire
(Fertier et al., 2017)

Crise routière du 8 décembre 2010
(Ramète et al. 2013)

Le tsunami et la catastrophe nucléaire
du 11 mars 2011



Partie fixe pour les
collaborations de crise:

Noyau: Coeur

Couche: Crise

Partie modulable pour les
collaborations de crise:

Couche: Crises nucléaires

Couche: Crises routières

Couche: Crues

■ Concepts liés au
Contexte de collaboration

■ Concepts liés aux
Objectifs de collaboration

■ Concepts liés aux
Partenaires de la collaboration

→ Lien d'héritage

— Relation entre
concepts

----- Relation existante
redéfinie

FIGURE 3.2 – Principe du métamodèle de niveau 2, configurable selon la(les) nature(s) de la crise en cours, proposé par Bénaben (2012)

3.1.1 La structure en couches

Le métamodèle choisi s'organise en couches, autour d'un noyau central appelé Cœur, dédié à la modélisation de collaborations d'organisations (Bénaben, 2012) :

- le *Cœur* englobe les concepts permettant de décrire tout type de collaboration.
- les *Couches thématiques* englobent des concepts spécifiques à un domaine métier. Chacun de ces concepts hérite (directement ou indirectement) d'un concept décrit dans le Cœur.

La Figure 3.2 présente cette structure, sélectionnée pour représenter tout type de *collaborations de crise*. Selon (Bénaben, 2012), tous les concepts peuvent être associés à trois groupes distincts, commun à toutes les couches du métamodèle :

- le *Contexte* pour décrire l'environnement de la collaboration ;
- les *Partenaires* pour décrire les partenaires de la collaboration ;
- les *Objectifs* pour décrire les objectifs de la collaboration.

Les concepts des couches thématiques peuvent être déclinés selon un type d'environnement particulier. Ainsi, une collaboration de crise peut se modéliser à partir des concepts dédiés à un type de danger comme les crues (cf. chapitre 4) ou les crises routières Macé-Ramète et al. (2012). Trois exemples d'utilisation de ces couches *externes* sont proposés sur la Figure 3.2 : (de gauche à droite) une crue simulée de la Loire, une crise routière et la catastrophe qui suivit le séisme de Tōhoku-chihō. Ce fonctionnement est similaire à l'organisation régissant la rédaction de plans d'urgence en France : officiellement, toutes les parties-prenantes se réfèrent à un seul plan, adapté à tout type de crise : le plan Organisation de la Réponse de Sécurité Civile (ORSEC). Ce plan générique est ensuite décliné par niveaux de granularité (zone de défense, préfecture ou mairie) et selon la nature des dangers menaçant les territoires concernés. Le plan ORSEC encadre par exemple le plan Canicule de la préfecture de Haute Garonne (Préfecture31, 2018) ou le plan ORSEC spécifique aux inondations (DGSCGC, 2016).

La structure en couches permet aussi, et surtout, de généraliser ou spécifier les mécanismes d'interprétation qui seront utilisés par le système d'information proposé dans ce chapitre. Les équations ci-dessous illustrent ainsi comment une règle d'interprétation de la couche Crise (cf. équation 3.1) peut être spécifiée à la couche « Crise routière » (cf. équation 3.3) (Mocé-Ramète, 2015) ou généralisée à la couche Cœur (cf. équation 3.2).

$$\text{Risque} = \text{Danger} * \text{Enjeu vulnérable} \quad (3.1)$$

$$\text{Opportunité/Menace} = \text{Caractéristique} * \text{Composant environnement} \quad (3.2)$$

$$\text{Risque ralentissement} = \text{Danger neige} * \text{Axe routier} \quad (3.3)$$

Ces 3 niveaux d'interprétation, un pour chaque couche utilisée dans le métamodèle de référence, peuvent ensuite s'appliquer quelque soit la situation collaborative à modéliser. Par exemple, l'équation (3.2) peut permettre d'utiliser l'équation (3.4) dans le monde du Wumpus (cf. Annexe D) et l'équation (3.5) peut être utilisée dans le cas d'une crue majeure, à la place de l'équation (3.1).

$$\text{Menace de mort} = \text{Caverne à monstre} * \text{Chasseur} \quad (3.4)$$

$$\text{Risque de submersion} = \text{Danger d'inondation} * \text{Zone urbanisée} \quad (3.5)$$

3.1.2 Le métamodèle Cœur pour représenter une situation collaborative

La Figure 3.3 présente les concepts du Cœur. Les modèles de situation qui seront issus de ce métamodèle décriront tous leur propre situation collaborative, à partir du même ensemble de concepts et du même ensemble de relations :

Une **Collaboration** est constituée de **Partenaires** souhaitant mettre à disposition certaines de leur **Capacités** pour poursuivre des **Objectifs** communs. Pour les atteindre, elle peut mettre en œuvre des **Activités** utilisant ses capacités et définissant ainsi son **Comportement**. Les **Caractéristiques**, particulières à leur environnement de collaboration, génèrent des **Opportunités** ou des **Menaces** qui peuvent se matérialiser sous forme d'**Évènements**, pouvant pousser la collaboration à redéfinir ses propres objectifs. La collaboration peut récupérer des données caractérisant certains **Éléments** de son environnement, et provenant de **Sources de données** à sa disposition. Elle peut aussi faire appel à des **Procédures** dédiées à répondre à un objectif précis et regroupant plusieurs capacités.

Un exemple d'instanciation de ce métamodèle est disponible en Annexe D.

3.1.3 La couche dédiée à la modélisation d'une situation de crise

Maintenant que nous pouvons structurer les informations pouvant décrire tout type de collaboration, nous pouvons nous intéresser aux collaborations de crise. Cette couche est la dernière qui sera commune à toutes les situations de crise auxquelles devra faire face notre système d'information. La version utilisée par les travaux présentés dans ce manuscrit est proposée sur la Figure 3.3 et reprend les travaux de [Bénaben et al. \(2008\)](#); [Lauras et al. \(2015\)](#) sur la modélisation des situations de crise. Les concepts spécifiques à la gestion de crise sont tous définis dans le Glossaire et nos définitions sont explicitées ci-dessous :

Une **Collaboration de crise** est constituée de **Partenaires** souhaitant mettre à disposition certaines de leurs **Capacités** pour atteindre leurs **Objectifs** communs visant à prévenir les **Risques** et traiter les **Incidents** dus à l'**événement** majeur. Certaines **Caractéristiques** du théâtre de crise peuvent générer de nouvelles zones de **Danger** et de nouveaux Risques. Les enjeux menacés sont des **Éléments de l'environnement** qui regroupent :

- les **Infrastructures critiques** décisives pour nos sociétés ([Rozel, 2009](#)), comme les réseaux électriques, ou les services d'urgences ;
- les **Bâtiments** sensibles qui sont considérés comme prioritaires face à la gestion d'un risque. Parmi eux on retrouve les prisons, les écoles, etc.

3. Les étapes de modélisation d'une situation de crise proposées

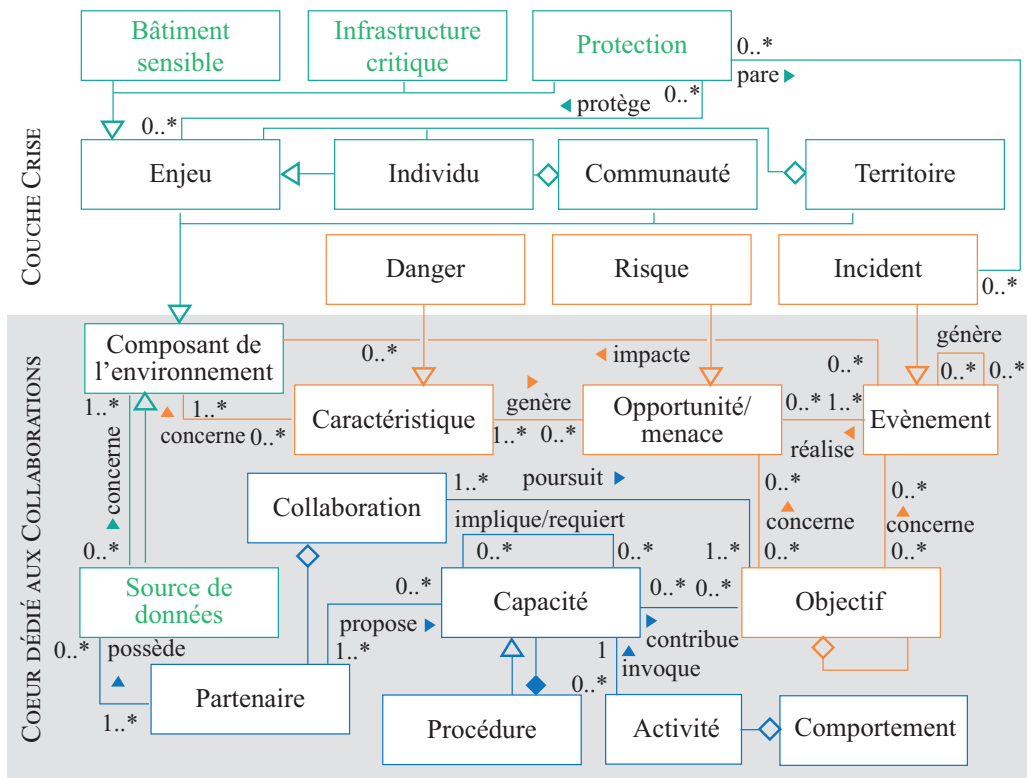


FIGURE 3.3 – Extrait du métamodèle Cœur décrit dans Bénaben (2012), dédié à la modélisation de collaborations d'organisations, et de sa couche Crise (Bénaben et al., 2008; Lauras et al., 2015)

- les **Individus** quels qu'ils soient.
- les **Communautés**, « de sang, de lieu et d'esprit » selon **Tönnies et al. (2010)**, qui peuvent altérer les prises de décisions ou la réaction des populations. Cette catégorie permet, par exemple, de modéliser l'importance d'un réseau social, d'un média télévisé ou d'un parti.
- les **Protections** nommées Défenses par **Reason (2016)** et qui sont érigées en phase de préparation pour contrer l'un des dangers identifiés sur le territoire et protéger certains enjeux. Ce concept permettra de représenter une digue, ou un lieu de rassemblement comme des enjeux.

Ces enjeux sont tous spécifiques à un **Territoire** (comme un val), ou une **Entité administrative** donnée (comme par exemple un département). Pour les enjeux déjà impactés par des Incidents ou encore vulnérables à des Risques (cf. section 1.1.2), un processus collaboratif doit être mis au point. Il est constitué d'**Activités** et définit le **Comportement** des parties-prenantes face à la crise. Comme référence, les décideurs peuvent faire appel à des **Procédures**, ou plans d'urgence, élaborées en phase de préparation.

Cette couche thématique « crise » peut être complétée par des couches externes, actionnables selon la nature de la crise. Pour des crises complexes comme celle qui suivit le séisme de Tōhoku-chihō en 2011, ce type de métamodèle permet (i) d'obtenir un modèle au plus près du besoin d'information des décideurs en cellule de crise, et surtout (ii) de formaliser l'ensemble des informations rendues disponibles par notre système. Des exemples d'instanciation des concepts de cette couche seront présentés au chapitre 4, dans le cas d'une crue majeure en Loire Moyenne.

3.1.4 L'utilisation du métamodèle en situation de crise

A partir de ce métamodèle, le système d'information proposé doit modéliser la situation de crise au fur et à mesure des événements observables. Pour ce faire, le métamodèle peut être instancié en deux étapes (cf. Figure 3.3) :

- en phase de préparation, les autorités compétentes peuvent modéliser, manuellement, par type de danger : les enjeux vulnérables (**Contexte**) et les équipes d'interventions (**Partenaires**) présents sur leur territoire. Cette étape peut coïncider avec la mise en place des Plans de Prévention des Risques Naturels prévisibles (PPRN) sur le territoire français.
- après l'évènement majeur, les données en lien avec les conséquences de la crise (**Objectifs**) peuvent être récoltées, interprétées et modélisées, automatiquement, par le système d'information.

Pendant la phase de réponse, l'automatisation de l'étape de modélisation est indispensable pour décharger les décideurs en cellule de crise. C'est pourquoi, le système d'information proposé se focalise sur l'instanciation des concepts liés aux Objectifs de la collaboration de crise.

3.2 La collecte de données pour décrire la situation de crise

Maintenant que nous avons défini notre métamodèle de référence (cf. Figure 3.3), nous pouvons nous intéresser à la collecte des données, en bleue sur la Figure 3.1, nécessaire au futur module d'interprétation. L'idée est de concevoir un système d'information capable d'échanger avec d'autres services jugés fiables (cf. hypothèse 1), grâce à un formalisme commun (cf. hypothèse 3), quelque soit le volume de données à traiter pour le système d'information (cf. hypothèse 2).

3.2.1 Les évènements à notre disposition

Les données peuvent être véhiculées sous la forme d'*évènements* informatiques. Ces derniers, définis par Luckham et Schulte (2011) ou Etzion et al. (2011), ont pour vocation de représenter, d'encoder ou de mémoriser un *évènement observé*. L'évènement observé désigne le même concept que l'*Evènement* présent dans le Métamodèle Cœur, c'est à dire, comme défini dans (ATILF et al., 2005) : « Tout ce qui se produit, tout fait qui s'insère dans la durée ».

Les *évènements* peuvent, par exemple, représenter la mesure du trafic routier, le changement de statut d'une activité, la réception d'un rapport, le déclenchement d'un alerte, etc. Pour faciliter les échanges, ils respectent une structure bien précise, en trois niveaux. Cette dernière, décrite par Etzion et al. (2011), est illustrée sur la Figure 3.4. Elle se compose :

- d'un *en-tête* qui présente un identifiant, une date d'occurrence, un type d'évènement décrit dans un fichier à part, et, si possible, une source et son degré de véracité ;
- d'un *corps* qui contient le message devant être transmis par l'évènement structuré selon le *type de l'évènement* choisi ;
- d'un *espace libre* prévu pour permettre à la source émettrice de communiquer une information non compatible avec le type de l'évènement choisi.

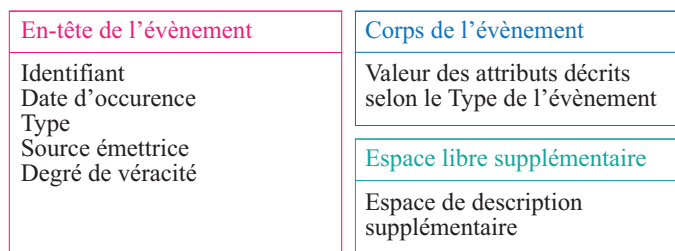


FIGURE 3.4 – Structure des évènements respectant les recommandations de Etzion et al. (2011)

Pour suivre notre hypothèse sur la variété des données (cf. hypothèse 3), nous supposons que tous les évènements reçus par notre système d'information sont décrits au format Extensible Markup Language (XML). Nous nous référons pour cela à un premier standard OASIS : le standard « Web Services Notification » (Graham et al., 2006) qui encadre l'échange d'informations entre deux Web services.

La Figure 3.5 illustre le principe de structuration d'un fichier XML, grâce à la mise en place d'une définition du schéma XML (XSD) partagée par l'envoyeur

Le type d'évènement décrit dans une XSD

Un évènement trafic, au format XML

```

<xsd:element name="Event_TrafficMeasures"> ..... <Event_TrafficMeasures>
<xsd:complexType><xsd:sequence>
<xsd:element name="id" type="xsd:string" /> ..... <id>11</id>
<xsd:element name="date" type="xsd:dateTime" /> ..... <date>2019-03-25T01:00:00</date>
<xsd:element name="stationName" type="xsd:string" /> ... <stationName>ROQUE</stationName>
<xsd:element name="stationLat" type="xsd:float" /> ..... <stationLat>43.747827</stationLat>
<xsd:element name="stationLong" type="xsd:float" /> ..... <stationLong>1.619054</stationLong>
<xsd:element name="direction1" type="xsd:string" /> ..... <direction1>TOULOUSE</direction1>
<xsd:element name="direction2" type="xsd:string" /> ..... <direction2>ALBI</direction2>
<xsd:element name="pl1" type="xsd:int" /> ..... <tv1>110</tv1>
<xsd:element name="tv1" type="xsd:int" /> ..... <pl1>0</pl1>
<xsd:element name="tv2" type="xsd:int" /> ..... <tv2>140</tv2>
<xsd:element name="pl2" type="xsd:int" /> ..... <pl2>0</pl2>
</xsd:sequence></xsd:complexType></xsd:element> </Event_TrafficMeasures>

```

FIGURE 3.5 – Exemple d'évènement de mesure de trafic, respectant le format des évènements de type « Mesure de trafic »

et le receveur. Une XSD peut ainsi être décrite pour chaque type d'évènements reçus ou envoyés par notre système d'information. Ici, l'exemple donné, en bleu sur la Figure 3.5, correspond à un évènement de type « Mesure de trafic », envoyé le 28 septembre 2017 par la Direction des routes responsable de la station de mesure basée à St Hilaire St Mesmin, sur la D951 entre les villes d'Orléans et Cléry. En 1h, le capteur a relevé 10 véhicules en direction d'Orléans, 14 véhicules en direction de Cléry, dont zéro poids lourd. D'autres exemples d'évènements sont disponibles en Annexe H.

3.2.2 Les méthodes synchrones et asynchrones

Pour collecter des évènements, notre système d'information peut faire appel à deux types de méthodes. La méthode *Push* est asynchrone : elle permet un échange d'informations entre deux entités qui ne sont pas forcément disponibles au même instant. A l'inverse, la méthode *Pull* est synchrone : elle permet l'échange d'informations entre deux entités disponibles au même instant. Par exemple, l'envoi d'un e-mail illustre bien le principe de la méthode Push alors qu'un appel téléphonique tient plus d'une méthode Pull. Chacune de ces méthodes à ses avantages et ses inconvénients (Perera et al., 2014) :

- la méthode Push permettrait au système d'information de déléguer la majorité des tâches liés à la génération ou à la communication des évènements qui l'intéressent. Mais cette méthode ne permet pas de configurer le générateur d'évènement et ne permet pas au système de limiter le volume de données reçu : 187 millions d'emails sont, par exemple, envoyés chaque seconde (VisualCapitalist, 2018) quelle que soit la volonté des receveurs.
- la méthode Pull permettrait au système d'information de contrôler en partie la génération et la communication des évènements qui l'intéressent. Mais cette méthode double le volume de messages (requêtes ou évènements) sur le réseau liant les générateurs d'évènements à leurs utilisateurs.

En situation de crise, nous ne pouvons pas nous permettre de passer à côté d'une donnée, émise entre deux requêtes et qui pourrait se révéler critique lors des prises de décision. Nous utiliserons donc une méthode Push.

3.2.3 Les mécanismes de souscription

Pour utiliser la méthode Push, notre système d'information utilise un mécanisme de publication *publish/subscribe*, décrit entre autre par [Eugster et al. \(2003\)](#). Nous avons choisi ce mécanisme en particulier car il permet l'envoi et la réception d'évènements entre deux systèmes qui ne se connaissent pas (*space decoupling*) et qui n'ont pas besoin de se connecter au même moment pour échanger des évènements (*time decoupling*).

L'intermédiaire à mettre en place entre les services connectés, générateurs d'évènements, et notre système d'information est un agent de messages, ou *Message broker*. Plutôt que de souscrire à chaque source d'évènement intéressante, il peut souscrire ([Eugster et al., 2003](#)) à un sujet particulier (*topic-based publish/subscribe*), comme par exemple la « Météo », ou à un contenu particulier (*content-based publish/subscribe*), comme par exemple tous les évènements émis par la ville de Paris.

Notre système d'information souhaite pouvoir s'adapter à la nature des crises, nous choisissons donc la première méthode qui permet de s'abonner aux topics, ou sujets, adaptés à la crise en cours. Ce mécanisme a déjà été éprouvé en situation de crise par le projet européen « Pushing dynamic and ubiquitous interaction between services Leveraged in the future internet by ApplYing complex event processing (PLAY) ([Truptil, 2011](#)) » où les utilisateurs reçoivent automatiquement tous les évènements des topics auxquels ils sont abonnés.

Pour faciliter l'utilisation de topics lors des échanges, nous suivons les recommandations d'un second standard OASIS : le standard « Web Services Topics » ([Vambenepe et al., 2006](#)) qui encadre l'organisation et la catégorisation arborescente des topics d'évènements utilisés par une communauté.

3.2.4 La méthode de collecte proposée

La figure 3.6 présente notre choix d'architecture pour le module de collecte de données. Elle permet de :

- suivre la dynamique de la crise grâce à l'utilisation d'une méthode Push pour récupérer des données émises de sources connues ou inconnues ;
- s'abonner à des sujets de manière définitive ou à de nouveaux sujets adaptés à la nature de chaque nouvelle crise ;
- recevoir des évènements provenant de sources inconnues par notre système d'information.

Sur la figure, deux règles d'interprétation souhaitent utiliser les évènements portant sur le sujet de la Météo (Weather) ou du Trafic routier (Traffic). Le Message Broker commence donc par s'abonner à ces deux topics. Dès la réception d'un évènement, le Message Broker communique ce dernier à toutes les règles d'interprétation souhaitant utiliser des évènements de ce type.

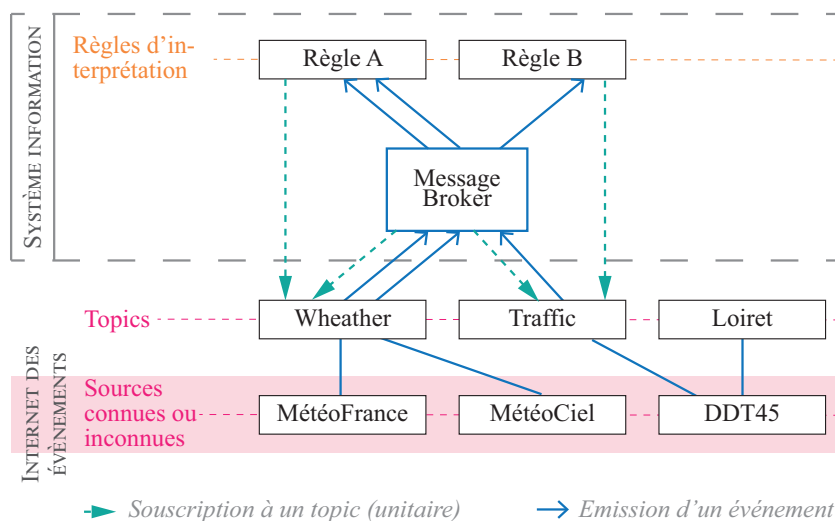


FIGURE 3.6 – Mécanisme publish/subscribe, basé sur l'utilisation de topics, illustré par quelques exemples et inspiré de Eugster et al. (2003)

Cette méthode de collecte est de type $(x \text{ à } x)$ (cf. section 2.2.3), car elle permet de récolter des données de différents types, émises par différentes sources, et éligibles pour interpréter différents types d'information. Plus important encore, elle permet de suivre la dynamique de la crise en récoltant les événements disponibles au fur et à mesure de leur émission. Elle élimine ainsi le problème lié à la vélocité des données entrantes.

Cette solution nous amène par contre à revoir notre hypothèse 1 : nous ne serons plus en mesure d'évaluer nos sources de données, une à une en phase de préparation. En effet, un des avantages de ce mécanisme de collecte est l'accès à des sources de données inconnues mais qui publient sur des sujets en lien avec la crise en cours. Cette opportunité nous amène donc à reformuler notre hypothèse :

Hypothèse 5. *La fiabilité d'une information dépend (i) du nombre de source corroborant les données utilisées lors de l'interprétation et (ii) de la qualité du raisonnement (des règles) utilisé.*

Pour soutenir l'implémentation du Message Broker, et rester cohérent avec nos choix de formalisme, nous nous référons à un troisième standard OASIS : le standard « Web services brokered notifications » (Chappell et Liu, 2006) qui encadre la mise en place du Message Broker qui doit permettre à n'importe quel système, connecté ou non, d'émettre ou de recevoir des événements.

3.3 L'interprétation de données pour suivre la situation de crise en cours

Maintenant que l'architecture du module de collecte est connue, nous pouvons nous concentrer sur le module d'interprétation du système d'information recherché,

en orange sur la Figure 3.1. Comme les événements collectés sont nombreux, de différents types et décrivent diverses parties de la situation de crise, ils ne peuvent pas être traités directement par les décideurs, qui seraient sinon noyés sous la charge informationnelle. Pour les rendre utilisables, nous avons choisi de suivre les recommandations de Fülöp et al. (2010) qui propose de les regrouper, ou de les transformer, en *événements complexes*, plus abstraits.

3.3.1 Le traitement d'évènements complexes

Le *Traitement d'évènements complexes* ou **Complex Event Processing (CEP)** est un domaine scientifique dédié à la génération d'évènements complexes. Les moteurs CEP sont spécifiques au traitement de ces événements. Ils utilisent des *agents Event Processing Agent (EPA)* qui portent chacun une *règle CEP* pouvant être dédiée à (Etzion et al., 2011; Cugola et Margara, 2012) :

- *détecter* des événements, suite à un lien (ou absence de liens) de causes à effets appelé *motif*, tels que les alertes sur une chaîne du froid (Kim et al., 2016), les changements d'habitudes des producteurs de données (Taleb et al., 2018), ou la défaillance prévue d'un réseau de communication (Baldoni et al., 2015) ;
- *filtrer* des événements en appliquant des *conditions* ;
- *générer* de nouveaux événements qui pourront être à nouveau traités par le moteur CEP, ou communiqués aux utilisateurs du système informatique.

Ces règles peuvent utiliser une *fenêtre temporelle* pour conserver un événement reçu pendant un temps prédéfini, ou un nombre d'évènements donné. Ainsi, un EPA pourra être dédié à faire une moyenne, toutes les 10 minutes, des mesures émises toutes les 2 secondes par un capteur. Les problèmes de vélocité et de volume peuvent ainsi se réduire.

La Figure 3.7 présente le fonctionnement d'un moteur CEP au sein du système d'information proposé par nos travaux :

- le module de collecte, présenté à la Figure 3.6, récupère les données émises dans l'Internet des événements (cf. section 1.3.4), sous les topics choisis.
- les événements collectés sont mis à disposition du système d'information sous forme de *nuage d'évènements* ou de *flux d'évènements* et les agents EPA utilisent ceux correspondant au type d'évènements surveillé par leur règle CEP.
- une règle est activée dès que (i) les conditions et (ii) le *motif* prédéfini d'évènements à détecter sont respectés. Un événement complexe est alors émis, selon un type et un topic donnés.
- lorsqu'une information utilisable par les décideur en cellule de crise est générée, un dernier événement complexe est émis pour demander la mise à jour du modèle de situation.

Chaque règle agrège de nouvelles informations et permet ainsi une montée progressive en abstraction (Fülöp et al., 2010). A un niveau d'abstraction suffisant, un événement complexe peut porter la demande d'ajout, de suppression ou de mise à jour d'une instance du modèle de situation. Si une règle nécessite pour cela

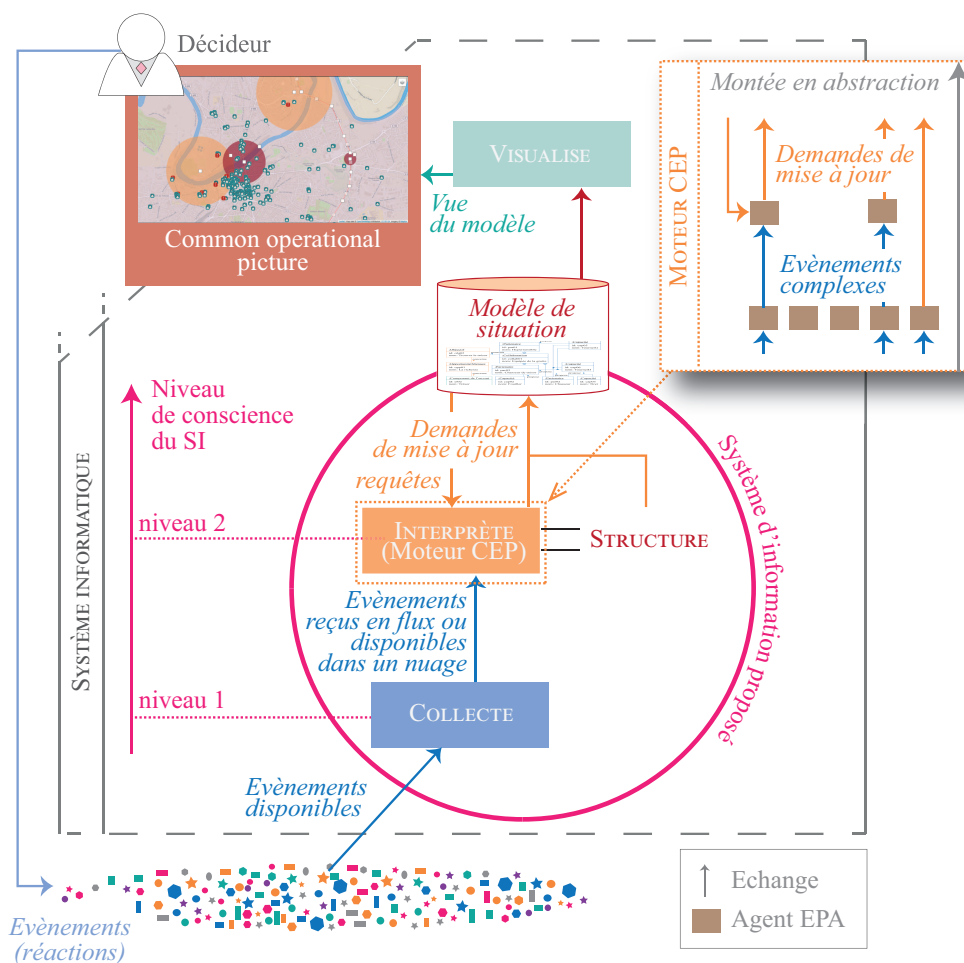


FIGURE 3.7 – Illustration du fonctionnement d'un moteur CEP, inspiré des travaux de Fülöp et al. (2010) et mis en contexte par rapport aux autres modules de notre architecture

d'accéder au modèle de situation courant, elle peut interroger la base de données concernées grâce à une simple requête.

3.3.2 La structure des règles d'interprétation

Les règles utilisées par notre moteur CEP suivent une structure bien précise. Comme illustré sur la Figure 3.8 nos règles CEP comportent :

- un en-tête comprenant un identifiant, le type de l'évènement à traiter, et le type de l'évènement complexe généré ;
- une condition temporelle, géographique ou technique ;
- une description de l'évènement complexe à générer si la règle est activée : c'est à dire si la condition est remplie par les attributs d'un évènement correspondant au type d'évènement recherché.

Les *conditions temporelles* permettent d'éliminer ou regrouper des évènements selon leur date d'émission ou de création. Les *conditions géographiques* permettent de filtrer les évènements selon une localisation donnée. Enfin, les *conditions techniques* permettent à notre système d'information de décrire la partie « métier »

3. Les étapes de modélisation d'une situation de crise proposées

En-tête de la règle	Conditions de la règle	L'évènement cx. généré
Identifiant Type d'évènement surveillé Type d'évènement cx. généré	Condition temporelle Condition géographique Condition technique	Identifiant Date de création Description de l'évènement

FIGURE 3.8 – La structure des règles CEP utilisées par notre système d'information

des règles d'interprétation, dictée par des réglementations ou l'expérience des parties-prenantes usuelles à la réponse à une crise.

3.3.3 Les règles d'interprétation dédiées aux situations de crise

Les agents EPA appartenant à notre système d'information (cf. Figure 3.7) doivent détecter les anomalies liées à la situation de crise, pour les ajouter à temps au modèle de situation communiqué en cellule de crise. La figure 3.9 illustre les quatre types de règles d'interprétation pouvant être ainsi utilisées par les agents EPA pour modéliser les Objectifs de la collaboration de crise (cf. Figure 3.2) : chaque famille de règles permet d'instancier les concepts de Danger, de Risque et d'Incident pour générer les informations nécessaires aux prises de décisions.

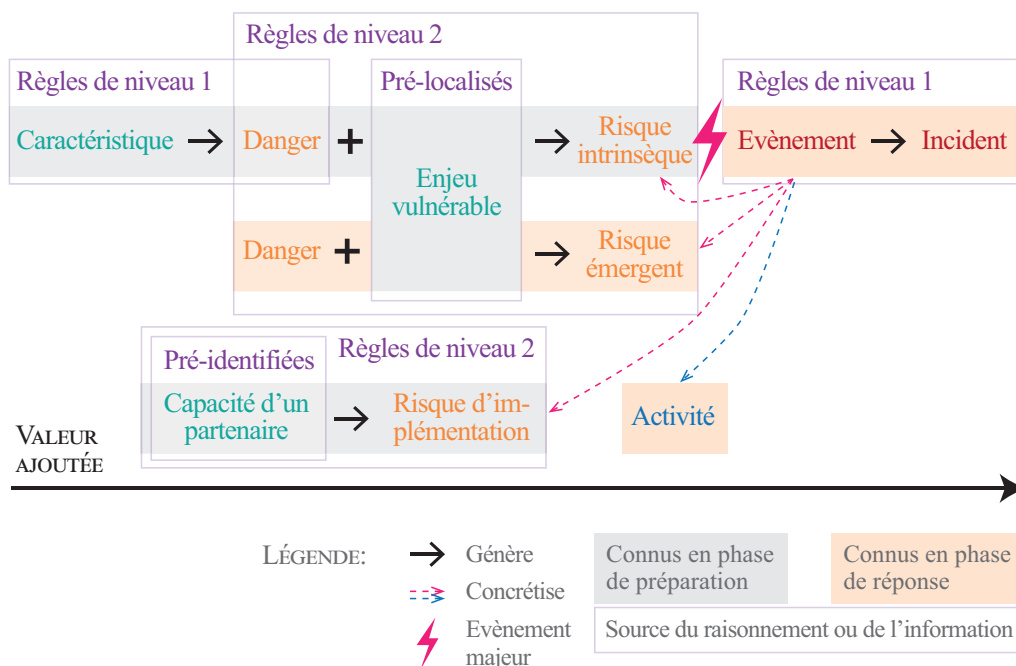


FIGURE 3.9 – Les règles d'interprétation de niveau 1 et de niveau 2 pour instancier les concepts de Danger, de Risque et d'Incident. Le principe de déduction est inspiré de Desroches (2013), Bénaben et al. (2014) et Li et al. (2018a)

La Figure 3.9 dissocie trois types de risques auxquels devront faire face les parties-prenantes à une situation de crise (Nguyen et al., 2013; Benaben et al., 2017; Li et al., 2018a) :

- les risques *intrinsèques* identifiables en phase de préparation ;
- les risques *émergents* dûs à l'évènement majeur ;

3.3. L'interprétation de données pour suivre la situation de crise en cours

- les risques d'*implémentation* dus aux activités lancées pour répondre aux conséquences de l'évènement majeur ;

Les règles permettant de les identifier fonctionnent toujours grâce à un ensemble de connaissances modélisées, si possible, en phase de préparation : les territoires souhaitant utiliser notre système d'information doivent donc commencer par identifier les types de dangers les menaçant, les enjeux qui leur sont vulnérables et les capacités de leurs partenaires capables de répondre aux conséquences des crises à venir. Suite à un évènement majeur, les règles d'interprétation pourront ensuite déduire de ces informations, et des évènements collectés, l'ensemble des risques menaçants les territoires touchés.

3.3.4 Les règles d'interprétations mises au point

Le principe de déduction tiré des travaux de Desroches (2013); Bénaben et al. (2014) et Li et al. (2018a) a été rapproché des interviews, des études de plans d'urgence et des études de base topographiques menés par le Centre d'Etude et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA) Ouest, auprès des parties prenantes usuelles à une crue majeure en Loire Moyenne. Deux résultats de cette étude prévalent : (i) la typologie des enjeux, des risques et des dangers pouvant être rencontrés lors d'une crue, en Loire Moyenne et (ii) une liste des règles à implémenter classées selon leur difficulté d'implémentation.

DONNÉES POUR LA VILLE D'ORLÉANS

C _{eau} (t)	Cote de la Loire à la date <i>t</i>
S _{évacuation}	Seuil d'évacuation
A	Evènement: C _{eau} (t) > S _{évacuation}
D _{évacuation}	Décision d'évacuer: Reportée, totale, partielle ou exclue

INSTANCES DU MODÈLE DE SITUATION DÉDUITES DE LA RÈGLE N°1

:Objectif
id:obj01
nom: Evacuer totalement Orléans

EXEMPLES DE RÈGLES MÉTIERS

- 1- Si $p(A) > 90\%$ et $t > 3$ jours Alors D_{évacuation} = Totale
- 2- Si $p(A) > 90\%$ et $t < 2$ jours Alors D_{évacuation} = Partielle ou Exclue
- 3- Si $50\% < p(A) < 90\%$ et $t = 2$ jours Alors D_{évacuation} = Totale ou Partielle
- 4- Si $10\% < p(A) < 50\%$ et $t > 3$ jours Alors D_{évacuation} = Partielle ou Reportée

EXEMPLE D'IMPLÉMENTATION: RÈGLE CEP POUR LA RÈGLE MÉTIER N°1 (LANGAGE: SIDDHI QL)

```
define stream Mesure_hydraulique (id string, date string, stationName string,
    stationLat float, stationLong float, nbHours int, f_min float,
    f_med float, f_max float, wl_min float, wl_med float, wl_max float);
from Event_ForecastMeasures[stationName == 'ORLEANS' and wl_max > 4.2 and
    nbHours>48.0] select
    'Loire Flooding response' as collaborationName,
    'Loire Flooding' as knowledgeSpaceName,
    'Evacuer totalement Orléans' as node_name,
    'Objective' as node_role0,
output first every 30 events
insert into addNodeEvent;
```

FIGURE 3.10 – La méthode suivie pour élaborer nos règles d'interprétation à partir des données et informations métiers récoltées par le CEREMA Ouest au sein du projet GÉNéPi (Dolidon, 2016a)

La Figure 3.10 présente ainsi comment une règle métier, provenant du plan ORSEC Inondation de la préfecture du Loiret, peut être implémentée en tant que règle CEP, et utilisée sur des données de prévisions hydrauliques pour mettre à jour le modèle de la situation de crise. Les données hydrauliques utilisées pour tester nos règles proviennent d'une modélisation de l'évolution d'une crue centennale en Loire Moyenne, élaborée par les Services de Prévision des Crues (SPC) Loire-Cher-Indre et Maine-Loire. Les événements hydrauliques correspondant ont été créés, en suivant une XSD choisie pour sa temporalité proche de la réalité. La XSD et quelques exemples d'événements sont disponibles en Annexe H. L'objectif « évacuer totalement Orléans » permettra, s'il est atteint, de prévenir le Risque d'« inondation de la ville d'Orléans ».

Ce travail nous a permis de tester notre approche de déduction (cf. Figure 3.9) sur quatre dangers et six risques, présentés plus amplement dans le chapitre 4 :

- un danger d'inondation probable dans le Loiret, si la Loire dépasse la cote des 4.50m à Gien ou des 5m à Orléans ;
- un danger d'inondation probable dans le Loir-et-Cher, si la Loire dépasse la cote des 4.10m à Blois ;
- un danger d'inondation très probable en Loire-Moyenne si le débit de la Loire dépasse les 3500m³ en aval de sa confluence avec l'Allier, à Givry ;
- un danger d'inondation imminente dans le Loiret si le niveau de sureté de la digue d'Orléans, fixé à 5.50m, est dépassé ;
- le risque de submersion probable d'un enjeu dans le Loiret et la submersion probable d'un enjeu dans le Loir-et-Cher ;
- le risque de submersion très probable d'une zone urbaine dans le Loiret et la submersion très probable d'une zone urbaine dans le Loir-et-Cher ;
- le risque de submersion imminente de maisons de retraite dans le Loiret, la coupure imminente d'eau potable dans le Loiret, la coupure imminente de l'A71 dans le Loiret, et la rupture imminente d'une digue à Orléans (dans le Loiret).

Les risques sont déduits si et seulement si un enjeu du modèle est vulnérable à un danger le menaçant.

Ces règles d'interprétations permettent au système d'information de détecter les risques à traiter du point de vue de la collaboration de crise. Ainsi, une fois le risque de « submersion imminente de maisons de retraites » détecté, le système d'information peut automatiquement déduire l'objectif « prévenir le risque de submersion imminente des maisons de retraites dans le Loiret », similaire à l'objectif pouvant être déduit par la règle présentée à la Figure 3.10.

Les typologies des enjeux, des risques et des acteurs impliqués dans la réponse à une crue en Loire Moyenne sont présentées au chapitre 4.

3.4 Une architecture dirigée par les événements

Pour couvrir l'ensemble des fonctionnalités recherchées par nos travaux (cf. Figure 3.1), nous proposons l'architecture présentée sur la Figure 3.11. Cette architecture

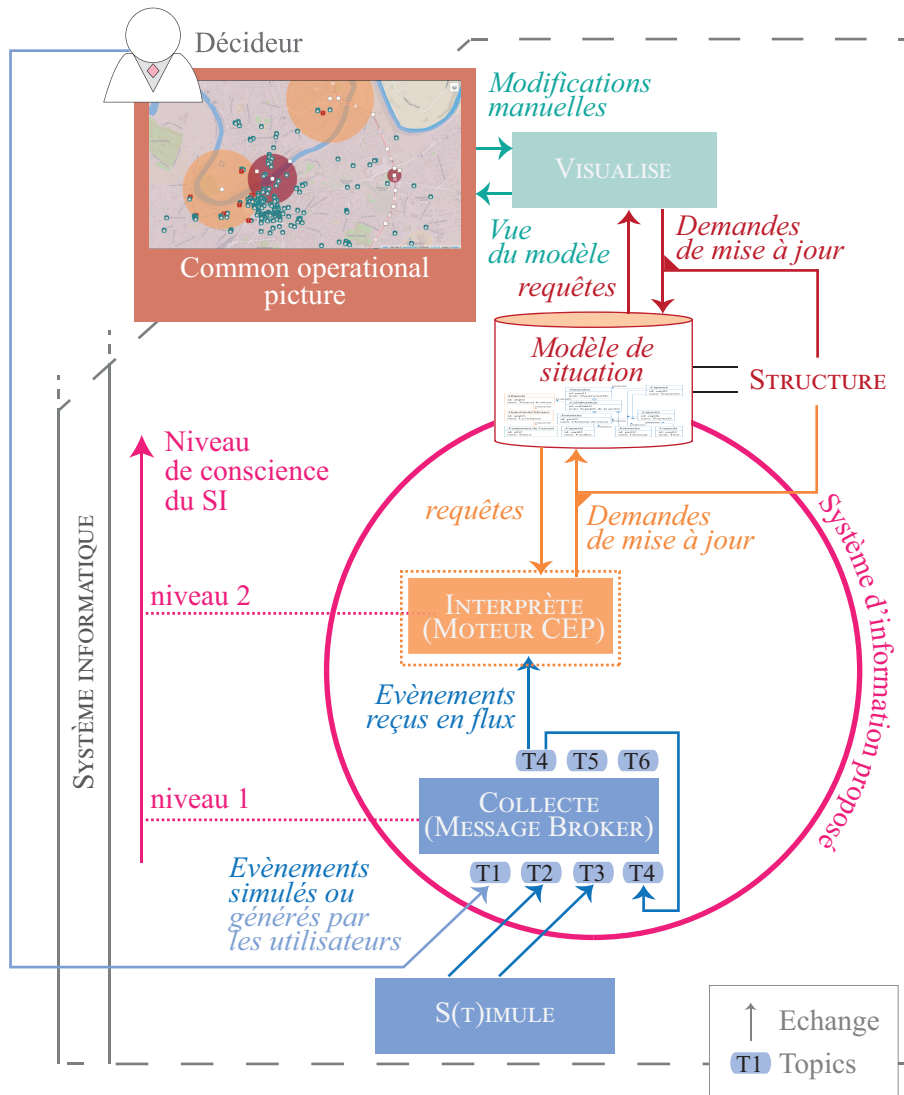


FIGURE 3.11 – L'architecture du système d'information proposé

3. Les étapes de modélisation d'une situation de crise proposées

est dite « orientée événements », car au moins l'un de ses composants peut recevoir et réagir à des événements [Etzion et al. \(2011\)](#). Elle est présentée, étape par étape, ci-dessous :

- les événements sont simulés par le module « S(t)imule » pour recréer une situation de crise lors des tests ;
- le Message broker s'abonne à tous les topics (ou sujets) susceptibles de contenir des événements utiles pour modéliser la situation de crise en cours, émis par le moteur CEP, le s(t)imulateur ou des sources de données externes ;
- le moteur CEP, abonné aux événements transmis par le Message broker, est chargé d'identifier les dangers, les risques et les incidents dus à la situation de crise. Pour ce faire, un EPA est associé à chaque règle CEP disponible ;
- le module « Visualise » utilise le modèle de la situation, tenu à jour par le moteur CEP pour actualiser la COP partagée en cellule de crise.

3.4.1 Les effets sur les 4Vs du Big Data

L'architecture choisie permet d'apporter une réponse à notre problématique (cf. section 1.4.3) et permet de limiter les effets soulevés par les 4Vs du Big Data (cf. section 2). La Figure 3.12 représente, pour chaque solution technique adoptée, en ligne, et pour chaque 4Vs du Big Data, en colonne, les résultats de nos méthodes de collecte, d'interprétation et de structuration sur le volume, la variété, la vélocité et la véracité des données et informations manipulées :

- le moteur CEP permet de contrôler le *volume* d'événements à traiter par règle, grâce à la sélection, par type, des événements à analyser ;
- le moteur CEP permet de contrôler le *volume* des événements complexes générés : à partir de n événements reçus, 1 événement complexe est généré pour chaque règle activée.
- l'utilisation de fenêtres temporelles permet d'agréger les événements de même type sur une fenêtre de temps qui peut être glissante pour suivre en temps réel les évolutions de la crise (*vélocité*) ;
- le moteur CEP fait appel à des règles CEP déduites de règles métiers communiquées par des experts métier (*véracité*) ;
- le moteur CEP permet aussi d'augmenter la *valeur* des événements manipulés grâce à une montée continue en abstraction ;
- le métamodèle permet de limiter les problématiques liées à la *variété* des informations manipulées en offrant une structure de référence partageable (i) au sein du système d'information et (ii) avec les systèmes d'informations des partenaires à la collaboration de crise ;
- le métamodèle permet de limiter les problèmes de *volume* d'informations grâce à un périmètre de modélisation précis ;
- le mécanisme publish/subscribe permet de réceptionner automatiquement des événements au moment de leur émission, permettant ainsi au système d'information de suivre au plus près les évolutions de la situation de crise (*vélocité*) ;

- le mécanisme publish/subscribe permet, pour un sujet donné, d’obtenir les événements provenant de plusieurs sources de données émettrices d’événements. Ainsi, des règles CEP dédiées peuvent favoriser les faits concordants (*véracité*);

Pour rappel, les hypothèses 2 et 3 nous permettaient de mettre de côté les problématiques liées (i) au volume de données entrant à traiter par notre système d’information et (ii) à la variété des données entrantes qui sont supposées suivre un format standardisé.

	Volume	Variété	Velocité	Véracité
COMPLEX EVENT PROCESSING	<i>Sélection par condition</i>		<i>Fenêtre temporelle</i>	<i>Règles validées par le métier</i>
MÉTA-MODÈLE	<i>Instanciation par concept</i>	<i>Ensemble de concepts fini</i>		
PUBLISH /SUBSCRIBE	<i>hypothèse n°2</i>	<i>hypothèse n°3</i>	<i>Suivi en temps réel</i>	<i>Sources multiples</i>

FIGURE 3.12 – Les effets de l’architecture choisie sur les 4Vs du Big Data

3.4.2 Les contributions et perspectives d’évolutions de l’architecture proposée

La Figure 3.13 présente les contributions et les perspectives de recherche identifiées à chaque étapes de l’architecture proposée. Les contributions, listées ci-dessous, sont détaillées au cours des chapitres 3 et 4 de ce manuscrit :

- le métamodèle utilisé dans nos travaux est originaire de (Benaben et al., 2017). Grâce aux résultats de l’étude des interviews, des plans d’urgence et des bases topographiques par le CEREMA Ouest, partenaire du projet GÉNÉPi, nous avons pu confronter le métamodèle d’origine à un nouveau scénario de crise. De nouveaux concepts, présentés sur la Figure 3.3, ont ainsi pu être ajoutés et utilisés pour soutenir le module « Interprète » du système d’information ;
- l’approche de déduction proposée à la Figure 3.9, rapprochée des règles métiers communiquées par le CEREMA Ouest, a permis l’élaboration de dix règles d’interprétation, adaptées à une crue majeure en Loire Moyenne ;
- les règles d’interprétation font référence aux concepts décrits dans notre métamodèle et peuvent directement demander l’ajout, la mise à jour ou la suppression d’un instance sur le modèle de la situation de crise courante ;
- les données hydrauliques du modèle de crue, mis au point par les SPC Maine-Loire et Loire-Cher-Indre, ont été informatisées, puis simulées, pour tester l’architecture proposée ;
- de même, des données provenant d’un capteur de mesure du trafic, positionné dans la ville de St. Hilaire St. Mesmin (Loiret), ont été informatisées puis simulées pour tester l’architecture proposée.

Pour les années à venir, plusieurs projets de recherche seraient légitimes pour compléter les travaux présentés, dédiés à supporter les collaborations en situation

3. Les étapes de modélisation d'une situation de crise proposées

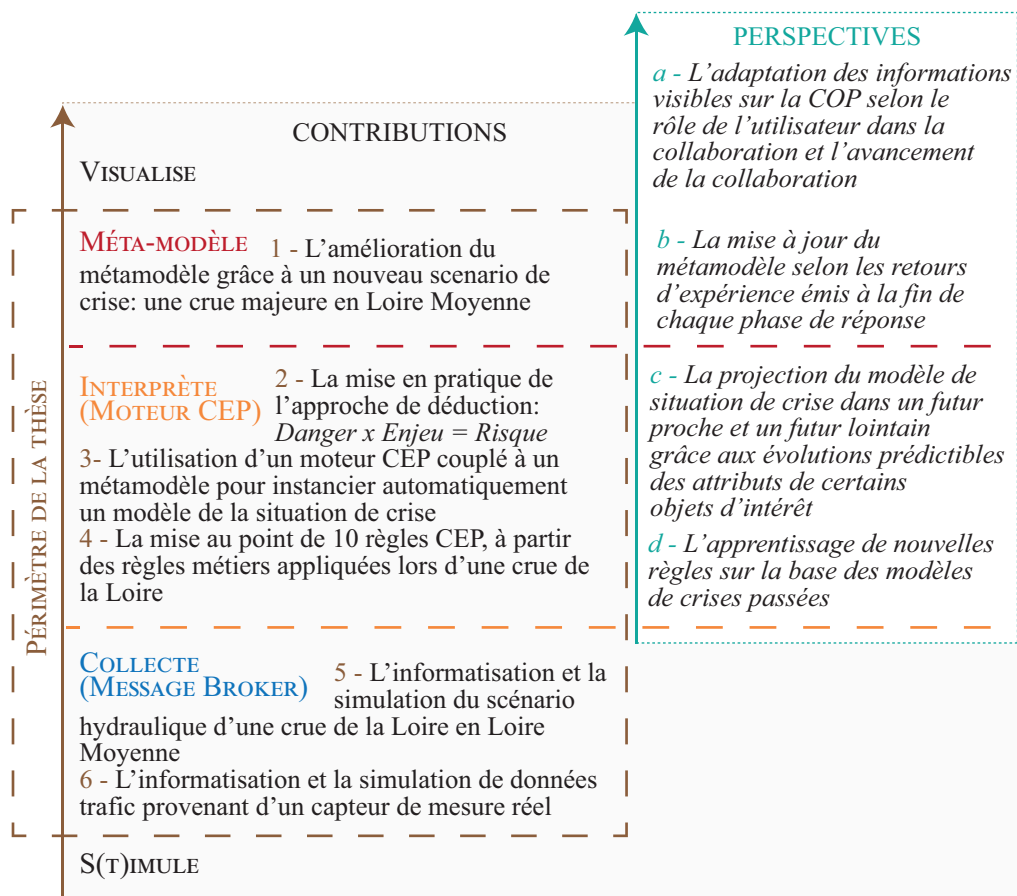


FIGURE 3.13 – Les contributions identifiées et les perspectives d'évolutions des travaux présentés dans cette thèse

de crise. La Figure 3.13 présente ainsi quelques unes des perspectives envisagées, listées ci-dessous :

- Pour que la conscience de la situation des décideurs soit soutenue dans son intégralité (cf. section 1.3.2), il manque encore un module capable de projeter le modèle de la situation dans un futur proche. Par exemple, le processus de réponse à la crise peut permettre d’anticiper les conséquences des actions demandées aux parties-prenantes. Ainsi, si les cellules de crise demande à une communauté d’agglomération de modifier l’itinéraire des transports en commun, le modèle projeté à 48h pourra intégrer des modifications de trafic et, plus encore, prévoir un trafic plus important sur les axes routiers non déviés et le processus de réponse pourra être adapté en conséquence.
- Pour que les informations arrivent au bon moment, au bon niveau d’abstraction et au bon niveau d’agrégation aux décideurs en cellule de crise, différentes vues du modèle de situation doivent être générées. Ces vues pourraient, par exemple, s’adapter à la place dans la chaîne stratégique et au niveau d’implication des partie-prenantes. Elles pourraient aussi s’adapter au niveau de maturité de la collaboration en cours. Ainsi, un préfet devrait pouvoir avoir accès au nombre global de ses administrés coupés du réseau électrique, plutôt qu’à l’emplacement de chacun des foyers coupés d’électricités. De même, au début de la collaboration de crise, il serait préférable d’informer les décideurs sur les Incidents à traiter et les Risques à prévenir, plutôt que sur les Communautés à rassurer, comme les médias.
- Les retours d’expériences élaborés après chaque situation de crise, ou chaque exercice, pourraient être utilisés pour améliorer le métamodèle proposé. Par exemple, si un certain type de données collectées n’est jamais instancié ou si des décideurs demandent régulièrement plus de détails sur un type d’information en particulier, le concept peut manquer ou être instancié depuis une couche trop abstraite, trop près du Cœur. A l’inverse, si la charge informationnelle est trop importante, alors il se peut qu’un ou plusieurs concepts soient instanciés depuis une couche trop spécialisée.
- Les données et modèles historiques décrivant des situations de crise passées pourraient être utilisés, par exemple, pour identifier de nouvelles règles d’interprétation grâce à la généralisation de relations de cause-à-effet, ou pour alimenter les mécanismes de projection du modèle de situation (voir ci-dessus).

Le chapitre suivant propose de tester l’architecture proposée dans ce chapitre sur une crue centennale en Loire Moyenne, entre Nevers et Angers.

CAS D'APPLICATION : UNE CRUE CENTENNALE EN LOIRE MOYENNE

« Elle n'aime pas les hommes, disais-tu ? Mais pourquoi les hommes la bravent-ils comme ils le font ? Jour à jour, ils lui volent son domaine ; là où elle coulait hier, ils viennent et sèment leur blé, plantent leur vigne et construisent leurs maisons. Ils ramassent l'argile limoneuse, le sable même qu'elle a laissé, les amoncellements sur sa rive et lui disent : "Tu ne passeras plus". [...] Que lui dirai-je, demain, si elle reprend son bien, et si, rentrant là-bas après la crue, je ne retrouve qu'un peu de vase à la place tiède où je dormais ? » - Le Père Jude

– Maurice Genevoix, *Rémi des Rauches*

Introduction

Le projet de recherche Granularité des Niveaux de Pilotage (GéNéPi), financé par l'Agence Nationale de Recherche (ANR) (Bénaben, 2014), vise à élaborer un système d'aide à la décision capable de soutenir les cellules de crise suite à un évènement majeur. Son objectif est de définir un processus de réponse d'après un modèle de la situation courante, de l'orchestrer et de l'adapter, si besoin, aux évolutions de la crise.

Le projet GéNéPi réunit de nombreux chercheurs, industriels et institutions :

- le Centre d'Etude et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA) Ouest, chargé de rencontrer les parties prenantes usuelles en Loire Moyenne, de rédiger les scénarios de tests et le cahier des charges du projet ;
- l'Institut de Droit de l'Espace, des Territoires, de la Culture et de la cOMMunication (IDETCOM), chargé d'évaluer le démonstrateur logiciel selon les critères d'acceptation des futurs utilisateurs ;
- le Centre de Génie Industriel (CGI) d'IMT Mines-Albi, chargé de modéliser la situation de crise et de détecter le moment où le processus de réponse en cours n'est plus adapté à la situation courante ;

- l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT), chargé de déduire un processus de réponse remplissant les objectifs d'une cellule de crise, sur la base du modèle de la situation envoyé par le CGI ;
- l'entreprise Iterop, chargée d'orchestrer le processus déduit entre les différentes parties-prenantes à la réponse à la crise.

Parmi les partenaires impliqués dans le projet GÉNéPi, le laboratoire CGI héberge un système d'aide à la décision dédié à supporter les collaborations et appelé RIO-Suite.

Le prototype logiciel RIO-Suite, développé par [Salatgé et al. \(2018\)](#), a pour objectif de soutenir les collaborations d'organisations, dans toutes leurs formes. Dans le cas d'une situation de crise, il permet, tout comme le démonstrateur GÉNéPi, de définir, orchestrer et maintenir un processus de réponse à la crise en cours (cf. Figure 0.1).

Les travaux présentés dans ce manuscrit s'inscrivent dans le cadre du projet [GÉNéPi](#) et ils sont hébergés par le laboratoire CGI qui développe le prototype [RIO-Suite](#).

La Figure 4.1 montre la place du système d'information proposé au chapitre 3 par rapport au prototype logiciel et au démonstrateur GÉNéPi. Le système d'information utilise les événements simulés par le « S(t)imulateur » de RIO-Suite pour modéliser la situation de crise en cours. Le modèle obtenu est ensuite transmis au démonstrateur GÉNéPi ou au prototype logiciel RIO-suite, représenté en bas à gauche, pour alimenter une Common Operational Picture (COP) en cellule de crise, déduire un processus de réponse à la crise en cours, ou détecter des imprévus.

La figure 4.1 présente aussi l'organisation de ce chapitre. L'objectif est de démontrer une des possibilités d'utilisation du système d'information proposé. La Section 1 décrit la simulation d'un scénario d'une crue centennale en Loire Moyenne. La Section 2 présente l'implémentation de notre système d'information intégré au prototype RIO-Suite. La section 3 présente le fonctionnement du nouveau système d'aide à la décision d'urgence face à la situation de crise simulée. La section 4 décrit les différentes utilisations du modèle de situation mis à jour. Enfin, la section 5 termine en évaluant la capacité du système d'information implémenté à suivre la dynamique de la crise en temps réel.

4.1 Le cas d'étude proposé

Dans le monde, 500 millions de personnes ont été, au moins une fois, affectées par un phénomène d'inondation ([Nabet, 2013](#)). En France, ce danger menace deux millions de personnes, qui représentent 4% du territoire et 3% de la population totale ([MEDD, 2004](#); [DREAL, 2016](#)). Les dégâts occasionnés par des crues se chiffrent chaque année à 250 millions d'euros ([MEDD, 2004](#)). Le risque d'inondation à l'origine de ces pertes se renforce au fur et à mesure de l'urbanisation de nouvelles

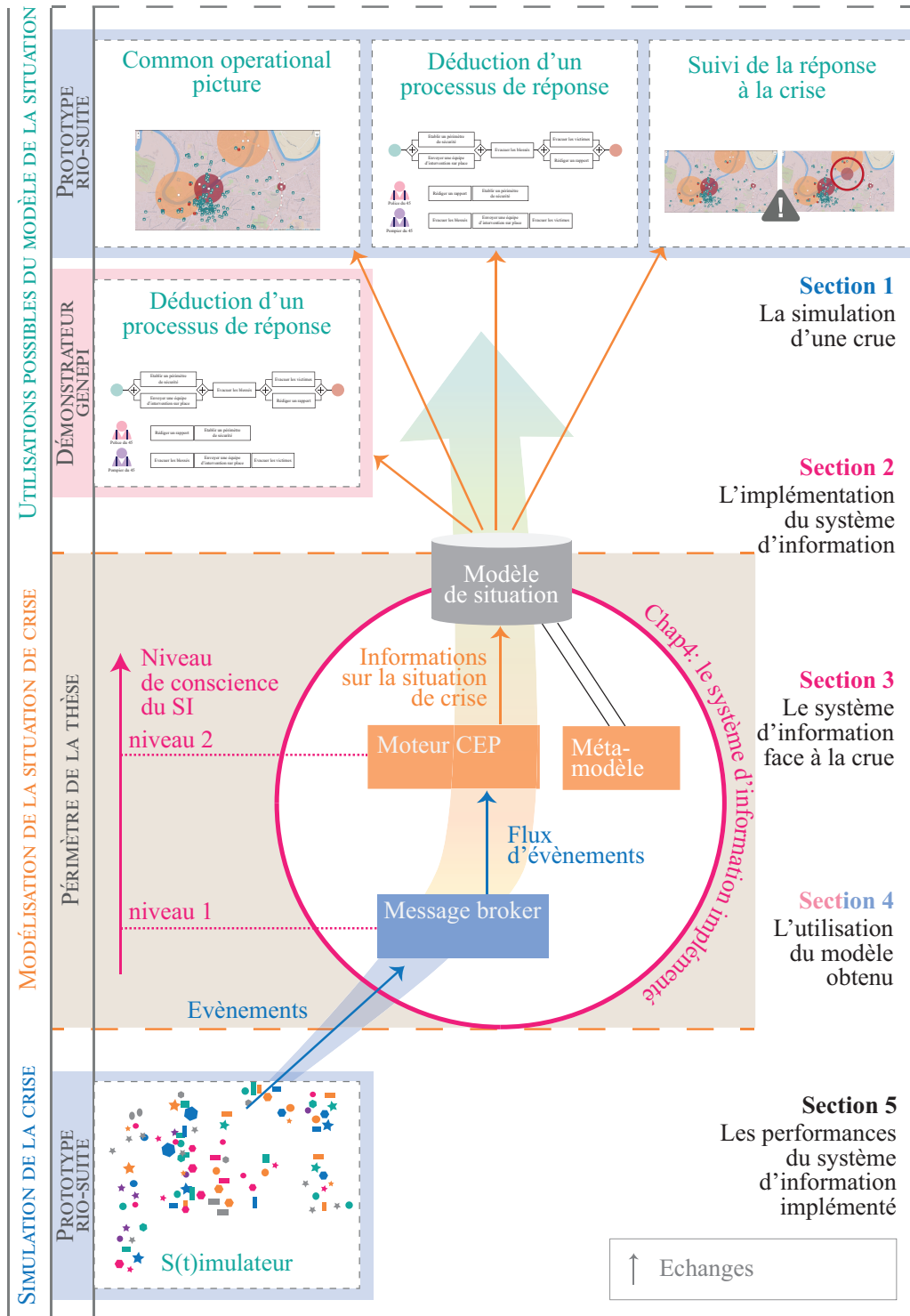


FIGURE 4.1 – Périmètre d'étude du chapitre 4

4. Cas d'application : une crue centennale en Loire Moyenne

zones inondables (Rode, 2009), du vieillissement des protections mises en place ou de l'aménagement des cours d'eau (MEDD, 2004).

Les partenaires du projet GÉNEPi ont choisi de travailler sur une crue centennale en Loire Moyenne ; la Loire moyenne est caractérisée par ses variations importantes de débits (DREAL, 2016) et ses taux importants d'endiguement et d'urbanisation. En 1856, une telle crue avait inondé 110 000 hectares où se situe aujourd'hui 300 000 personnes, 13600 entreprises et 72 000 emplois (DREAL, 2016).

Pour permettre la simulation d'un tel scénario, le CEREMA Ouest a collaboré avec les Services de Prédiction des Crues (SPC) Loire-Cher-Indre et Maine-Loire. Deux modèles de propagations ont été mis au point : une crue cinquennale et une crue centennale sur la Loire Moyenne, entre le bec d'Allier et le bec de Maine.

Dans ce chapitre, nous nous focalisons sur un événement de crue centennale qui correspond au plus fort événement de crue connu pour une région donnée (MEDD, 2004).

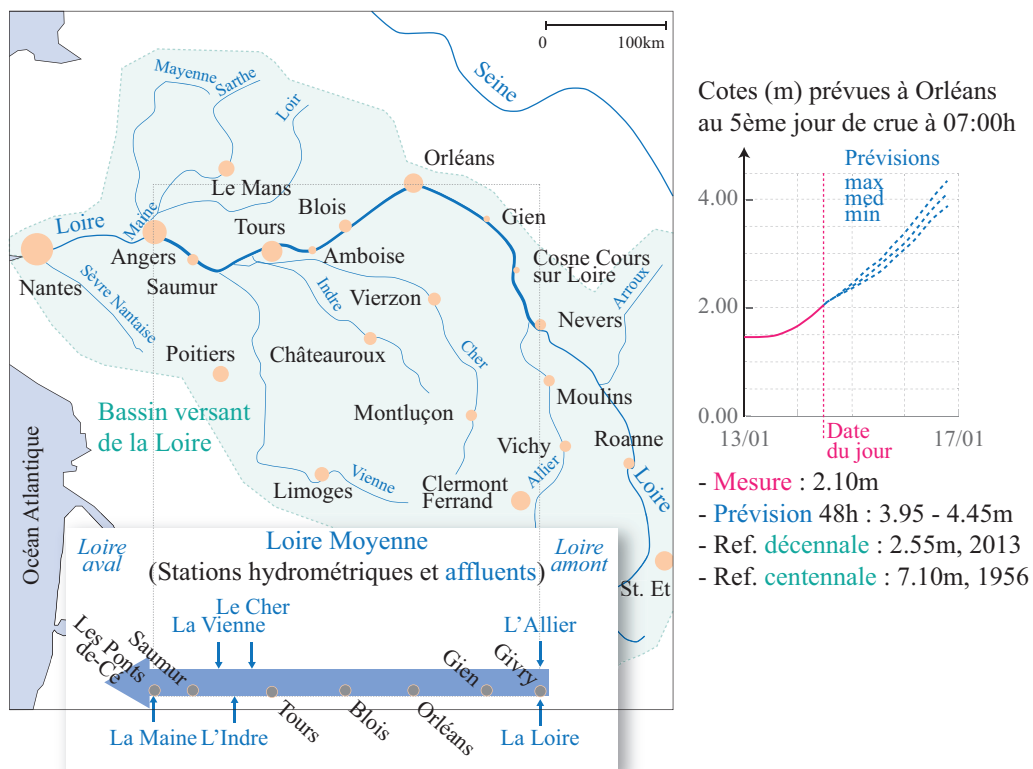


FIGURE 4.2 – La Loire Moyenne, ses affluents et ses stations hydrométriques, accompagnée d'un exemple de relevé pour le 5ème jour de crue. Inspiré de Rode (2009), Dolidon (2016b) et SHAPI et al. (2017)

La Figure 4.2 présente la géographie de la région Française correspondant à la Loire Moyenne : la Loire entre sa confluence avec l'Allier (Nevers), en amont, et sa confluence avec le Maine (Angers), en aval. Un scénario hydrométéorologique,

reporté dans [Dolidon \(2016b\)](#), modélise de manière *réaliste* les apports d'eau des six affluents présents en Loire Moyenne dans le cas d'une crue centennale. Ainsi trois relevés de *débits* et de hauteur d'eau (*côte*) journaliers ont été élaborés pour les sept stations hydrométriques de référence, localisées sur la Figure 4.2, et les 11 jours de crue prévus. Chaque relevé contient les prévisions des débits et des côtes sur les 56h à venir et selon trois échelons de probabilité : haute, médiane et basse. Un exemple de relevé hydrométrique est donné à droite de la Figure 4.2. Il correspond aux prévisions de cotes et débits d'eau, prévus sur la station de mesure située à Orléans au 11ème jour de la crue simulée par les SPCs Maine-Loire et Loire-Cher-Indre.

4.1.1 Les parties prenantes usuelles

Pour enrichir ce scénario, deux partenaires du projet GÉNéPi, le CEREMA Ouest et le laboratoire IDETCOM, ont interrogé les parties-prenantes usuelles à la réponse à une crue de la Loire. Les résultats de leurs entretiens ont servi de base à la rédaction du cahier des charges du projet ([Renou et Dolidon, 2015](#)) et ont permis de lister les principales parties-prenantes à la gestion d'une crue majeure, selon l'organisation de crise présentée dans ([Dautun et Roux-Dufort, 2011](#)). La Figure 4.3 représente ainsi le nombre de cellules de crise et de partenaires lié à chaque niveau de la chaîne stratégique française et listés ci-dessous.

Niveau chaîne stratégique	Présents en L.M.	Cellules par territoire	Partenaires par territoire
<i>Pays (France)</i>	x1	1+7	9
<i>Zone de défense</i>	x2	1	7
<i>Département</i>	x6	1	13
<i>Local</i>	x250	1	
<i>Autre</i>	x3		3
Total sur la L. M. :		266	110

Abbréviations: L.M. Loire Moyenne

FIGURE 4.3 – Récapitulatif des cellules de crises activées et des parties prenantes mobilisées, par défaut, lors de la réponse à une crue majeure en Loire Moyenne, inspiré de [Dolidon \(2016b\)](#), [Dautun et Roux-Dufort \(2011\)](#) et [SIDPC \(2005\)](#)

Au niveau national, les aspects stratégiques et tactiques de la réponse à la crise ([Dautun et Roux-Dufort, 2011](#)) sont assurés par la **Cellule Interministérielle des Crises (CIC)** qui coordonne sept cellules de crise ministérielles dont trois au sein du Ministère de l'intérieur¹. Au niveau opérationnel, le CIC recoupe les informations provenant de neuf institutions dont ([Dolidon, 2016a](#)) :

- les directions générales des services déconcentrés ;

1. Le CIC coordonne quatre cellules hébergées au Ministère de la défense, au Ministère de la santé au Ministère de l'écologie du développement durable des transports et du logement, et au Ministère des affaires étrangères et européennes

4. Cas d'application : une crue centennale en Loire Moyenne

- la société concessionnaire d'autoroutes ;
- les sept opérateurs réseaux, dont France Télécom ou GRDF ;
- le Service central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SHAPI) qui, dans le cas d'un risque inondation, recoupe les prévisions reçues des SPCs.

Au niveau de chaque zone de défense menacée par la crue, un **Centre Opérationnel de Zone (COZ)** recoupe les informations des sept services ci-dessous pour anticiper et allouer des moyens supplémentaires aux départements (Dolidon, 2016a) :

- l'état major de zone ;
- l'état major interarmées de la zone de défense et de sécurité ;
- l'agence régionale de santé ;
- la direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement ;
- le centre régional d'information et de coordination routière ;
- la direction zonale Compagnie Républicaine de Sécurité (CRS) ;
- la direction interdépartementale des routes ;

Au niveau de chaque région, dépourvue de cellule de crise, on retrouve aussi trois partenaires usuels qui se réfère au COZ de leur zone de défense (Dolidon, 2016a) :

- la direction régionale des entreprises, de la concurrence et de la consommation, du travail et de l'emploi ;
- la direction régionale des finances publiques ;
- le service interministériel régional des affaires civiles et économiques de défense et de protection civile.

Au niveau de chaque département touché, un **Centre Opérationnel Départemental (COD)** coordonne les actions pour 13 partenaires mobilisés en cas de crue majeure (Dolidon, 2016a) :

- le centre opérationnel départemental d'incendie et de secours ;
- le centre d'opération et de renseignement de la gendarmerie ;
- le système d'information et de communication ministériel ;
- la direction départementale des territoires ;
- la chambre de commerce et d'industrie ;
- le conseil général ;
- la direction départementale de la protection des populations ;
- la direction départementale de la sécurité publique ;
- la direction militaire départementale ;
- la direction des services départementaux de l'éducation nationale ;
- la gendarmerie ;
- le service d'aide médicale urgente ;
- le service départemental d'incendie et de secours.

Enfin, au niveau de chaque commune menacée par la crue, le **Poste de Commandement Communal (PCC)** doit enclencher son plan communal de sauvegarde, diriger les opérations de secours et informer sa population.

Comme illustré sur la Figure 4.3, cette organisation de crise requiert l'activation de 266² cellules de crise pour coordonner 110³ parties-prenantes autonomes, réparties à tous les niveaux de la chaîne stratégique couvrant les 250 communes menacées par une crue en Loire Moyenne (SIDPC, 2005). De plus, selon les évolutions de la crise en cours, de nouvelles parties-prenantes peuvent être mobilisées pour leur expertise ou leur soutien.

4.1.2 Les risques encourus en Loire Moyenne

Le projet GÉNÉPi a aussi permis de dresser une liste des risques pouvant impacter les enjeux des territoires menacés ou le processus de réponse suivi par les cellules de crise. Le CEREMA Ouest Dolidon (2016a) en a identifié 16 types, répartis ici en 2 catégories.

Les risques *émergents* sont directement dus aux conséquences de la crise et sont au nombre de sept (Dolidon, 2016a) :

- Le risque sanitaire pour les populations, ou les animaux ;
- Le risque d'une population démunie (sans eau, sans électricité ou sans nourriture par exemple) ;
- Le risque de panique ;
- Le risque de victimes ;
- Le risque d'aggravation de la crise ;
- Le risque de rupture d'une protection, telle que le système d'endiguement ;
- Le risque de pollution ;
- Le risque de dysfonctionnement des réseaux (routier, aérien, électrique, déchets, etc.).

Les risques d'*implémentation* sont liés à la mise en œuvre de la réponse à la crise par les parties-prenantes, qui souhaitent ainsi faire face aux conséquences de la crise (Dolidon, 2016a) :

- Le risque de manquer de moyen ;
- Le risque d'une mauvaise répartition des moyens ;
- Le risque d'oublier un acteur ou une population ;
- Le risque d'insécurité ;
- Le risque de dysfonctionnement (voir d'arrêt) du service public ;
- Le risque économique ;
- Le risque de perte de confiance dans les pouvoirs publics ;
- Le risque de mise en danger de la population.

Le métamodèle implémenté au sein du prototype RIO-Suite propose un troisième type de risque, qui n'a pas été testé par le scénario de crise GÉNÉPi : les risques *intrinsèques* (Li et al., 2018a). Par exemple, un bâtiment peut menacer de s'écrouler à cause d'une malfaçon (risque intrinsèque), suite à un tremblement de terre (risque émergent) ou lorsqu'un de ses murs est

2. $1 * 250 \text{ communes} + 1 * 6 \text{ départements} + 1 * 2 \text{ zones de défenses} + 8$

3. $13 * 6 \text{ départements} + 3 * 3 \text{ régions} + 7 * 2 \text{ zones de défense} + 9$

abattu volontairement (risque d'implémentation). Les risques intrinsèques à l'environnement de la collaboration peuvent être identifiés en phase de préparation, en amont de la situation de crise. L'intérêt du système d'information proposé dépend donc plutôt de la détection en temps réel des risques émergents.

L'objectif pour notre système d'information est d'être capable de détecter tous ces risques et tous les événements à même de les concrétiser.

4.1.3 Les enjeux présents en Loire Moyenne

Les risques émergents peuvent être identifiés grâce au raisonnement représenté sur la Figure 3.9 : les situations à risque concernent les enjeux vulnérables à un danger avéré.

Les interviews, l'étude des plans d'urgence et l'étude des bases topographiques menés par le CEREMA Ouest nous ont permis de lister 18 types d'enjeux vulnérables aux crues et présents sur la Loire Moyenne (Dolidon, 2016a) :

- les établissements d'enseignement, les établissements de santé, les établissements pénitentier ;
- les Installations classées pour la protection de l'environnement (IPPC), les installations classées SEVESO ;
- les établissements utiles à la gestion de crise ;
- les campings ou villages vacances ;
- les zones d'activité ;
- les transformateurs électriques, les antennes relais, les installations d'eau potable, les stations d'épuration, les gares, les aéroports ou aérodromes, les voies ferrées, les routes, les zones protégées et les populations.

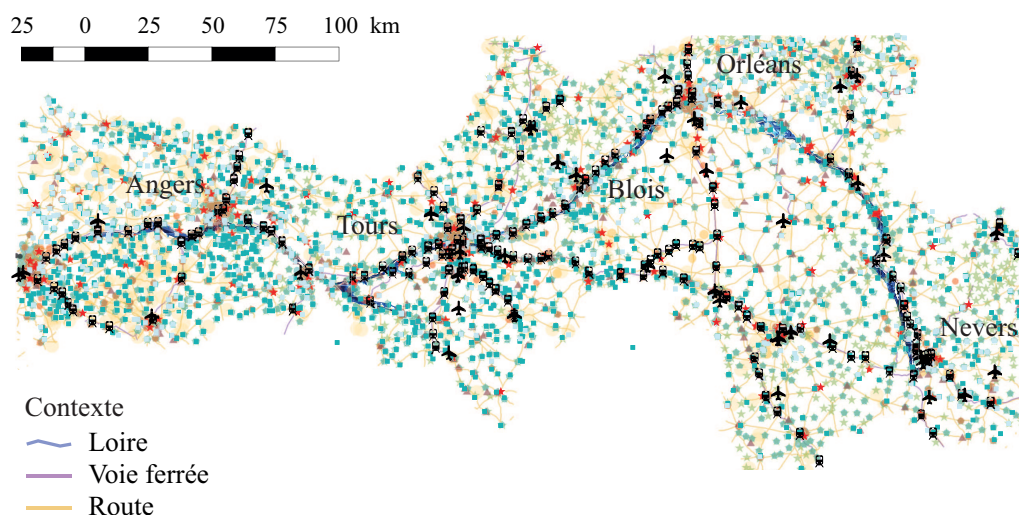


FIGURE 4.4 – Les enjeux présents en Loire Moyenne, tirés de la base de données BD TOPO® appartenant à IGN (2011) et sélectionnés par le CEREMA Ouest (Dolidon, 2016a). La légende a été omise volontairement pour respecter la confidentialité des données présentées

La Figure 4.4 illustre le Système d'Information Géographique (SIG) mis au point par le CEREMA Ouest (Dolidon, 2016a) et qui reprend les enjeux de tous les types présentés ci-dessus. A chaque type d'enjeux, un fichier a été créé pour lier le concept décrit à un de nos concepts de la couche Crise du métamodèle (cf. Figure 3.3). Un exemple est présenté en Annexe F. Ce fichier permet une transformation de modèle entre les concepts utilisés par le SIG du CEREMA et les concepts de notre métamodèle.

Ce travail a permis de valider la couverture de la partie Contexte de la couche Crise de notre métamodèle (cf. Section 3.1.3), sur 15569⁴ points d'intérêt.

4.2 L'implémentation du système d'information proposé

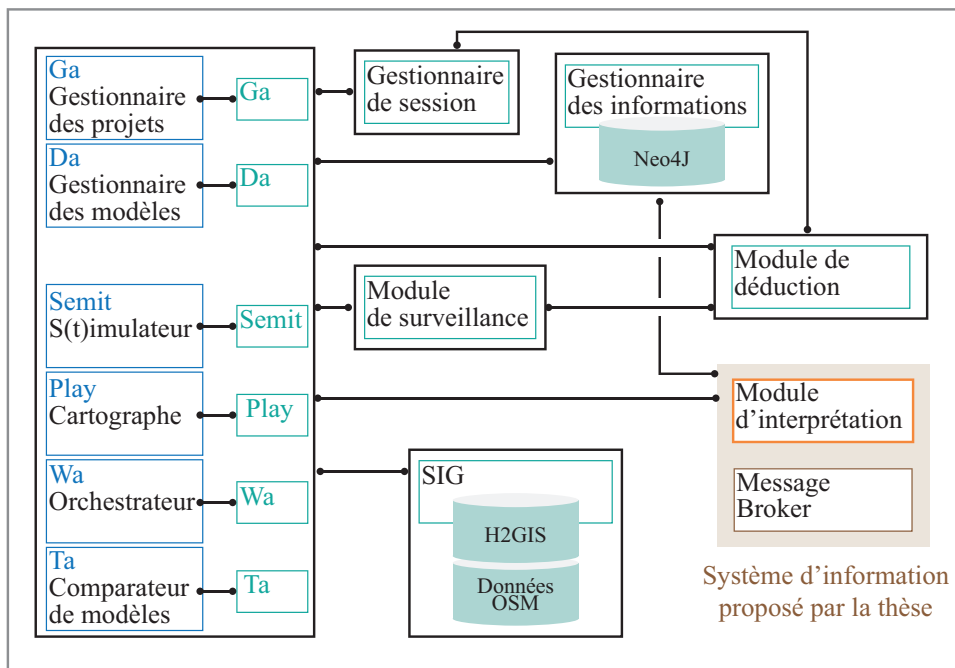
Le scénario d'une crue centennale en Loire Moyenne, avec ses parties-prenantes, ses enjeux et ses risques, peut maintenant être utilisé pour tester le système d'information présenté au chapitre 3. Pour ce faire, celui-ci doit d'abord être implémenté dans un système informatique. Nous avons convenu d'implémenter le système d'information proposé directement dans le logiciel RIO-Suite, hébergé par le laboratoire CGI.

Le prototype RIO-Suite, originaire des prototypes logiciels IO-Suite (Benaben et al., 2017) et Pro-(R)isk (Nguyen et al., 2013; Marmier et al., 2014), est dédié à supporter la gestion des (R)isques et l'(I)nteropérabilité au sein de collaborations d'(O)rganisations. RIO-Suite est ainsi porté par une architecture commune à plusieurs projets de recherche.

4.2.1 Le système d'aide à la décision implémenté

Avec le prototype RIO-Suite, nous avons hérité de la version du métamodèle originaire des travaux de Benaben et al. (2017), d'une interface homme/machine, d'un gestionnaire de session, d'une base de données orientée graphe conservant le modèle de situation, d'un module de déduction capable de déduire un processus de réponse collaboratif adapté à la situation décrite par le modèle enregistré dans la base, d'un orchestrateur capable de jouer le processus déduit entre les parties-prenantes à la crise, et d'un module de surveillance capable de comparer le modèle de la situation de crise à la situation attendue au lancement du processus de réponse. Chaque partie de l'architecture comprend des fonctionnalités qui répondent aux besoins de l'utilisateur (*frontend*) ou qui sont nécessaires à leur fonctionnement (*backend*). Les modules, représentés par des boîtes sur la Figure 4.5, s'organisent autour d'une Architecture orientée services (« Service Oriented Architecture (SOA) ») telle que définie dans (Brown et al., 2002).

4. 47 aéroports ou aérodromes, 213 gares, 798 installations d'eau potable, 1732 stations d'épuration, 2467 antennes relais, 254 transformateurs électriques, 10 établissements pénitenciers, 519 Campings ou villages vacances, 856 établissements hospitaliers, 4787 établissements scolaires, 3120 établissements utiles à la gestion de crise, 518 IPPC, 85 établissements classés SEVESO et 163 ouvrages de protection.



Un utilisateur peut se connecter via *RIO-Ga (Governance assistant)* pour créer un nouveau projet de collaboration. Le *module de session* lie les données par projet et par utilisateur. Ce dernier peut sélectionner un cas d'application existant ou peut modéliser **manuellement** sa situation collaborative. A partir du **modèle de situation** enregistré dans une base de données orientée graphes (*Neo4J*), le *module de déduction* propose un processus adapté aux objectifs de la collaboration. *RIO-Wa (Workflows assistant)* orchestre le processus validé entre les partenaires décrits par l'utilisateur. Pendant l'orchestration, des données de suivies sont transmises au *module de surveillance* et *RIO-Ta (Tracker assistant)* qui compare la situation de crise (**le modèle terrain**) avec la situation que peuvent attendre les décideurs du processus de réponse enclenché (le modèle attendu).

FIGURE 4.5 – Les modules composant l'architecture du prototype logiciel RIO-Suite au 13/07/2018 tirée de [Salatgé et al. \(2018\)](#) et organisée sur deux niveaux d'utilisation (frontend ou backend)

La Figure 4.5 illustre l'architecture du prototype RIO-Suite, couplée à l'architecture, détaillée au chapitre 3, du système d'information proposé. Elle permet maintenant de mettre à jour le modèle de situation de crise, au fur et à mesure des événements, grâce à :

- la collecte d'événements informatiques, selon des topics prédéfinis ;
- l'interprétation des événements collectés, grâce à des règles Complex Event Processing (CEP) élaborées à partir de règles métier, pour automatiquement tenir à jour l'ensemble des instances composant le modèle de la situation de crise.

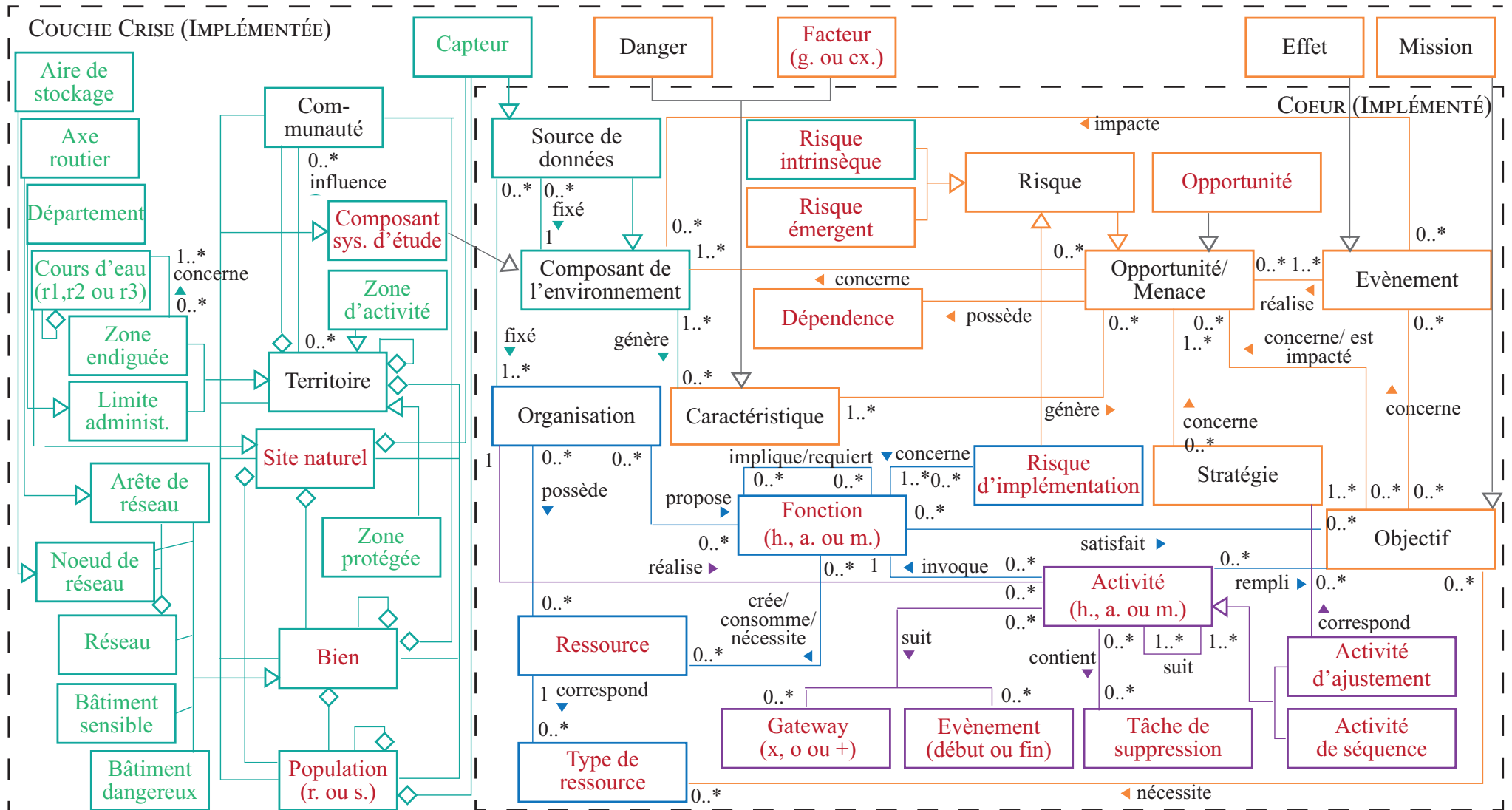
Pour permettre le test et l'utilisation de ces deux nouveaux modules « Collecte » et « Interprète », l'équipe de développement (Salatgé et al., 2018) de RIO-Suite a choisi de mettre au point :

- un « S(t)imulateur », et son interface utilisateur RIO-Semit, qui permettent d'émettre en cadence des événements informatisés par nos soins pour simuler une situation de crise lors d'un exercice ;
- une interface supplémentaire, appelée RIO-Play (*Field assistant*), prenant la forme d'une COP pour présenter les informations contenues dans le modèle de situation aux décideurs en cellule de crise.

4.2.2 Le métamodèle implémenté

Le prototype logiciel RIO-Suite se réfère à une version du métamodèle Cœur présentée à la section 3.3. La Figure 4.6 représente ce métamodèle tel qu'il était implémenté en Janvier 2018, à la clôture du projet GéNéPi. Certains concepts, écrits en vert, ont été ajoutés au cours des travaux présentés dans ce manuscrit. Parmi ces concepts, ceux décrivant le Contexte d'une collaboration de crise, encadrés en vert sur la Figure 4.6, ont été particulièrement retravaillés. Grâce à eux, tous les types d'enjeux identifiés par le CEREMA Ouest (cf. Figure 4.4) pourront être représentés au bon niveau d'abstraction. Les fichiers sources décrivant cette partie du métamodèle sont disponibles en Annexe G.

Concepts (différents, équivalent à la théorie, ou ajoutés/généralisés par la thèse) liés au: **Contexte de la collaboration**; **Objectifs de la collaboration et aux Risques la menaçant**; **Partenaires de la collaboration, leur Savoir-faire et leur Ressources**; **Processus collaboratif** (selon le langage BPMN) (Salatgé et al, 2018)



Remarque: tous les concepts héritent d'un concept abstrait qui n'est pas représenté ici. Abréviations: sys. système, m. de médiation, h. humaine, a. artificielle, g. gravité, cx. complexité, r. résidente, s. saisonnière, r1 ruisseau, r2 rivière, r3 fleuve, administ. administrative (communale, départementale, régionale, zonale ou nationale)

FIGURE 4.6 – Le métamodèle proposé tel qu'implémenté dans RIO-Suite, en Janvier 2018, à la clôture du projet GénÉPi

4.3 Le fonctionnement du système d'information mis au point

La nouvelle version de RIO-Suite, implémentant le système d'information proposé, peut maintenant être testée sur le scénario de crise décrit à la section 4.1.

4.3.1 La simulation d'une crue centennale en Loire Moyenne

La première étape consiste à créer les sources de données hydrauliques, qui simulent l'envoi journalier des prévisions des SPCs (cf. Figure 4.2). Elles sont au nombre de 10 et couvrent les villes de Blois, Gien, Givry, Langeais, Montjean, Orléans, Pont de Cé, Saumur et Tours. Chacune a permis la création d'un capteur simulant l'émission journalière d'un relevé contenant les prévisions hydrométéorologiques heure par heure, pour les 56h à venir. Un aperçu de ces événements est disponible en Annexe H.

Pour répondre à notre hypothèse 3, sur la variété des données en entrée, les données simulées par les SPCs, ont été retranscrites selon un schéma commun présenté sur la Figure 4.7. Le format Extensible Markup Language (XML) utilisé ici comme modèle est décrit dans (Bray et al., 2008) et est recommandé par les standards OASIS présentés au chapitre 3.

Schéma XML décrivant un événement de type «Prévision hydraulique»

1. Type décrit	<xsd:element name="Event_ForecastMeasures">
2. Attributs possibles pour les événements	
de type «Event_ForecastMeasures»:	<xsd:complexType><xsd:sequence>
Id	<xsd:element name="id" type="xsd:string" />
date	<xsd:element name="date" type="xsd:dateTime" />
nom de la station de mesure	<xsd:element name="stationName" type="xsd:string" />
latitude de la station de mesure	<xsd:element name="stationLat" type="xsd:float" />
longitude de la station de mesure	<xsd:element name="stationLong" type="xsd:float" />
heure de la prévision	<xsd:element name="nbHours" type="xsd:int" />
débit prévu (prévision basse)	<xsd:element name="f_min" type="xsd:float" />
débit prévu (prévision médiane)	<xsd:element name="f_med" type="xsd:float" />
débit prévu (prévision haute)	<xsd:element name="f_max" type="xsd:float" />
côte prévue (prévision basse)	<xsd:element name="wl_min" type="xsd:float" />
côte prévue (prévision médiane)	<xsd:element name="wl_med" type="xsd:float" />
côte prévue (prévision haute)	<xsd:element name="wl_max" type="xsd:float" />
	</xsd:sequence></xsd:complexType></xsd:element>

FIGURE 4.7 – Le schéma XSD, mis au point pour encadrer l'émission des événements de type hydraulique

Le type d'évènement hydraulique décrit sur la Figure 4.7 permet à la source émettrice de communiquer :

- son nom, sa latitude, sa longitude ;
- l'identifiant et la date d'émission de l'évènement qu'elle émet ;
- l'heure de la prévision, par rapport à la date d'émission de l'évènement, le débit prévu selon une fourchette (haute, médiane et basse) et la côte prévue selon la même fourchette de valeurs.

De la même façon, il a fallu mettre au point un schéma commun aux événements trafic. Il est disponible sur la Figure 4.8 et permet à chaque station de mesure de communiquer :

4. Cas d'application : une crue centennale en Loire Moyenne

Schéma XML décrivant un évènement de type «Prévision hydraulique»

1. Type décrit	<code><xsd:element name="Event_TrafficMeasures"></code>
2. Attributs possibles pour les évènements de type «Event_TrafficMeasures»:	<code><xsd:complexType><xsd:sequence></code>
Id	<code><xsd:element name="id" type="xsd:string" /></code>
date	<code><xsd:element name="date" type="xsd:dateTime" /></code>
nom de la station de mesure	<code><xsd:element name="stationName" type="xsd:string" /></code>
latitude de la station de mesure	<code><xsd:element name="stationLat" type="xsd:float" /></code>
longitude de la station de mesure	<code><xsd:element name="stationLong" type="xsd:float" /></code>
direction n°1 (ville)	<code><xsd:element name="direction1" type="xsd:string" /></code>
direction n°2 (ville)	<code><xsd:element name="direction2" type="xsd:string" /></code>
nombre de P.L. direction n°1	<code><xsd:element name="pl1" type="xsd:int" /></code>
nombre de véhicules direction n°1	<code><xsd:element name="tv1" type="xsd:int" /></code>
nombre de P.L. direction n°2	<code><xsd:element name="pl2" type="xsd:int" /></code>
nombre de véhicules direction n°2	<code><xsd:element name="tv2" type="xsd:int" /></code>
	<code></xsd:sequence></xsd:complexType></xsd:element></code>

Abbreviations: P.L. poids lourd, T.V. tout véhicule

FIGURE 4.8 – Le schéma XSD, mis au point pour encadrer l'émission des évènements de type trafic

- son nom, sa latitude, sa longitude, les deux villes aux extrémités de la route qu'elle surveille (direction n°1 et direction n°2);
- l'identifiant et la date d'émission de l'évènement qu'elle émet;
- le nombre journalier de camions allant vers la direction n°1, le nombre journalier de camions allant vers la direction n°2 et de même avec les véhicules légers.

Un aperçu des évènements trafic mis à disposition dans le scenario d'une crue majeure en Loire Moyenne est disponible en Annexe H.

La simulation de la crue centennale est lancée par un utilisateur, via l'interface RIO-Semit du « S(t)imulateur » : à chaque jour simulé, les capteurs correspondants doivent être lancés. Les évènements qu'ils émettent sont reçus par le Message broker (cf. Figure 3.11). Celui-ci peut alors les transmettre à tous les services abonnés, dont le module d'interprétation.

4.3.2 L'interprétation des évènements en un modèle de la situation courante

Pour le scénario d'une crue centennale, les règles d'interprétation ajoutées au moteur CEP utilisent le raisonnement expliqué sur la Figure 3.9 : les règles de niveau 1 identifient des dangers, et les règles de niveau 2 les incidents et les risques auxquels doivent faire face les cellules de crise.

Ces règles métiers, fournies par le CEREMA Ouest, ont été implémentées en langage **SIDDHI QL**⁵ qui permet de traiter des flux d'évènements pour en déduire des évènements complexes (cf. Figure 3.7). L'avantage principal de ce langage réside dans les fonctions qui peuvent être décrites et ajoutées manuellement. Par exemple, nos règles utilisent régulièrement une fonction ajoutée et permettant d'interroger la base Neo4J de RIO-Suite pour récupérer un certain type d'instances du modèle de situation, comme les bâtiments sensibles sur un territoire menacé.

5. <https://docs.wso2.com/display/CEP300/Introduction+to+Siddhi+Query+Language>

Le scénario d'une crue centennale, proposé par les partenaires du projet GÉNéPi, a permis de tester quatre règles de niveau 1 et six règles de niveau 2, caractéristiques de trois moments de la gestion de crise. Les premières règles se basent sur une prévision d'inondation centennale « probable », quelques jours avant la montée des eaux. Les autres se déclenchent lorsque le danger se renforce devenant « très probable » ou « imminent ». Dès lors, les risques ne sont plus déduits à l'échelle d'une ville menacée, mais à l'échelle d'un bâtiment, comme une école ou un hôpital. Enfin, si une brèche apparaît sur une levée, les incidents sont eux aussi identifiés enjeu par enjeu.

Toutes ces règles sont tirées des plans d'urgence utilisés aujourd'hui par les cellules de crise pour réagir aux crues majeures en Loire Moyenne. Ce travail a été réalisé notre partenaire du projet GÉNéPi : le CEREMA Ouest, qui a pu choisir les règles métier à implémenter, par ordre de priorité pour tester notre système d'aide à la décision.

La Figure 4.9 présente les règles de niveau 1 utilisées par le module d'interprétation pour déduire :

- un danger d'inondation probable, ici dans le Loiret et le Loir-et-Cher, grâce aux données simulées des stations de mesure à Orléans, Gien et Blois. Le cas du Loir-et-Cher est présenté sous sa forme originelle, en SIDDHI QL, dans l'encart bleu ;
- un danger d'inondation très probable en Loire Moyenne, à partir des données simulées de la station de Givry, en aval du bec d'Allier ;
- un danger d'inondation imminent, ici pour le Loiret, à partir des données simulées des stations de mesure d'Orléans et de Gien.

La Figure 4.10 présente les règles de niveau 2 utilisées par le module d'interprétation pour déduire les risques liés aux enjeux présents en Loire Moyenne :

- un risque de submersion d'un enjeu déduit du danger probable d'inondation, dans le Loiret ou le Loir-et-Cher, et de la présence d'un bâtiment sensible dans la zone de danger ;
- un risque de submersion très probable en zone urbaine déduit du danger très probable d'inondation dans le Loiret ou le Loir-et-Cher ;
- un risque de submersion imminente de maison de retraites dans le Loiret, déduit du danger imminent d'inondation dans le département et de la présence de maisons de retraite dans la zone de danger. Cette règle est présentée sous sa forme originelle, en SIDDHI QL, dans l'encart bleu. La partie jaune correspond à la requête envoyée à la base de données Neo4J pour récolter des informations sur le modèle de situation courant ;
- un risque de coupure imminente d'eau potable à Orléans, déduit du danger imminent d'inondation dans le département et de la présence d'une station d'eau potable à Orléans, au sein de la zone de danger ;
- un risque de coupure imminente de l'A71, déduit du danger imminent d'inondation dans le Loiret et de la présence d'une des portions de l'autoroute en zone inondable. Ici, la règle est dédiée à une instance en particulier : la règle recherche toutes les instances du concept « axe routier » qui s'appellent « A71 » et qui sont présentes dans la zone de danger ;

RÈGLES DE NIVEAU 1

Type d'événement		→ Danger
Mesure hydraulique	SI Ceau(ORLEANS) > 5m OU Ceau(GIEN) > 4.5m	Inondation probable Loiret
Mesure hydraulique	SI Ceau(BLOIS) > 4.1m	Inondation probable Loir-et-Cher
Mesure hydraulique	SI Deau(GIVRY) > 3500m ³ /s	Inondation très probable Loire Moyenne
Mesure hydraulique	SI Ceau(ORLEANS) > 5.5m	Inondation imminente Loiret

Règle CEP en SIDDHI QL pour «dan01»: «Inondation probable Loir-et-Cher»

```
define stream Mesure_hydraulique (id string, date string, stationName string,
    stationLat float, stationLong float, nbHours int, f_min float,
    f_med float, f_max float, wl_min float, wl_med float, wl_max float);
from Event_ForecastMeasures[stationName == 'BLOIS' and wl_max > 4.1] select
    'Loire Flooding response' as collaborationName,
    'Loire Flooding' as knowledgeSpaceName,
    'Inondation probable Loir-et-Cher' as node_name,
    'Flood' as node_type, wl_max as node_threshold, '1' as node_gravity,
    'characteristic' as node_role0, 'danger' as node_role1,
    '60000' as node_radius,
    stationLat as node_longitude, stationLong as node_latitude,
output first every 30 events
insert into addNodeEvent;
```

Extrait du modèle de situation correspondant

:Danger	:Danger
id: dan01 nom: Inondation probable Loir-et-Cher type: Flood threshold: 4.263 gravity: 1 radius: 60000 latitude: 1.3351479 longitude: 47.584957	id: dan02 nom: Inondation probable Loiret type: Flood threshold: 5.12 gravity: 1 radius: 60000 latitude: 1.9047891 longitude: 47.897324
id: dan04 nom: Inondation imminente Loiret type: Flood threshold: 5.642 gravity: 3 radius: 60000 latitude: 1.9047891 longitude: 47.897324	id: dan03 nom: Inondation très probable Loire Moy. type: Flood threshold: 3956 gravity: 2 radius: 180000 latitude: 3.072113 longitude: 47.015995

*Ceau(Ville) = côte de la Loire à une station de mesure de la Ville

** Deau(Ville) = débit d'eau de la Loire à une station de mesure de la Ville

FIGURE 4.9 – Les règles d'interprétation utilisées pour les quatre dangers déduits dans le cadre du scénario GÉNéPi

RÈGLES DE NIVEAU 2: LES RISQUES

* p. probable, t.p. très probable, sub. submersion

Type d'Enjeu	X Danger	- - - - - → Risques	Application
Bâtiment sensible	Inondation probable	SI ∃ bâtiment sensible € danger(lat,long, radius)	Submersion probable d'un enjeu Loiret et Loir-et-Cher
Val urbanisé	Inondation très probable	—	Submersion très p. en zone urbaine Loiret et Loir-et-Cher
Maison de retraite	Inondation imminente	SI ∃ bâtiment sensible € danger(lat,long, radius) / type =«retirement home»	Submersion imminente de maisons de retraite Loiret, pour trois maisons de retraite d'Orléans
Station d'eau potable	Inondation imminente	SI ∃ bâtiment sensible € danger(lat,long, radius) / type =«water station»	Coupure imminente d'eau potable Loiret pour la station d'Orléans
Autoroute A71	Inondation imminente	SI ∃ axe routier € danger(lat,long, radius)/ nom = «A71»	Coupure imminente autoroute A71 Loiret pour l'A71
Digue	Inondation imminente	—	Rupture imminente Loiret pour la digue d'Orléans

Extrait du modèle de situation correspondant

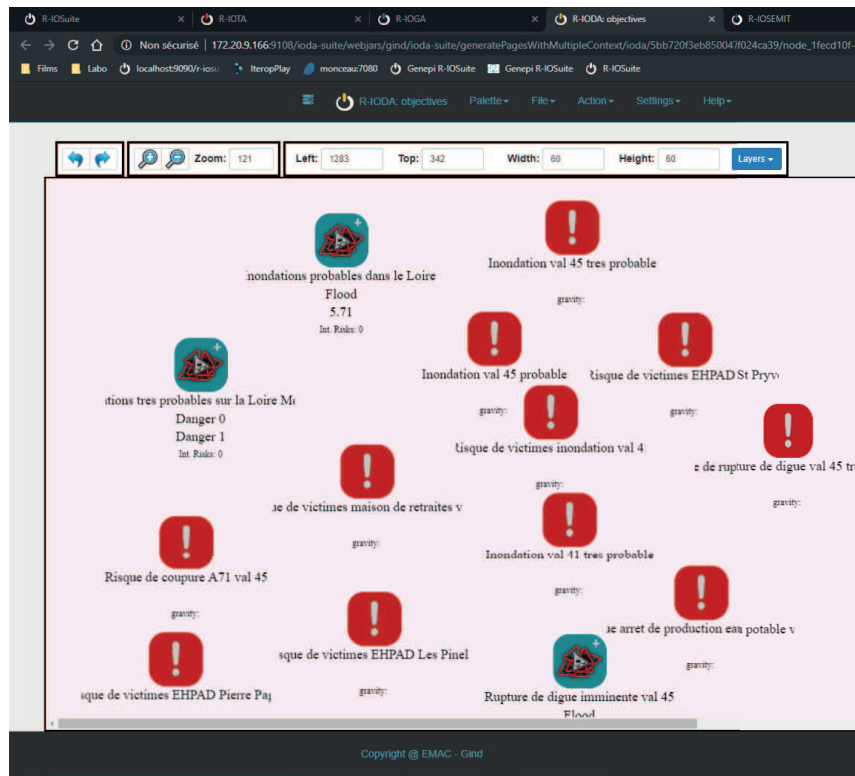
:Risque id: ris01 nom: Sub. p. d'un enjeu Loiret latitude: 1.9047891 longitude: 47.897324	:Risque id: ris02 nom: Sub. p. d'un enjeu Loir-et-Cher latitude: 1.3351479 longitude: 47.584957
:Risque id: ris03 nom: Sub. t.p. en zone urbaine Loiret latitude: 1.9047891 longitude: 47.897324	:Risque id: ris04 nom: Sub. t.p. en zone urbaine Loir-et-Cher latitude: 1.3351479 longitude: 47.584957
:Risque id: ris05 nom: Coupure imminente eau potable Orléans latitude: 1.9995117 longitude: 47.847725	:Risque id: ris06 nom: Coupure imminente autoroute A71 latitude: 1.856553 longitude: 47.891591
	:Risque id: ris07 nom: Rupture Digue d'Orléans imminente latitude: 2.035 longitude: 47.855

Règle CEP en SIDDHI QL pour «ris01»: «Submersion imminente d'une maison de retraite»

```
define stream addNodeEvent (inputnode object);
from addNodeEvent[inputnode_type=='Danger' and inputnode_name=='Inondation imminente Loiret']#cypher:query("MATCH(n:sensitive_building) WHERE n_altitude < $1 and n_type = 'Retirement home' WITH distance(point({n_long,n_lat}), point({$2,$3})) AS dis WHERE dis < $4 RETURN nn", 'Loire Flooding response', 'resCypher', inputnode_threshold, inputnode_long, inputnode_lat, inputnode_rayon) select resCypher as model, 'Loire Flooding response' as collaborationName, 'Loire Flooding' as knowledgeSpaceName, 'Submersion Retirement home Loiret' as node_name, 'characteristic' as node_role0, 'risk' as node_role1, stationLat as node_longitude, stationLong as node_latitude, having not(model is null) insert into addNodeEvent_New;
```

FIGURE 4.10 – Les règles d'interprétation utilisées pour les six risques déduits dans le cadre du scénario GÉNéPi

PARTIE OBJECTIFS DU MODÈLE DE SITUATION



PARTIE OBJECTIFS DU MODÈLE DE SITUATION, VUE DE LA COP

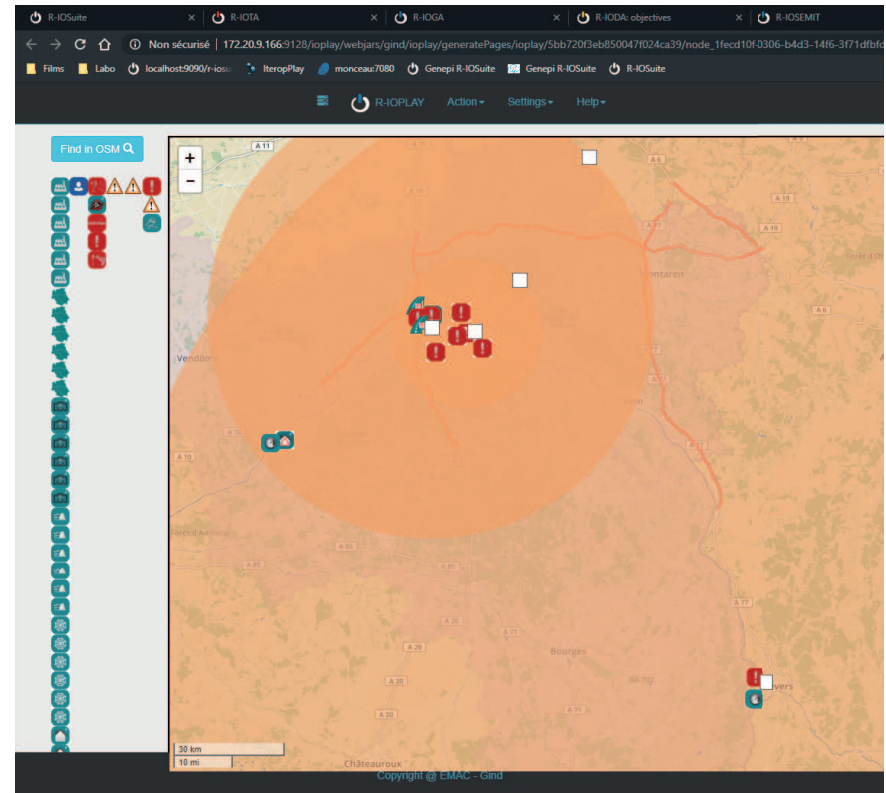


FIGURE 4.11 – La partie Objectifs du modèle de situation mise à jour automatiquement par le système d'information proposé

- un risque imminent de rupture de digue à Orléans déduit directement, sans condition, du danger imminent d'inondation dans le Loiret ; la règle est directement dictée par une règle métier.

Toutes les règles, testées sur le scénario GÉNéPi et décrites en langage SIDDHI QL, sont disponibles en Annexe I. Quelques règles ont aussi été testées en parallèle, comme, par exemple, la règle permettant de vérifier que la mesure « évacuer Orléans » est bien appliquée. Cette règle compare les évènements de trafic au trafic moyen journalier pour détecter des ralentissements et donc une évacuation.

Chaque instance ajoutée au modèle de la situation instancie l'un des concepts de la partie **Objectifs** du métamodèle présenté à la Figure 4.6. Ces instances, présentées à gauche des Figures 4.9 et 4.10, sont visibles sur la Figure 4.11. Cette dernière présente deux vues du modèle de la situation entre Orléans et Givry. A gauche, la vue énumère les Dangers (en verts) et les Risques (en rouges) menaçant le territoire touché. A droite, les instances sont présentées sur une carte jouant le rôle de COP. Les zones oranges représentent les zones de Danger, les icônes vertes les Enjeux (de la partie **Contexte**) utilisés pour déduire les Risques, représentés par des icônes rouges.

4.4 L'utilisation du modèle de situation mis à jour

Cette section présente des travaux du centre de recherche et des partenaires du projet GÉNéPi. Il ne s'agit pas de présenter de nouvelles contributions, mais de mettre en évidence le potentiel d'utilisation des résultats obtenus. Cette section trace donc quelques connections explicites avec des travaux de recherche et d'innovation en cours.

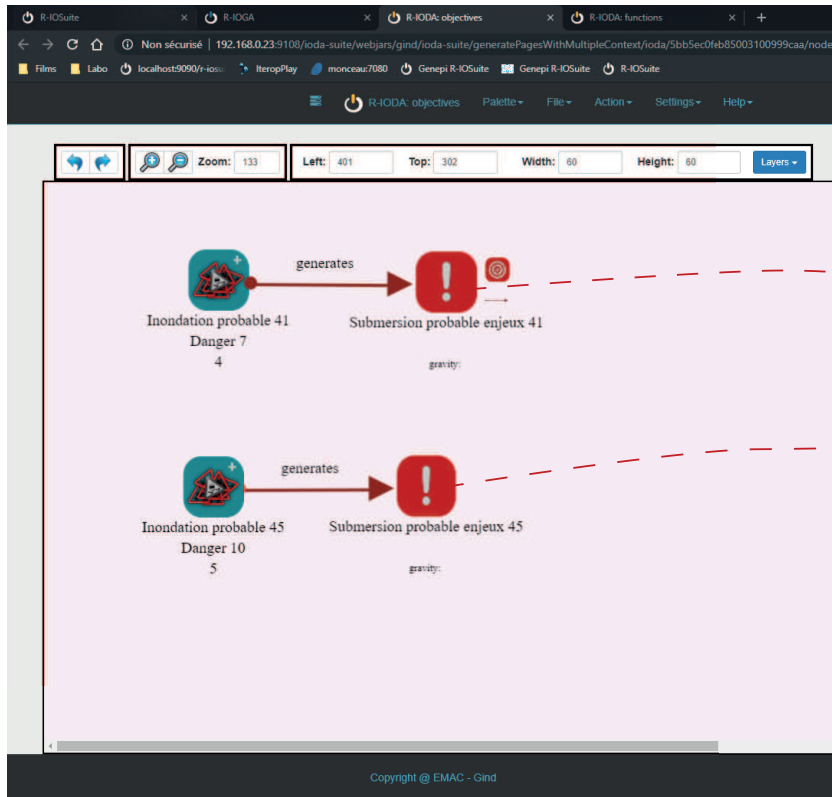
4.4.1 Le modèle de la situation de crise pour déduire un processus de réponse adapté

Dans le cadre de GÉNéPi, le modèle de situation, obtenu grâce à notre système d'information, est transmis à l'IRIT.

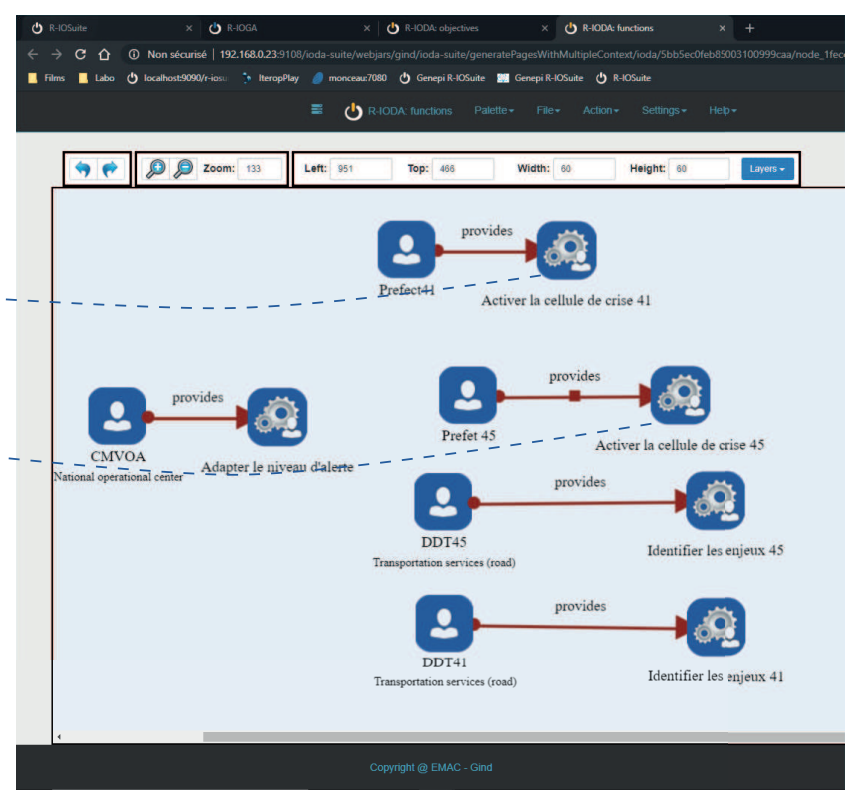
L'équipe de recherche de ce laboratoire utilise son propre métamodèle pour décrire une situation de crise. Une transformation de modèles, mise au point entre les concepts de notre métamodèle et les concepts de l'IRIT, a donc du être mise en place au sein de RIO-Suite, au bénéfice du projet GÉNéPi.

Au sein de RIO-Suite, le modèle de situation est mis à disposition du « module de déduction » (cf. Figure 4.5).

PARTIE OBJECTIFS DU MODÈLE DE SITUATION

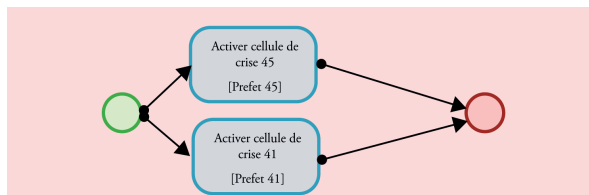


PARTIE PARTENAIRES DU MODÈLE DE SITUATION



EXTRAIT DE LA
BASE DE CONNAISSANCE

PROCESSUS DÉDUIT GRÂCES AUX RELATIONS LIANT LES INSTANCES LES UNES AUX AUTRES



— ➤ Lien «near» entre une instance de la base de connaissance et une instance du modèle de situation

- - ➤ Relation «contributes to prevent» entre un Risk et une Capacité

FIGURE 4.12 – Le processus déduit par le "module de déduction" de RIO-Suite pour prévenir les risques d'inondation probable dans le 45 (Loiret) et le 41 (Loir-et-Cher)

Le module de déduction fait appel à une base de connaissances constituée au fil des exercices de gestion de crise, ou plus généralement, au fil des collaborations. Chaque instance du modèle peut ainsi être associée à une instance de crise passée. Par exemple, le risque de « coupure imminente de l'A71 » peut être rapproché d'un risque, plus abstrait, de « coupure d'une route nationale ». Ainsi, si une capacité connue en phase de préparation peut répondre à ce dernier risque, tout en étant liée à une capacité réellement disponible en phase de réponse, un processus de réponse adapté peut être déduit.

La Figure 4.12 montre un exemple de déduction de processus de réponse. L'interface en haut à gauche montre les instances correspondant à la partie **Objectifs** du métamodèle. Ellesinstancient les concepts de Danger en vert et de Risque en rouge. L'interface en haut à gauche montre les instances correspondant à la partie **Partenaires** du métamodèle. Ellesinstancient les concepts Partenaire et Capacité, représentés respectivement par une tête et des engrenages.

Un **Danger** génère un **Risque** et un **Partenaire** propose des **Capacités** pour prévenir ces Risques.

Les risques étant ajoutés automatiquement par notre système d'information pendant la crise, les capacités ne peuvent pas être liées à eux en phase de préparation. A leur création, les capacités sont donc rapprochées d'instances plus abstraites de la base de connaissance. Ainsi, les relations, en bleues sur la Figure 4.12, sont ajoutées en amont de la crise. Ici, une cellule de crise sera activée si un risque de type « flood likely » est identifié.

A leur création, les risques générés sont eux aussi rapprochés d'instances plus abstraites de la base de connaissance. Les règles d'interprétation présentées à la Figure 4.10 génèrent ainsi un attribut de plus : l'identifiant d'un concept similaire connu. Ici, le risque « submersion probable enjeux 41 » est considéré proche de l'instance de risque « flood likely 41 ». Grâce à ce dernier lien, en rouge sur la Figure 4.12, le module de déduction de Rio-Suite peut automatiquement proposer la capacité « activer cellule de crise 41 » pour prévenir le risque « submersion probable enjeux 41 ». Le processus, présenté en bas à gauche de la figure, peut alors être déduit.

4.4.2 Le modèle de la situation de crise pour mettre à jour la COP en cellule de crise

Le modèle est aussi transmis au module RIO-Play (*Field assistant*) de RIO-Suite chargé de mettre à jour la COP affichée en cellule de crise.

La forme des informations disponibles sur la COP dépend des attributs de chaque concept instancié. Par exemple, parmi les concepts dédiés à décrire le contexte de la collaboration de crise (cf. Figure 3.3 :

- les nœuds de réseaux, les bâtiments sensibles, les individus et les risques (associés à leur enjeu) sont représentés par des « points » et une icône dédiée ;

4. Cas d'application : une crue centennale en Loire Moyenne

- les réseaux, comme le réseau électrique, et les protections, comme les digues, sont représentés sous forme de « polygones » d'une certaine couleur ;
- les communautés, les territoires, les incidents et les dangers sont, quant-à eux, représentés sous formes de « polygones » formant une zone colorée, non opaque, d'une certaine couleur.

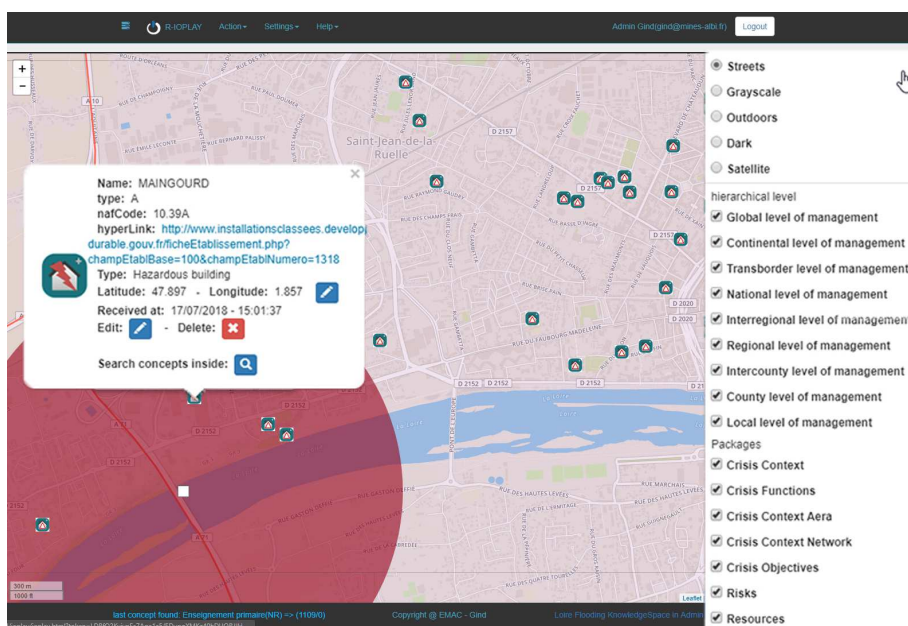


FIGURE 4.13 – Capture d'écran de l'interface RIO-Play adapté à une cellule de crise au niveau départemental, zoom sur la zone inondée proche de l'A71

La Figure 4.13 présente la COP telle qu'elle a été souhaitée par le laboratoire CGI. A ce moment-ci de la réponse à la crise, un bâtiment sensible classé dangereux, Maingourd, est inondé et l'utilisateur peut :

- accéder à la fiche IPPC de l'industrie concernée, grâce au lien disponible sur la fiche descriptive de l'enjeu ;
- adapter la COP à ses besoins courants, en sélectionnant les informations affichées selon leur place dans la hiérarchie au sein de la collaboration, grâce à l'encart à droite de l'écran ;
- modifier une information contenue dans le modèle de situation, grâce à l'action « edit » disponible sur la fiche descriptive.

Dans le cas d'une crue majeure en Loire Moyenne, la hiérarchie des services correspond à la chaîne stratégique illustrée sur la Figure 4.3.

Comme référence pour le projet GÉNéPi, Dolidon (2016a) a documenté la place de chacune des parties prenantes usuelles dans la chaîne stratégique. Par exemple, le Centre Régional d'Information et de Coordination Routière (CRICR) évolue au niveau de la zone de défense alors que la Direction Départementale des Territoires (DDT) répond du niveau départemental.

4.4.3 Le modèle de la situation de crise pour réagir aux imprévus

Le modèle de situation, mis à jour par le système d'information proposé, est aussi transmis au module de surveillance de RIO-Suite, représenté sur la Figure 4.5.

Le module de surveillance, et son interface utilisateur RIO-Ta (*Tracker assistant*), sont chargés d'illustrer l'évolution de la situation de crise. Pour ce faire, le modèle de situation, mis à jour à partir des événements simulés, est présenté à côté d'un autre modèle (le modèle attendu) mis à jour à partir des données provenant de l'orchestration du processus de réponse. Par exemple, si un ordre de « déviation de l'autoroute A71 » est émis, RIO-Ta peut supprimer le risque de « submersion de véhicule sur l'A71 » du modèle attendu dès la validation de la tâche. Par contre, le risque sera supprimé du modèle de situation seulement si les données de trafic de cette partie de l'autoroute s'avèrent nulles. Ainsi, le module de surveillance sera capable d'alerter les cellules de crise lorsque l'écart entre le modèle attendu et le modèle de situation dépasse un certain seuil (Barthe, 2013). Un nouveau processus de réponse, plus adapté à la situation présente, pourra alors être déduit.

La qualité du modèle de situation impacte directement la capacité de RIO-Suite, et donc de la collaboration, à suivre la dynamique de la crise en cours. Les producteurs d'événements, connectés au système d'information proposé, doivent donc couvrir tous les aspects de la situation de crise en cours : dans le cas contraire, un écart pourrait ne pas être détecté et un processus de réponse inadapté pourrait continuer à être déroulé par les parties-prenantes.

Dans le cas du projet GÉNéPi, la demande de déduction d'un nouveau processus de réponse est demandée à l'IRIT, via la mise à jour automatique de leur base de données. Les événements de suivis générés par l'orchestration du processus sont quant-à eux reçus du logiciel Iterop.

4.5 Les performances du système d'information proposé

Pour finir, nous souhaitons vérifier la capacité du système d'information implémenté à suivre la dynamique d'une situation de crise. Aujourd'hui, en cas de crue majeure, en amont du pic de crue, les décideurs du niveau stratégique (cf. Figure 4.3) sont informés lors d'audioconférences journalières ou bi-journalières (Dolidon, 2016a). Notre objectif serait d'arriver à (i) collecter, (ii) interpréter et (iii) afficher les événements utiles aux décideurs, en moins d'une minute, sur la COP disponible en cellule de crise.

Le scénario mis au point par les partenaires du projet GÉNéPi, déroulé en Annexe E, prévoit :

- la collecte de 155 événements de type hydrauliques sur un jour et trois stations : Blois, Orléans et Givry (au bec d'Allier) ;
- l'interprétation des événements collectés via l'activation d'une règle de niveau 1 et de cinq règles de niveau 2 sur la ville d'Orléans ;

4. Cas d'application : une crue centennale en Loire Moyenne

- le chargement des 1122 enjeux reconnus par les autorités sur le département du Loiret ;

Ce scénario réaliste a été validé par le SPC Maine-Loire pour les données hydraulique et par le CEREMA Ouest pour les règles métiers utilisées. Il a été joué trois fois⁶ pour estimer le temps nécessaire à un évènement pour être collecter, interpréter et afficher en cellule de crise. Les résultats sont présentées sur la Figure 4.14.

	Collecte & interprétation	Visualisation	Total
Test n°1	47s	222s	269s
Test n°2	68s	190s	258s
Test n°3	47s	171s	218s
Moyenne :	54s	194s	248s

FIGURE 4.14 – Les temps mesurés lors de la collecte et l'interprétation de 155 évènements, l'activation de 6 règles et la mise à jour de la COP sur le département du Loiret, contenant au préalable 1122 enjeux

La Figure 4.14 nous permet de conclure que :

- 155 évènements envoyés en parallèle par trois capteurs différents, à raison d'un toutes les millisecondes, prennent en moyenne 54 secondes pour être collectés et interprétés par le système d'information implémenté. Ils activent une règle seuil de niveau 1 et cinq règles de niveau 2 qui interrogent pour cela la base de données orientée graphe sur les enjeux présents dans la zone de danger ;
- les informations obtenues, sous la forme d'instances du modèle de la situation de crise, mettent en moyenne 194 secondes à s'afficher sur la COP présente en cellule de crise, via l'interface RIO-Play.

L'objectif est de donner un ordre d'idée du temps nécessaire aux producteurs d'évènements, au module d'interprétation ou au gestionnaire d'information pour informer les décideurs d'un fait nouveau. Ce test n'utilise que des évènements de type hydraulique, malgré la variété réelle des données disponibles (mesure de trafic, tweets, ...). Mais si les évènements sont reçus sous un même et unique format, comme le prévoit notre hypothèse 3, le type d'évènement reçu n'affectera pas les performances de notre système d'information. Par contre, ces nouvelles sources de données multiplieraient le volume d'information à traiter et sans notre hypothèse sur la capacité de traitement infinie de notre système d'information (cf. hypothèse 2) cela démultiplierait très vite le temps nécessaire à l'interprétation.

Finalement, ce scénario, proche de la réalité, utilisant de réelle règles métier, permet de collecter, interpréter et mettre à jour une COP en moins de cinq minutes. C'est cinq fois plus que le temps espéré initialement, mais beaucoup mieux que ce qui se fait humainement selon le mode de communication actuellement en place.

6. Sur la version du 01 janvier 2018 de RIO-Suite, lancée sous Windows 10 avec un processeur de 2.80 GHz et une mémoire vive de 16 Go

CONCLUSION

Les travaux présentés dans ce manuscrit visent à soutenir les cellules de crise activées suite à un évènement majeur. Pour représenter la situation de crise, soutenir la collaboration des parties-prenantes et suivre les évolutions de la crise, nous proposons de profiter des données disponibles sur les réseaux informatiques. Pour cela, nous définissons et implémentons un système d'information capable de collecter et interpréter des données brutes pour déduire un ensemble d'informations formalisé, tenu à jour en temps réel, malgré le volume, la variété, la vélocité et la véracité des données et des informations manipulées.

La Figure 5.1 présente le système d'information proposé qui combine les règles d'interprétation d'un moteur Complex Event Processing (CEP) à un métamodèle configurable selon la nature de la crise. Le chapitre 3 présente, étape par étape, l'architecture choisie et le chapitre 4 illustre son fonctionnement sur un cas réaliste de crise : une crue centennale en Loire Moyenne. Les contributions de nos travaux nécessaires à la définition et l'implémentation d'un tel système d'information sont listées ci-dessous et représentées à droite de la Figure 5.1 :

1. l'amélioration du métamodèle choisi, à partir des nombreux éléments de contexte rapportés par le Centre d'Etude et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA) sur les types d'enjeux vulnérables à une crue en Loire Moyenne ;
2. la mise en pratique du principe de déduction : « Danger x Enjeu = Risque » grâce à la science d'analyse d'évènements complexe (CEP) couplée à l'utilisation d'un métamodèle commun à tout type de crises, ou plus généralement, tout type de collaboration ;
3. la mise au point d'un cas d'étude *réaliste* grâce à dix règles d'interprétation représentatives de règles métiers utilisées en 2016 (Dolidon, 2016a), des évènements hydrauliques correspondant à une crue centennale en Loire Moyenne, validés par deux Services de Prévision des Crues (SPC) de la région, et des évènements trafic récupérés à la source par le CEREMA Ouest ;

Pour contrôler les 4Vs du Big data, plusieurs composants du système d'information proposé sont mis à contribution :

1. le mécanisme publish/subscribe, utilisé à l'étape de collecte, permet de suivre en temps réel les évolutions de la situation de crise (*vélocité*), tout en recevant des évènements émis par topics, par de nombreuses sources connues ou inconnues (*véracité*) ;
2. le métamodèle choisi permet de formaliser l'ensemble des informations mises à disposition des décideurs, tout en limitant le nombre de concepts à instancier pour décrire la situation de crise (*volume* et *variété*) ;

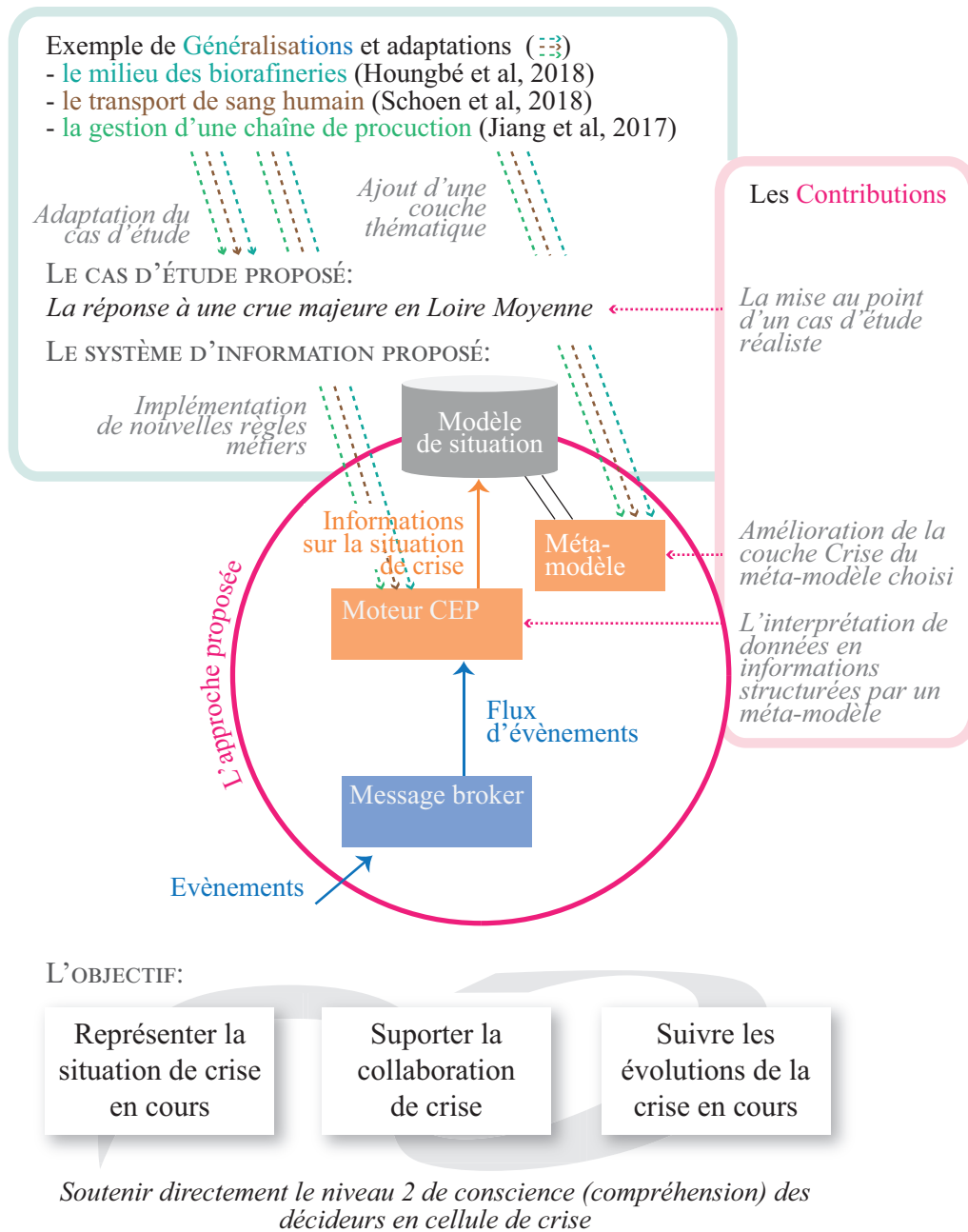


FIGURE 5.1 – L'approche proposée, les contributions identifiées et quelques exemples de généralisations possibles

-
3. le moteur CEP permet d'associer chaque règle d'interprétation à un agent Event Processing Agent (EPA) responsable d'un type d'évènement en particulier : le nombre d'évènements à analyser par agent EPA diminue (*volume*). Chaque règle activée émet 1 évènement complexe agrégeant n évènements analysés : le nombre d'évènements émis est donc inférieur au nombre d'évènements reçus par les EPA (*volume*). Des fenêtre temporelles permettent d'agréger des évènements de même type sur une fenêtre de temps fixe ou glissante (*vélocité*). Et, les règles d'interprétation utilisées ont été élaborées à partir de règles métiers utilisées lors de situations de crise réelles (*véracité*).

Comme illustré sur la Figure 5.1, le système d'information proposé peut facilement être transposé à de nouveaux cas d'étude. Dans le domaine de la gestion de crise, seules les règles devront être généralisées ou adaptées à un nouveau type de crise ou une nouvelle réglementation. Dans d'autres domaines, de nouveaux concepts propres aux nouvelles situations collaboratives, et de nouvelles règles d'interprétation permettant leur instanciation devront être mis en place. De nouveaux évènements informatiques pourront aussi être simulés pour tester les différentes configuration du système d'information. Des travaux comme ceux de [Jiang et al. \(2017\)](#) en chaîne de production, [Schoen et al. \(2018\)](#) pour le transport de produits sanguins labiles ou [Houngbé et al. \(2018\)](#) dans le milieu des bioraffineries, pourraient ainsi facilement adapter la méthodologie proposée à leur travaux.

Pour la suite plusieurs perspectives d'évolutions sont envisagées. Ainsi, nous nous intéressons maintenant à :

1. limiter la charge informationnelle pesant sur les décideurs en cellule de crise en sélectionnant les informations les plus pertinentes, à un moment donnée de la crise, pour une cellule donnée, selon : (i) les phases caractéristiques d'une phase de réponse à une crise, et (ii) les concepts de notre métamodèle les plus adaptés au besoin d'information courant des cellule de crise ;
2. projeter le modèle de la situation de crise dans le futur en projetant le résultat attendu du processus de réponse à la crise et en modélisant les évolutions naturelles des éléments composants le théâtre de crise. Cette dernière étape est multi-disciplinaire et conviendrait à un projet de recherche multi-acteurs ;
3. adapter le système d'information proposé aux contraintes engendrées par la détection et l'utilisation des évènements émanant des réseaux sociaux, en complément des données issues de capteurs physiques. Cette fonctionnalité, demandée par les parties-prenantes, fera l'objet d'une thèse hébergée au laboratoire Centre de Génie Industriel (CGI) entre 2018 et 2021 ;
4. ajouter au système d'information une méthode d'apprentissage des situations de crise passées pour améliorer les méthodes d'interprétation et les méthodes de projection existantes (si ces dernières ont pu voir le jour). Cette étape, aussi souhaitée par les parties-prenantes usuelles à une crise, fera l'objet d'un nouveau projet de recherche lancé en 2018 et appelé SANCTUM.

BLIND MEN AND THE ELEPHANT

It was six men of Indostan
To learning much inclined,
Who went to see the Elephant
(Though all of them were blind),
That each by observation Might satisfy his mind.

The *First* approached the Elephant,
And happening to fall
Against his broad and sturdy side,
At once began to bawl :
« God bless me!—but the Elephant
Is very like a wall ! »

The *Second*, feeling of the tusk,
Cried : « Ho!—what have we here
So very round and smooth and sharp?
To me 't is mighty clear
This wonder of an Elephant
Is very like a spear ! »

The *Third* approached the animal,
And happening to take
The squirming trunk within his hands,
Thus boldly up and spake :
« I see, » quoth he, « the Elephant
Is very like a snake ! »

The *Fourth* reached out an eager hand,
And felt about the knee.
« What most this wondrous beast is like
Is mighty plain, » quoth he ;
« 'T is clear enough the Elephant
Is very like a tree ! »

The *Fifth*, who chanced to touch the ear,
Said : « E'en the blindest man
Can tell what this resembles most ;

Deny the fact who can,
This marvel of an Elephant
Is very like a fan! »

The Sixth no sooner had begun
About the beast to grope,
Then, seizing on the swinging tail
That fell within his scope,
« I see, » quoth he, « the Elephant
Is very like a rope! »

And so these men of Indostan
Disputed loud and long,
Each in his own opinion
Exceeding stiff and strong,
Though each was partly in the right,
And all were in the wrong!

So, oft in theologic wars
The disputants, I ween,
Rail on in utter ignorance
Of what each other mean,
And prate about an Elephant
Not one of them has seen!

LES ACRONYMES MÉTIERS PROPRES AUX OPÉRATEURS RÉSEAUX FRANÇAIS

En France, la distribution et le transport de l'électricité en France sont assurés par l'entreprise Réseau de Transport d'Electricité (RTE) pour le transport et Enedis pour la distribution sur 95% du territoire Français. Il est à noter que depuis l'année 2007, les particuliers, comme les entreprises, sont libres d'adopter le fournisseur d'électricité qu'ils souhaitent, sans porter préjudice aux deux entreprises de service public Enedis et RTE rendues autonomes.

Ces deux entreprises font souvent face aux aléas climatiques. En 1999 notamment, les tempêtes Lothar et Martin privèrent d'électricité 3.5 millions de foyers en plein mois d'hiver. Intégrés à la gestion de crise, ils doivent alors communiquer régulièrement avec les institutions en charge de la réponse à la crise. Une difficulté survient alors très vite : le vocabulaire métier, propre à l'une ou l'autre entreprise, n'est pas connu par les décideurs en cellule de crise, et dans l'urgence cette situation peut très vite avoir des conséquences sur l'efficacité des communication de crise.

B.1 Les domaines de tension

Le tableau [B.1](#) sert de référence à RTE comme à Enedis, qui ont pris l'habitude de nommer leurs lignes électriques selon le domaine de tension auxquelles elles appartiennent ([RTE, 2008](#)). Cette catégorisation n'est pas internationale : les opérateurs chinois utilisent par exemple des nouvelles lignes haute-tension de $800kV$ ([SIEMENS, 2010](#)).

Tension de raccordement (U)	Domaine de tension
$U \leq 1kV$	Basse tension (BT)
$1kV \leq U \leq 50kV$	Haute Tension (HTA)
$50kV \leq U \leq 500kV$	Haute Tension (HTB)

TABLE B.1 – Les domaines de tension utilisés par les opérateurs réseaux français

B.2 Le vocabulaire métier utilisé en gestion de crise

Cette partie souhaite illustrer la variété du vocabulaire métier pouvant être facilement utilisé par Enedis lors d'une collaboration de crise avec d'autres institutions ou organisations françaises.

Au sein d'Enedis, l'Agence de Maintenance et d'Exploitation des Postes Sources (AMEPS) de la région¹ est responsable du maintien et de l'exploitation des postes sources. Les postes sources sont les transformateurs électriques qui transforment un courant de type HTB ou HTA ($> 20kV$), en provenance des réseaux RTE, en HTA ($20kV$). Vous pouvez déjà noter que pour expliquer qui est l'AMEPS, trois mots indispensables à la compréhension peuvent ne pas être connus des décideurs en cellule de crise. Or, si un de ces postes est touché par un incendie ou une inondation, ce sont plusieurs dizaines de milliers de personnes qui seront coupés d'électricité.

Si une partie des réseaux BT ($< 1kV$) ou HTA est touché par la crise, ce sont les Agence Réseau Exploitations (AREs) qui devront envoyer leurs agents sur site pour « visiter » les lignes et localiser les dégâts. Pour les réseaux HTA, contrôlé à distance depuis l'Agence de Conduite Régionale (ACR), cette recherche est plus aisée. Pour qu'ils puissent raccorder à court ou long terme des clients coupés, les plateformes logistiques Service d'approvisionnement et de logistique des centres (SERVAL), réparties sur le territoire, sont à leur disposition.

Tous ces acronymes illustrent une toute petite partie du vocabulaire qui doit être maîtrisé en cellule de crise pour couvrir tous les métiers nécessaires à la réponse à la crise en cours.

1. Pour compliquer encore un peu la collaboration, la région de référence Enedis ne correspond pas du tout aux anciennes ou nouvelles régions administratives françaises

L'ÉVOLUTION DES ARTICLES SUR LES STRUCTURES DE RÉFÉRENCES DÉDIÉES AUX CRISES

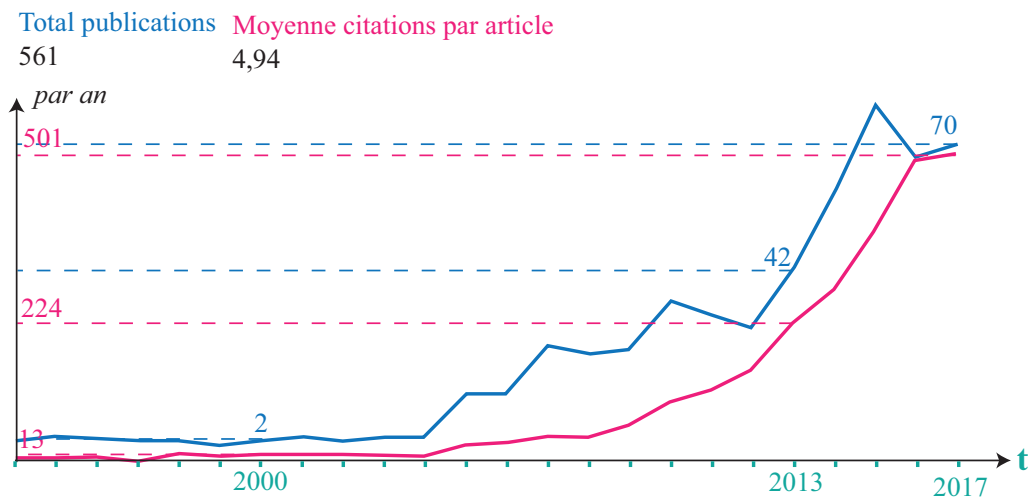


FIGURE C.1 – Rapport élaboré, le 27 août 2018, par [Web of Science](#) sur la base des résultats, par Topic, des *Articles* répondant à la requête : *((ontology OR ontologies OR meta-model* OR metamodel*) AND (crisis OR disaster*))*

LE MONDE DU WUMPUS COLLABORATIF

L'objectif du scénario proposé ici est communément d'éprouver un agent relationnel fondé sur les connaissances. Dans cette thèse, il sert d'exemple pour illustrer le fonctionnement du métamodèle de niveau 2 proposé dans le chapitre 3.

D.1 La caverne du Wumpus

Le monde du Wumpus est une caverne aux trésors composée de salles reliées deux à deux par un passage étroit. La caverne est habitée par le menaçant Wumpus prêt à tuer quiconque se trouverait dans la même salle. Ce dernier peut être mis hors d'état de nuire par une flèche.

Le but originel était de tuer le Wumpus. Ici, nous nous référons à la version décrite par [Russell et Norvig \(2010\)](#) et qui consiste à trouver le trésor. Un système de points permet alors d'évaluer la performance du joueur. Pour compliquer les choses, certaines salles contiennent des puits sans fond où tomberont tous ceux qui s'y aventurent, excepté le Wumpus qui est trop gros.

D.2 L'environnement collaboratif du Wumpus

Pour adapter ce jeu à une situation collaborative, nous considérerons qu'une équipée de trois joueurs souhaite trouver le trésor :

- Le chasseur qui, avec son unique flèche, peut (Tirer) tuer tout ce qui se trouve en face de lui. Seul un mur ou une victime (homme ou Wumpus) pourra l'arrêter ;
- L'hypersensible, qui peut, à une salle à la ronde, (Sentir) détecter la *brise* émise par un puits, ou l'*odeur* nauséabonde du Wumpus ;
- Le chasseur de trésor, qui peut (Fouiller) détecter la faible *lueur* de l'or dans une salle obscure et s'en saisir.

Ils peuvent tous avancer (ToutDroit), tourner à gauche (TournerG) de 90 degrés, tourner à droite (TournerD) de 90 degrés, mais une seule action par joueur est autorisée par tour. Si l'un des joueur avance alors qu'un mur se trouve devant lui, il sent un *choc*, ne bouge pas et perd son action. Tout le monde perd si un seul des joueurs est tué par la flèche, le Wumpus ou un puits. Tout le monde gagne si les joueur parviennent à rejoindre la sortie (située sur la case de départ) avec

le trésor. Quand le Wumpus est tué, un *cri* monstrueux peut se faire entendre partout dans la caverne.

Une grille 4x4 représentant la caverne est visible sur la Figure D.1. L'équipe commence toujours dans la salle [1,1], tourné vers la droite. Les cases où se trouvent l'or et le Wumpus sont choisies au hasard, avec une distribution uniforme, en excluant la case départ.

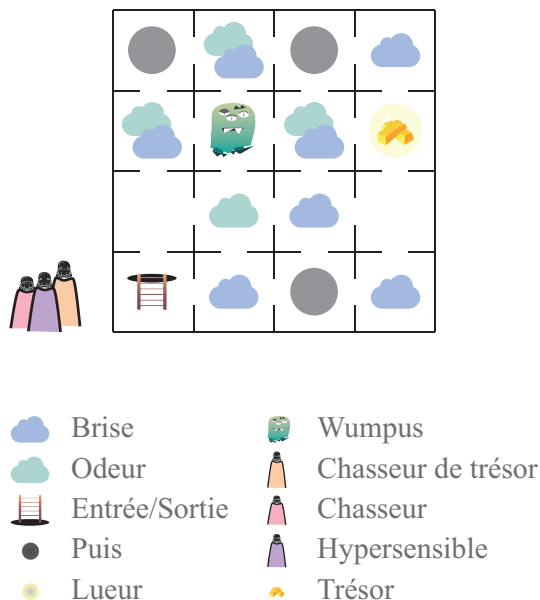


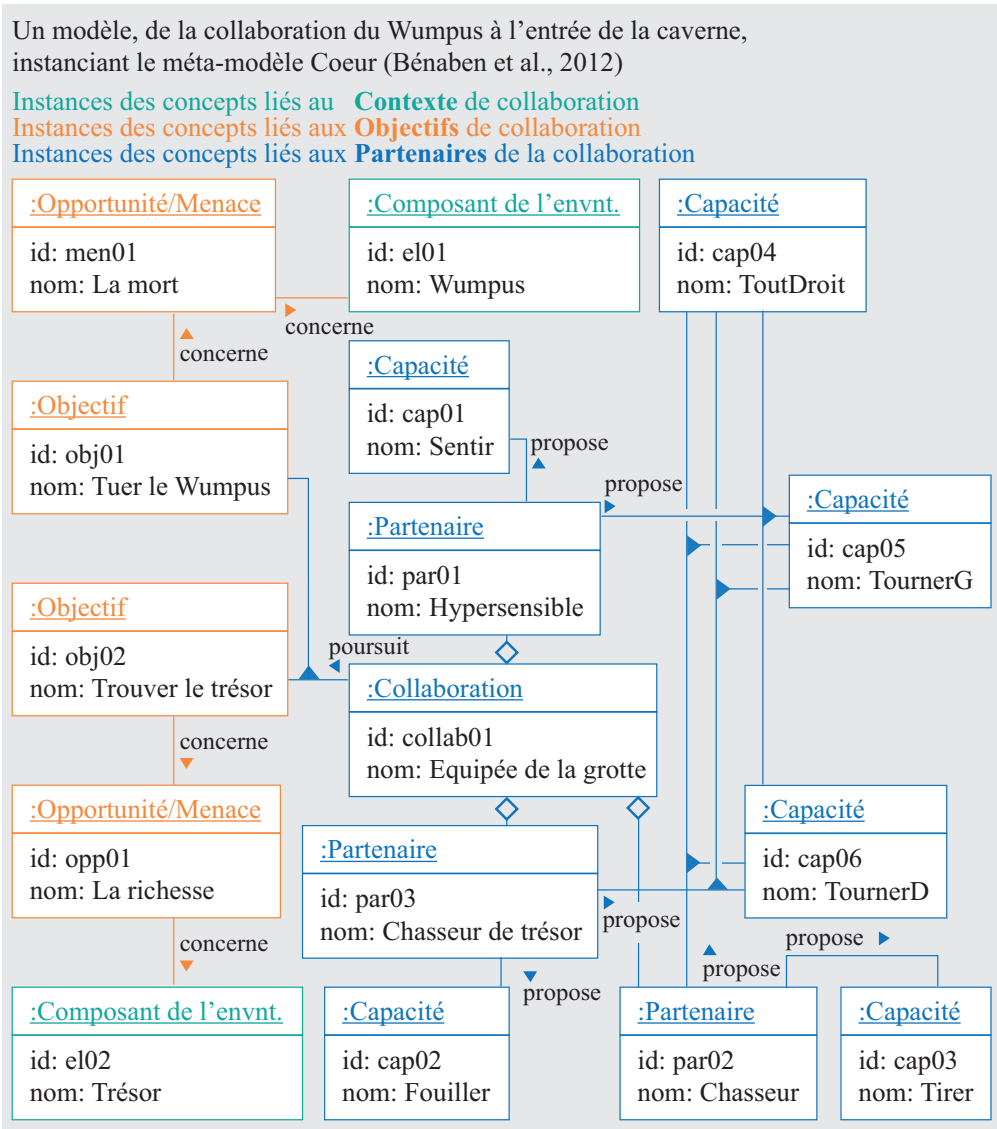
FIGURE D.1 – Exemple d'environnement de test représentant le monde du Wumpus, inspiré de [Russell et Norvig \(2010\)](#)

D.3 La modélisation de la collaboration du Wumpus

La Figure D.2 présente un exemple de modèle de situation instanciant les concepts du Cœur, du métamodèle présenté à la section 3.1.2. Le modèle représente la collaboration du Wumpus :

Trois partenaires partent à la recherche du trésor gardé par le terrible Wumpus. Pour réussir, ils ont chacun leurs propres compétences et leurs propres sources de données.

Le modèle adopte le point de vue des trois chasseurs et représente la situation à l'entrée de la caverne au trésor (cf. Figure D.1). A un niveau de granularité plus élevé, ce modèle de situation aurait pu représenter plusieurs équipées, réparties sur plusieurs entrées de la caverne et coordonnées par un même commandement. De même, en situation de crise, le métamodèle Cœur peut s'adapter à tous les niveaux de granularité de la chaîne stratégique : du niveau local jusqu'au au niveau national.



Abbreviations: envnt. environnement

FIGURE D.2 – Exemple de modèle de situation instanciant le métamodèle choisi et décrivant la collaboration du Wumpus

MANUEL D'UTILISATION DU LOGICIEL RIO-SUITE

E.1 Avant chaque nouvelle démonstration

Avant chaque nouvelle utilisation de la distribution, vous devez vider le dossier « /bin/target » et tuer, si nécessaire, l'exécutable ayant un nom semblable à celui-ci « extract-893610f8-31f0-4d40-bef5-1c6207df0f0cextractmongod.exe ».

E.1.1 Lancement de la distribution

Vous pouvez lancer la distribution via bin/startup.bat. Une fois la distribution lancée, vous devez basculer l'application internet en **navigation privée** sur le navigateur **chrome**.

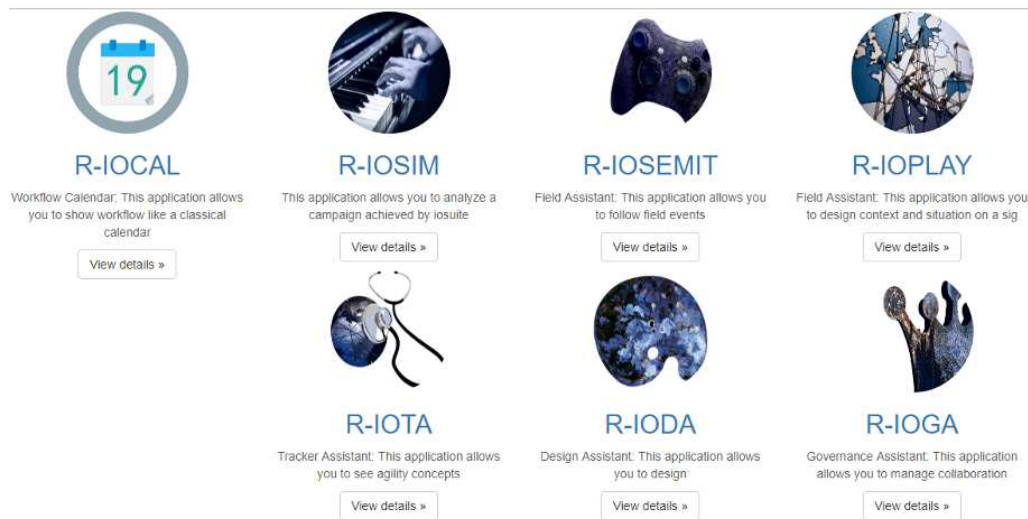


FIGURE E.1 – Carrousel d'accueil de la suite RIO

Si tout va bien, vous serez automatiquement identifié en tant que « Admin gind » (l'identifiant est visible en haut à droite de l'écran). Si, vous avez un soucis, le login est gind@mines-albi.fr et le mot de passe admin.

E.1.2 Sélection d'un use-case

Pour démarrer le use-case Loire-Flooding utilisé par le projet Granularité des Niveaux de Pilotage (GéNéPi) pour tester son système d'aide à la décision, vous devez :

1. Vous rendre sur IO-Ga, via la page d'accueil de RIO-Suite (cf. figure E.1);
2. Cliquer sur le use-case « Loire-Flooding ».

RIO-Suite est entrain de peupler sa base de données avec des informations pré-enregistrées. Par exemple ici, on charge déjà quelques éléments concernant la Loire moyenne.

Si l'interface ne répond pas, revenez à la page d'accueil de RIO-Suite (cf. figure E.1) et rendez-vous à nouveau sur l'application IO-Ga, ça devrait aller mieux. Sinon recommencez depuis le début. Dans tout les cas, vous ne devez pas cocher la case "Objectives", car les risques et les incidents dus à la crise doivent être détectés automatiquement.

E.2 Simulation de la crue centennale en Loire-Moyenne

Pour commencer la simulation d'un scénario de crue en Loire Moyenne, vous devez :

1. Retourner sur la page d'accueil R-IOSuite (cf. figure E.1)
2. Aller sur IO-Semit, onglet « Simulated Events ». A ne pas confondre avec *IO-Sim*
3. Synchroniser l'application IO-Semit avec la base de données Neo4J (où sont conservées toutes les informations liées au use-case Loire-Flooding) grâce au bouton « Synchronize »
4. Créer **un par un**, via le bouton « Create » les capteurs :
 - « J5 ORLEANS »
 - « Traffic sensor (StHStM) »

La distribution est maintenant prête à être utilisée.

E.2.1 Simulation du scénario Sc2

A partir de IO-Semit, commencez par démarrer, via le bouton « Start », puis lancez, via le bouton *play* en forme de flèche, le capteur « J5 ORLEANS ». Les événements doivent apparaître dans l'encart gris appelé « Monitoring » et visible sur la Figure E.2).

Si, les événements ne s'affichent pas, il vous faut soit attendre un peu de temps (1 minute maximum), soit fermer toute l'application et redémarrer depuis le début : le capteur a dû mal se synchroniser.

Pour observer le résultat des règles d'interprétation, vous devez :

```
[19/10/2017 - 11:36:35] <id>3687</id><date>2017-09-28T14:41:03.817+02:00</date>
<stationName>ORLEANS</stationName><stationLat>1.9047891</stationLat>
<stationLong>47.897324</stationLong><nbHours>18</nbHours><f_min>982.9</f_min>
<f_med>1039.7</f_med><f_max>1094.8</f_max><wl_min>1.03</wl_min><wl_med>1.11</wl_med>
<wl_max>1.19</wl_max>
```

FIGURE E.2 – Un des évènements émis par le capteur « JO ORLEANS »

1. **Attendre la fin de l'émission des évènements**, puis lorsque le compteur est arrivé à 57 sur 57, **attendre encore 1 minute**.
2. Aller sur IO-Ga, onglet « Project management », puis onglet « project list ».
3. Ouvrir la vue « Objectives ».

Un danger menace les digues du val d'Orléans si une prévision haute (9 chances sur 10 d'arriver) de la côte (le niveau du fleuve) à Orléans dépasse les 5.5 mètres qui correspondent au niveau de sureté de la digue.

Sur la vue, vous trouverez normalement un danger de rupture de digue imminente sur le val d'Orléans, qui a engendré automatiquement les cinq risques présentés sur la Figure E.3. De plus, le système a détecté qu'il ne restait que 48h avant le dépassement du niveau de sureté. Cette information est précieuse dans le processus décisionnel amenant à l'évacuation de la ville d'Orléans.

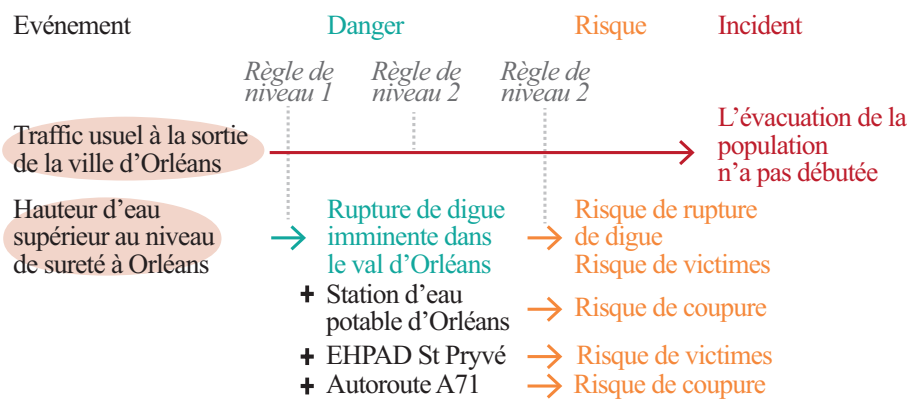


FIGURE E.3 – Règles de déduction utilisé dans cette démonstration, inspiré de la Figure 3.9

Si le danger et ses cinq risques n'apparaissent pas sur la vue « Objectives », il vous faut attendre plus longtemps et essayer de recharger la page une fois que la machine aura cessé de réfléchir.

Pour voir ce danger et ses risques sur la Common Operational Picture (COP), vous devez :

1. Retourner sur IO-Play ;
2. Synchroniser la page avec l'onglet « Action », le bouton « Synchronize » et l'option « Push/Pull ». Surtout, **ne recharger pas la page** !

Si, par malheur, vous avez rechargé la page et avez obtenu une erreur, il vous faut fermer l'application et recommencer depuis le début.

E.2.2 Ajout d'informations géo-localisées

Si vous avez accès à des jeux de données au format `.geojson`, vous pouvez les ajouter manuellement sous réserve d'avoir « mapper » les attributs `geojson` avec les attributs du méta-modèle RIO-Suite (un [exemple de mappage](#)¹ est disponible sur le site de l'application). Si vous le souhaitez, vous pouvez ajouter certaines données préalablement « mappées » pour vous, via le bouton « Load ». Il revient au gestionnaire de l'application de compléter ces données.

Dans le cadre du projet GÉNéPi, les `.zip` correspondant aux enjeux localisés par le CEREMA ont déjà été mappés. Si vous souhaitez les utiliser, vous pouvez demander l'accès à ces données à un des membres du projet GÉNéPi. Si vous ne souhaitez pas ajouter de tels fichiers à la COP, veuillez passer à l'étape suivante (section E.2.3). Dans le cas contraire, vous devez :

1. Aller sur IO-Ga, onglet « GIS Management », « Load data » ;
2. Grâce à la fonction « Upload », charger les `.zip` des enjeux qui vous intéressent. Pour une démonstration avec les données GÉNéPi, nous conseillons les `.zip` suivants :
 - EnjeuxInondation-geojson.zip
 - IPPC-geojson.zip
3. Compléter la carte des départements touchés, via RIO-Play :
 - Cliquer sur la zone rose représentant le Loiret (département d'Orléans), **en-dehors** de la zone orange représentant le danger. Si nécessaire, il faut dé-zoomer
 - Appuyer sur la loupe de « **Search** concepts inside ». Vous devez attendre la fin de la recherche avant d'entreprendre une autre action (l'application va automatiquement dé-zoomer et à la fin vous pourrez voir une bonne partie de la France)

Vous pourriez charger plus d'enjeux mais cela demandera d'autant plus de **mémoire (physique)** à votre machine. Tous les enjeux présents sur la COP sont modifiables. Si une fenêtre d'alerte apparaît « Warning Concepts already find here », vous avez sûrement cliqué droit sur la zone rose du Loiret et demandé l'action « *Find* concepts here », il suffit alors de ré-essayez avec le bon bouton la loupe de « Search concepts inside ».

Vous pouvez maintenant **synchroniser votre travail** via l'onglet « Action », le bouton « Synchronize » et l'option « Push/Pull »). Pour que la synchronisation fonctionne, il est à noter que tous **les concepts doivent avoir un nom et un identifiant**.

E.2.3 Simulation du scénario Sc3

Vous pouvez maintenant demander la déduction d'un processus de réponse capable de traiter nos cinq risques. Pour ce faire, vous devez :

1. Vous rendre sur IO-Ga, onglet « Project management/Project List » et ouvrir la vue « Objectives » disponible dans le tableau du projet « Loire Flooding » ;

1. <https://research-gi.mines-albi.fr/display/RIOSUITE/Welcome>

2. Demander la déduction d'un processus de réponse adapté, via l'onglet « Action/Deduce process » ;
3. Utiliser la déduction « Satisfaction Strategy Process » pour déduire un processus capable de satisfaire les objectifs de la collaboration de crise ;
4. Ordonner les risques et incidents à traiter selon vos ordres de priorité.
5. Visualiser le processus via le bouton « show/run » ;
6. Lancer l'orchestration du processus déduit grâce à l'onglet « Action/Run Process » ;
7. Dérouler le processus en répondant aux tâches envoyés aux différentes parties-prenantes.

Pendant que la réponse se joue, continuons avec le scénario 3. Les trois maisons de retraites risquant l'inondation (Les pinelles, Pierre Pagot, St Pryvé) ont pu être évacuées. Vous devez donc :

1. Aller sur IO-Ga, onglet « Project management », puis onglet « project list » ;
2. Ouvrir la vue « Objectives » ;
3. Supprimer le risque ayant été traité ;
4. Mettre à jour la base de données grâce au « Synchronize » de l'onglet « Action »

De plus l'évacuation de certaines villes a été amorcé localement par les mairies. Le trafic peut être suivi heure par heure grâce à des compteurs appartenant au conseil général du département. Pour vérifier que l'évacuation a bien lieu, vous pouvez donc :

1. Aller sur IO-Semit, onglet « Simulated events »
2. Lancer et jouer le capteur « Traffic sensor (StHStM) »
3. Attendre la fin du compte, puis **attendre 1 minute** ;
4. Aller sur IO-Play ;
5. Synchroniser la base de données avec l'onglet « Action », le bouton « Synchronize » et l'option « Push/Pull ». Encore une fois, **ne recharger pas la page** ;
6. Constater l'apparition d'un nouvel effet aux abords d'Orléans.

Comme le temps de synchronisation est proportionnel au nombre d'enjeux chargé à l'étape [E.2.2](#), si votre machine ne s'en sors pas, recommencez du début.

E.2.4 Vérification du bon déroulé des opérations

Il est avéré que très peu de gens évacuent la région entre Orléans et St Hilaire St Mesmin, même après que l'ordre d'évacuation est été transmis. Vous pouvez constater la différence entre la situation que vous pouviez attendre de la réponse choisie avec la situation réellement observée en utilisant RIO-Ta. Pour ce faire, vous devez :

1. Aller sur IO-TA, via la page d'accueil de RIO-Suite (cf. figure [E.1](#)), onglet « Objectives » ;

2. Demander la comparaison du modèle « attendu » avec le modèle « terrain », grâce au bouton « Compare all » et la stratégie « F-score » ;
3. Si vous le souhaitez, demander la déduction d'un nouveau processus de réponse via le bouton « Re-Deduce process ».

E.3 Contact & Accès

Si vous avez des questions, n'hésitez pas à me contacter à l'adresse audrey.fertier@mines-albi.fr. Enfin, pour accéder (ou demander l'accès) à une documentation complète, vous pouvez vous rendre sur : [l'application RIO-Suite](#).

EXEMPLE DE MAPPAGE VERS UN CONCEPT DU MÉTA-MODÈLE

Exemple de fichier permettant ici de lier les instances d'écoles récupérées sur le SIG du Centre d'Etude et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA) au concept « bâtiment sensible de RIO-Suite »

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<tns:mappingModel xmlns:tns="http://www.gind.emac.fr/gis/mappingModel"
xmlns:mm="http://www.gind.emac.fr/modeler/metaModel"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">

  <tns:table>
  <tns:name>School_MiddleLoire</tns:name>
  <tns:type>POINT</tns:type>
  <tns:classifient>French</tns:classifient>
  <tns:tableName>Ecole</tns:tableName>
  <tns:srid>2154</tns:srid>
  <tns:conceptName xmlns:rd="http://fr.emac.gind/crisis_context/water"
>rd:Sensitive building</tns:conceptName>

  <tns:propertiesMapping>
  <tns:source>
  <tns:columnName>TOPONYME</tns:columnName>
  </tns:source>
  <tns:target>
  <tns:propertyName>name</tns:propertyName>
  </tns:target>
  </tns:propertiesMapping>
  <tns:propertiesMapping>
  <tns:source>
  <tns:columnName>NATURE</tns:columnName>
  </tns:source>
  <tns:target>
  <tns:propertyName>type</tns:propertyName>
  </tns:target>
  </tns:propertiesMapping>
  <tns:propertiesMapping>
  <tns:source>
  <tns:columnName>ID</tns:columnName>
  </tns:source>
  <tns:target>
  <tns:propertyName>shpId</tns:propertyName>
  </tns:target>
```

```
</tns:propertiesMapping></tns:table></tns:mappingModel>
```

PARTIE CONTEXTE DE LA COUCHE CRISE DU MÉTAMODÈLE IMPLÉMENTÉ

Cette partie du métamodèle a été grandement modifiée avec la thèse et le scénario de crue en Loire Moyenne. Elle se divise en 5 catégories :

- la partie historique qui existait avant la thèse, développé par [Salatgé et al. \(2018\)](#). Seul le concept de Capteur à été ajouté par la thèse ;
- la partie réseau généralisé par la thèse à partir du travail de [Macé-Ramète \(2015\)](#), réalisé sur le réseau routier ;
- la partie inondation testée avec le scénario d'une crue en Loire Moyenne, ajoutée par la thèse ;
- la partie territoire, repris en partie du travail de [Macé-Ramète \(2015\)](#) et complétée par la thèse ;
- la partie crise routière mise en place et testée par [Macé-Ramète \(2015\)](#) ;

Les fichiers décrivant ces concepts sont présentés ci-dessous, dans leur format originel.

G.1 La partie Contexte historique de la Couche Crise

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<metaModel xmlns="http://www.gind.emac.fr/modeler/metaModel"
targetNamespace="http://fr.emac.gind/crisis_context"
xmlns:tns="http://fr.emac.gind/crisis_context"
xmlns:core="http://fr.emac.gind/core-model">

  <name>tns:Crisis Context</name>
  <version>1.0-SNAPSHOT</version>
  <domain>crisis</domain>
  <category>context</category>

  <import namespace="http://fr.emac.gind/core-model"
location="./generated-sources/core-model/conf/
MetaModel.xml"></import>

  <node><type>tns:ContextComponent</type>
  <extends>core:Environment Component</extends><abstract>true</abstract>
  <property name="emerging risk associated" defaultvalue=""
type="text" required="false" readonly="true" visible="false">
  <values><dynamicValues><buttonName>find</buttonName>
```



```

<action>ioda.findNodesByRoles(['opportunity_threat'], 'ACTIF')
</action></dynamicValues></values></property>
<property name="effect associated" defaultvalue="" type="text"
required="false" readonly="true" visible="false">
<values><dynamicValues><buttonName>find</buttonName>
<action>ioda.findNodesByRoles(['fact'], 'ACTIF')</action>
</dynamicValues></values></property></node>

<node><type>tns:Good</type><extends>tns:ContextComponent</extends>
<view><url>good.svg</url></view><icon>good.png</icon>
<role>good</role><category>Context</category>
<magnets><managedPosition>RECT</managedPosition></magnets>
<property name="name" defaultvalue="good ${cpt}" type="text"
required="true" visible="true" posXFromParentCenter="0"
posYFromParentCenter="-${parentHeight} + 100" fontSize="15">
</property>
<geoLocalisation><point><image>good.png</image>
</point></geoLocalisation>
<description>Goods can be seen as each man-made entity (roads,
bridges, buildings, houses).</description></node>

<node><type>tns:People</type><extends>tns:ContextComponent</extends>
<view><url>people.svg</url></view><icon>people.png</icon>
<role>people</role><category>Context</category>
<magnets><managedPosition>RECT</managedPosition></magnets>
<property name="name" defaultvalue="people ${cpt}" type="text"
required="true" visible="true" posXFromParentCenter="0"
posYFromParentCenter="-${parentHeight} + 100" fontSize="15">
</property>
<property name="type" visible="false" required="false"
readonly="false" type="text" defaultvalue="Resident" >
<values><fixedValues><value>Resident</value><value>Seasonal</value>
</fixedValues></values></property>
<property name="amount" visible="true" required="false"
readonly="false" type="text" posXFromParentCenter="0"
posYFromParentCenter="-${parentHeight} + 115" fontSize="10"
defaultvalue=""></property>
<geoLocalisation><area strokeColor="#4B0082" strokeWidth="3"
strokeOpacity="0.8" fillColor="#4B0082" fillOpacity="0.8"></area>
</geoLocalisation>
<description>People concerns all the persons who are directly
(victims) or indirectly threatened by the crisis situation (people of
a city, groups of travellers, employees of a
company).</description></node>

<node><type>tns:Natural Site</type>
<extends>tns:ContextComponent</extends>
<view><url>natural_site.svg</url></view><icon>natural_site.png</icon>
<role>natural_site</role><category>Context</category>
<magnets><managedPosition>RECT</managedPosition></magnets>
<property name="name" defaultvalue="Natural Site ${cpt}"
type="text" required="true" visible="true" posXFromParentCenter="0"
posYFromParentCenter="-${parentHeight} + 100" fontSize="15">
</property>
<geoLocalisation><area strokeColor="#006400" strokeWidth="3"

```

```

strokeOpacity="0.3" fillColor="#006400" fillOpacity="0.3"></area>
</geoLocalisation>
<description>Natural sites are the elements of the studied system that
are not man-made, such as rivers and forests.</description></node>

<node><type>tns:Territory</type>
<extends>tns:ContextComponent</extends>
<view><url>territory.svg</url></view><icon>territory.png</icon>
<role>territory</role><category>Context</category>
<magnets><managedPosition>RECT</managedPosition></magnets>
<property name="name" defaultvalue="Territory ${cpt}" type="text"
required="true" visible="true" posXFromParentCenter="0"
posYFromParentCenter="-${parentHeight} + 100" fontSize="15">
</property>
<property name="type" defaultvalue="" type="text"
required="false" visible="false"></property>
<property name="area" defaultvalue="" type="text"
required="true" visible="false"></property>
<geoLocalisation><area strokeColor="#D8BFD8" strokeWidth="3"
strokeOpacity="0.4" fillColor="#D8BFD8" fillOpacity="0.4"></area>
</geoLocalisation>
<description>Territories are entities that can be represented as an
area. For instance a state, a city or a suburb can be a territory
</description></node>

<node><type>tns:Civilian Society</type>
<extends>tns:ContextComponent</extends>
<view><url>civilian_society.svg</url></
view><icon>civilian_society.png</icon>
<role>civilian_society</role><category>Context</category>
<magnets><managedPosition>RECT</managedPosition></magnets>
<property name="name" defaultvalue="Civilian Society ${cpt}"
type="text" required="true" visible="true" posXFromParentCenter="0"
posYFromParentCenter="-${parentHeight} + 100" fontSize="15">
</property>
<geoLocalisation><predefinedShape strokeColor="#0000CD"
strokeWidth="0"strokeOpacity="0.6" fillColor="#0000CD"
fillOpacity="0.6"><circle defaultRadius="20000" /></predefinedShape>
</geoLocalisation>
<description>Civil society includes legal entities (media,
intellectuals), associations and organisations that act in the crisis
area.</description></node>

<node><type>tns:Static Sensor</type>
<extends>core:Data Source</extends>
<view><url>static_sensor.svg</url></view>
<icon>static_sensor.png</icon>
<role>static_sensor</role><category>Context</category>
<magnets><managedPosition>RECT</managedPosition></magnets>
<property name="name" defaultvalue="Static Sensor ${cpt}"
type="text" required="true" visible="true" posXFromParentCenter="0"
posYFromParentCenter="${parentHeight}/2 + 10" fontSize="15">
</property>
<geoLocalisation><point><image>static_sensor.png</image></point>
</geoLocalisation></node>

```

```

<rules><containmentRule><role>territory</role>
<isSubProcess>true</isSubProcess>
<contain>territory</contain>
<contain>natural_site</contain>
<contain>good</contain>
<contain>civilian_society</contain>
<contain>people</contain>
</containmentRule>

<containmentRule><role>natural_site</role>
<isSubProcess>true</isSubProcess>
<contain>good</contain>
<contain>people</contain>
<contain>static_sensor</contain>
</containmentRule>

<containmentRule><role>good</role>
<isSubProcess>true</isSubProcess>
<contain>natural_site</contain>
<contain>civilian_society</contain>
<contain>people</contain>
<contain>static_sensor</contain>
</containmentRule>

<containmentRule><role>people</role>
<isSubProcess>true</isSubProcess>
<contain>people</contain>
</containmentRule>

<containmentRule><role>civilian_society</role>
<isSubProcess>true</isSubProcess>
<contain>people</contain>
</containmentRule>

</rules>

<extensions><htmlExtensions><javascriptOrCss><![CDATA[
<script type='text/javascript' src='crisis-context-config-
extension.js'></script>]]></javascriptOrCss></htmlExtensions>
</extensions>

</metaModel>

```

G.2 La partie réseau de la couche Crise

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<metaModel xmlns="http://www.gind.emac.fr/modeler/metaModel"
targetNamespace="http://fr.emac.gind/crisis_context/network"
xmlns:mm="http://www.gind.emac.fr/modeler/metaModel"
xmlns:ssys="http://fr.emac.gind/crisis_context" xmlns:tns="http://
fr.emac.gind/crisis_context/network"

```

```

xmlns:core="http://fr.emac.gind/core-model">

<name>tns:Crisis Context Network</name>
<version>1.0-SNAPSHOT</version>
<domain>crisis</domain>
<category>context</category>

<import namespace="http://fr.emac.gind/core-model"
location="./generated-sources/crisis-context/conf/generated-
sources/core-model/conf/MetaModel.xml"></import>
<import namespace="http://fr.emac.gind/crisis_context"
location="./generated-sources/crisis-context/conf/
MetaModel.xml"></import>

<mm:node><mm:type>tns:Network</mm:type>
<mm:extends>ssys:Good</mm:extends><abstract>true</abstract>
<mm:property name="name" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="-${parentHeight} + 100"
fontSize="20" readonly="false" type="text" defaultvalue="Network $
{cpt}"></mm:property>
<mm:property name="type" visible="true" optional="true"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="${parentHeight}/2 + 60"
fontSize="10" readonly="false" type="text" defaultvalue=""
showName="true"></mm:property></mm:node>

<mm:node><mm:type>tns:Node</mm:type>
<mm:extends>tns:Network</mm:extends>
<mm:view><mm:url>node.svg</mm:url></mm:view>
<mm:role>node</mm:role><mm:category>Network</mm:category>
<geoLocalisation><point><image>node.svg</image></point>
</geoLocalisation></mm:node>

<mm:node><mm:type>tns:Edge</mm:type>
<mm:extends>tns:Network</mm:extends>
<mm:view><mm:url>edge.svg</mm:url></mm:view><mm:role>edge</mm:role>
<mm:category>Network</mm:category>
<mm:geoLocalisation>
<mm:polyline strokeColor="#D2B48C" strokeWidth="3"
strokeOpacity="0.1" fillColor="#D2B48C" fillOpacity="0.1" >
</mm:polyline></mm:geoLocalisation></mm:node>

<rules><containmentRule><role>network</role>
<isSubProcess>true</isSubProcess>
<contain>node</contain>
<mm:contain>edge</mm:contain>
</containmentRule></rules>

</metaModel>

```

G.3 La partie inondation de la couche Crise

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
```

```

<metaModel xmlns="http://www.gind.emac.fr/modeler/metaModel"
targetNamespace="http://fr.emac.gind/crisis_context/water"
xmlns:mm="http://www.gind.emac.fr/modeler/metaModel"
xmlns:ssys="http://fr.emac.gind/crisis_context" xmlns:tns="http://
fr.emac.gind/crisis_context/water"
xmlns:core="http://fr.emac.gind/core-model">

<name>tns:Crisis Context Water</name>
<version>1.0-SNAPSHOT</version>
<domain>crisis</domain>
<category>context</category>

<import namespace="http://fr.emac.gind/core-model"
location="./generated-sources/crisis-context/conf/generated-
sources/core-model/conf/MetaModel.xml"></import>
<import namespace="http://fr.emac.gind/crisis_context"
location="./generated-sources/crisis-context/conf/
MetaModel.xml"></import>
<import namespace="http://fr.emac.gind/crisis_context/network"
location="./generated-sources/crisis-context-network/conf/
MetaModel.xml"></import>

<mm:node><mm:type>tns:Dyke area</mm:type>
<mm:extends>ssys:Territory</mm:extends>
<mm:view><mm:url>dike.svg</mm:url></mm:view>
<mm:role>dike</mm:role><mm:category>Flood</mm:category>
<mm:property name="name" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="-${parentHeight} + 100"
fontSize="15" readonly="false" type="text" defaultvalue="Dike ${cpt}">
</mm:property>
<mm:property name="level of safety (m)" visible="false"
optional="true" readonly="false" type="number" decimal="0.01"
defaultvalue="100.00"></mm:property>
<mm:property name="reference station (capital)" visible="false"
optional="true" readonly="false" type="text" defaultvalue="ORLEANS">
</mm:property>
<mm:geoLocalisation><area strokeColor="#5472AE" strokeWidth="2"
strokeOpacity="0.1" fillColor="#5472AE" fillOpacity="0.1">
</area></mm:geoLocalisation></mm:node>

<mm:node><mm:type>tns:Watercourse</mm:type>
<mm:extends>ssys:Natural Site</mm:extends>
<mm:view><mm:url>water_course.svg</mm:url></mm:view>
<mm:role>watercourse</mm:role><mm:category>Flood</mm:category>
<mm:property name="name" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="-${parentHeight} + 100"
fontSize="15" readonly="false" type="text" defaultvalue="Watercourse $
{cpt}"></mm:property>
<mm:property name="type" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="${parentHeight}/2 + 50"
fontSize="10" readonly="false" type="text" defaultvalue=""
showName="true"><mm:values><mm:fixedValues>
<mm:value>Brook</mm:value>
<mm:value>Creek</mm:value>
<mm:value>River</mm:value>

```

```

<mm:value>Runnel/Swale</mm:value>
<mm:value>Tributary</mm:value>
</mm:fixedValues></mm:values></mm:property>
<mm:geoLocalisation><mm:polyline strokeColor="#87CEFA" strokeWidth="4"
strokeOpacity="0.5" fillColor="#87CEFA" fillOpacity="0.5" >
</mm:polyline></mm:geoLocalisation></mm:node>

<mm:node>
<mm:type>tns:Sensitive building</mm:type>
<mm:extends>ssys:Good</mm:extends>
<mm:view><mm:url>sensitive_building.svg</mm:url></mm:view>
<mm:role>sensitive_building</mm:role><mm:category>Flood</mm:category>
<mm:property name="name" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="-${parentHeight} + 100"
fontSize="15" readonly="false" type="text" defaultvalue="Sensitive
building ${cpt}"></mm:property>
<mm:property name="type" visible="true" optional="true"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="${parentHeight}/2 +
120" fontSize="10" readonly="false" type="text" defaultvalue=""
showName="true"></mm:property>
<mm:property name="capacity" visible="false" optional="true"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="${parentHeight}/2 +
140" fontSize="10" readonly="false" type="text" defaultvalue=""
showName="true"></mm:property>
<mm:property name="altitude" visible="true" optional="true"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="${parentHeight}/2 +
150" fontSize="10" readonly="false" type="number" defaultvalue="0"
showName="true"><mm:description>Altitude of the vulnerable asset</
mm:description></mm:property>
<mm:geoLocalisation><mm:point>
<mm:image>sensitive_building.svg</mm:image></mm:point>
</mm:geoLocalisation></mm:node>

<mm:node><mm:type>tns:Hazardous building</mm:type>
<mm:extends>tns:Sensitive building</mm:extends>
<mm:view><mm:url>hazardous_building.svg</mm:url></mm:view>
<mm:role>hazardous_building</mm:role><mm:category>Flood</mm:category>
<mm:property name="nafCode" visible="true" optional="true"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="${parentHeight}/2 +
170" fontSize="10" readonly="false" type="number" defaultvalue="0"
showName="true"><mm:description>NAF code</mm:description>
</mm:property>
<mm:property name="hyperLink" visible="true" optional="true"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="${parentHeight}/2 +
180" fontSize="10" readonly="true" type="text" defaultvalue="0"
showName="true"> <mm:description>Link to the official description of
the hazardous building</mm:description></mm:property>
<mm:geoLocalisation><mm:point>
<mm:image>hazardous_building.svg</mm:image></mm:point>
</mm:geoLocalisation></mm:node>

<edge><type>tns:Protects</type>
<strokeColor>#175732</strokeColor><strokeWidth>3</strokeWidth>
<strokeDashArray>[5, 10]</strokeDashArray><endConnectorView>
<shape>TRIANGLE</shape><size>20</size>

```

```

<backgroundColor>#175732</backgroundColor></endConnectorView>
<startConnectorView><shape>CIRCLE</shape><size>5</size>
<backgroundColor>#175732</backgroundColor></startConnectorView>
<role>protects</role>
<category>Relations</category>
<property name="name" defaultvalue="protects" type="text"
required="true" visible="true" posXFromParentCenter="0"
posYFromParentCenter="-20" fontSize="15"></property></edge>

<rules>
<containmentRule><role>watercourse</role>
<isSubProcess>true</isSubProcess>
<contain>watercourse_segment</contain>
</containmentRule>

<connectionRule><role>protects</role><connect>
<from>dike</from><to>watercourse_segment</to>
</connect></connectionRule>
</rules>

</metaModel>

```

G.4 La partie Territoire de la couche Crise

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<metaModel xmlns="http://www.gind.emac.fr/modeler/metaModel"
targetNamespace="http://fr.emac.gind/crisis_context/aera"
xmlns:mm="http://www.gind.emac.fr/modeler/metaModel"
xmlns:ssys="http://fr.emac.gind/crisis_context" xmlns:tns="http://
fr.emac.gind/crisis_context/aera"
xmlns:core="http://fr.emac.gind/core-model">

<name>tns:Crisis Context Aera</name>
<version>1.0-SNAPSHOT</version>
<domain>crisis</domain>
<category>context</category>

<import namespace="http://fr.emac.gind/core-model"
location="./generated-sources/crisis-context/conf/generated-
sources/core-model/conf/MetaModel.xml"></import>
<import namespace="http://fr.emac.gind/crisis_context"
location="./generated-sources/crisis-context/conf/
MetaModel.xml"></import>

<mm:node><mm:type>tns:Administrative border</mm:type>
<mm:extends>ssys:Territory</mm:extends>
<mm:view><mm:url>administrative_borders.svg</mm:url>
</mm:view><mm:role>administrative_border</mm:role>
<mm:category>Territory</mm:category>
<mm:property name="name" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="-${parentHeight} + 100"

```

```

fontSize="20" readonly="false" type="text"
defaultvalue="Administrative border ${cpt}"></mm:property>
<mm:property name="type" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="{parentHeight}/2 + 80"
fontSize="10" readonly="false" type="text" defaultvalue="">
<mm:values><mm:fixedValues>
<mm:value>Locality</mm:value>
<mm:value>County</mm:value>
<mm:value>Region</mm:value>
<mm:value>DefenseZone</mm:value>
</mm:fixedValues></mm:values></mm:property>
<mm:geoLocalisation><mm:area strokeColor="#D8BFD8" strokeWidth="3"
strokeOpacity="0.5" fillColor="#D8BFD8" fillOpacity="0.5"></mm:area>
</mm:geoLocalisation></mm:node>

<mm:node><mm:type>tns:Protected landscape area</mm:type>
<mm:extends>ssys:Territory</mm:extends>
<mm:view><mm:url>protected_landscape_area.svg</mm:url></mm:view>
<mm:role>geographical_territory</mm:role>
<mm:category>Territory</mm:category>
<mm:property name="name" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="-{parentHeight} + 100"
fontSize="20" readonly="false" type="text" defaultvalue="Protected
landscape area ${cpt}"></mm:property>
<mm:geoLocalisation><mm:area strokeColor="#9ACD32" strokeWidth="3"
strokeOpacity="0.3" fillColor="#9ACD32" fillOpacity="0.3"></mm:area>
</mm:geoLocalisation></mm:node>

<mm:node><mm:type>tns:Activity area</mm:type>
<mm:extends>ssys:Territory</mm:extends>
<mm:view><mm:url>activity_area.svg</mm:url></mm:view>
<mm:role>hazardous_building</mm:role>
<mm:category>Territory</mm:category>
<mm:property name="name" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="-{parentHeight} + 100"
fontSize="20" readonly="false" type="text" defaultvalue="Activity area
${cpt}"></mm:property>
<mm:geoLocalisation><mm:area strokeColor="#FFD700" strokeWidth="3"
strokeOpacity="0.3" fillColor="#FFD700" fillOpacity="0.3"></mm:area>
</mm:geoLocalisation></mm:node>

</metaModel>

```

G.5 La partie Crise routière de la couche Crise

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<metaModel xmlns="http://www.gind.emac.fr/modeler/metaModel"
targetNamespace="http://fr.emac.gind/crisis_context/road"
xmlns:mm="http://www.gind.emac.fr/modeler/metaModel"
xmlns:ssys="http://fr.emac.gind/crisis_context"
xmlns:ter="http://fr.emac.gind/crisis_context/aera"
xmlns:net="http://fr.emac.gind/crisis_context/network"

```



```

xmlns:tns="http://fr.emac.gind/crisis_context/road"
xmlns:core="http://fr.emac.gind/core-model">

<name>tns:Crisis Context Road</name>
<version>1.0-SNAPSHOT</version>
<domain>crisis</domain>
<category>context</category>

<import namespace="http://fr.emac.gind/core-model" location="./
generated-sources/crisis-context/conf/generated-sources/core-
model/conf/MetaModel.xml"></import>
<import namespace="http://fr.emac.gind/crisis_context" location="./
generated-sources/crisis-context/conf/MetaModel.xml"></import>
<import namespace="http://fr.emac.gind/crisis_context/network"
location="./generated-sources/crisis-context-network/conf/
MetaModel.xml"></import>
<import namespace="http://fr.emac.gind/crisis_context/aera"
location="./generated-sources/crisis-context-aera/conf/
MetaModel.xml"></import>

<mm:node><mm:type>tns:County</mm:type>
<mm:extends>ter:Administrative border</mm:extends>
<mm:view><mm:url>departement.svg</mm:url></mm:view>
<mm:role>county</mm:role><mm:category>Road</mm:category>
<mm:magnets><mm:managedPosition>RECT</mm:managedPosition></mm:magnets>
<mm:property name="name" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="0" fontSize="20"
readonly="false" type="text" defaultvalue="Department ${cpt}">
</mm:property>
<mm:property name="numero" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="${parentHeight}/2+10"
fontSize="10" readonly="false" type="text"
defaultvalue="${cpt}" showName="true"></mm:property>
<mm:property name="niveauPIZO" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="${parentHeight}/2+30"
fontSize="10" readonly="false" type="text" defaultvalue="N1"
showName="true"><mm:values><mm:fixedValues>
<mm:value>N1</mm:value>
<mm:value>N2</mm:value>
<mm:value>N3</mm:value>
<mm:value>N4</mm:value></mm:fixedValues></mm:values></mm:property>
<mm:property name="niveauVigilanceMeteo" visible="true"
optional="false" posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="$
{parentHeight}/2+50" fontSize="10" readonly="false"
type="text" defaultvalue="Vert" showName="true">
<mm:values><mm:fixedValues>
<mm:value>Green</mm:value>
<mm:value>Yellow</mm:value>
<mm:value>Orange</mm:value>
<mm:value>Red</mm:value></mm:fixedValues></mm:values></mm:property>
different" visible="false" optional="false" -->
</mm:node>

<mm:node><mm:type>tns:Road section</mm:type>

```

```

<mm:extends>net:Edge</mm:extends>
<mm:view><mm:url>troncon.svg</mm:url></mm:view>
<mm:role>road_section</mm:role><mm:category>Road</mm:category>
<mm:magnets><mm:managedPosition>RECT</mm:managedPosition></mm:magnets>
<mm:property name="name" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="0" fontSize="20"
readonly="false" type="text" defaultvalue="Troncon ${cpt}">
</mm:property>
<mm:property name="Driving Conditions" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="${parentHeight}/2+10"
fontSize="10" readonly="false" type="text" defaultvalue="C1"
showName="true"><mm:values><mm:fixedValues>
<mm:value>C1</mm:value>
<mm:value>C2</mm:value>
<mm:value>C3</mm:value>
<mm:value>C4</mm:value></mm:fixedValues></mm:values></mm:property>
<mm:property name="State" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="${parentHeight}/2+30"
fontSize="10" readonly="false" type="text"
defaultvalue="Ouvert" showName="true"><mm:values><mm:fixedValues>
<mm:value>Open</mm:value>
<mm:value>Closed to HGVs only</mm:value>
<mm:value>closed</mm:value></mm:fixedValues></mm:values></mm:property>
<mm:property name="Weather" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="${parentHeight}/2+50"
fontSize="10" readonly="false" type="text" defaultvalue="Brouillard"
showName="true"></mm:property>
<mm:geoLocalisation><mm:polyline strokeColor="#fe5c46" strokeWidth="3"
strokeOpacity="0.9" fillColor="#fe5c46" fillOpacity="0.9">
</mm:polyline></mm:geoLocalisation></mm:node>

<mm:node><mm:type>tns:Storage Area</mm:type>
<mm:view><mm:url>ZDS.svg</mm:url></mm:view>
<mm:role>storage_area</mm:role><mm:category>Road</mm:category>
<mm:magnets><mm:managedPosition>RECT</mm:managedPosition>
</mm:magnets><mm:property name="Name" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="0" fontSize="20"
readonly="false" type="text" defaultvalue="Zone ${cpt}">
</mm:property><mm:property name="Function" visible="true"
optional="false" posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="$
{parentHeight}/2+10" fontSize="10" readonly="false" type="text"
defaultvalue="0" showName="true"></mm:property>
<mm:property name="Number of parked vehicules" visible="true"
optional="false" posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="$
{parentHeight}/2+30" fontSize="10"
readonly="false" type="text" defaultvalue="0" showName="true">
</mm:property>
<mm:property name="Filling" visible="true" optional="false"
posXFromParentCenter="0" posYFromParentCenter="${parentHeight}/2+50"
fontSize="10" readonly="false" type="text"
defaultvalue="0" showName="true"></mm:property>
<mm:geoLocalisation><mm:point><mm:image>ZDS.svg</mm:image></mm:point>
</mm:geoLocalisation></mm:node>

</metaModel>

```


LES ÉVÈNEMENTS POUR SIMULER UNE CRUE EN LOIRE MOYENNE

H.1 L'évènement simulant une rupture de digue

H.1.1 Le format de données de rupture de digue utilisé

```
<xsd:element name="Event_DykeFailure">
<xsd:complexType>
<xsd:sequence>
<xsd:element name="id" type="xsd:string" />
<xsd:element name="dykeName" type="xsd:string" />
<xsd:element name="isFailure" type="xsd:int" />
</xsd:sequence>
</xsd:complexType>
</xsd:element>
```

H.1.2 L'évènement rupture de digue

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>

<tns:dataset xmlns:tns="http://www.gind.emac.fr/dataset"
xmlns="http://www.mines-albi.fr/loireFloodingEvent"
xmlns:ec="http://www.mines-albi.fr/loireFloodingTopic"
topic="ec:DykeFailureTopic">

<Event_DykeFailure>
<id>1</id>
<dykeName>Sandillon</dykeName>
<isFailure>1</isFailure>
</Event_DykeFailure>

</tns:dataset>
```

H.2 L'évènement trafic

H.2.1 Le format de données trafic utilisé

```
<xsd:element name="Event_TrafficMeasures">
<xsd:complexType>
<xsd:sequence>
<xsd:element name="id" type="xsd:string" />
```

```
<xsd:element name="date" type="xsd:dateTime" />
<xsd:element name="stationName" type="xsd:string" />
<xsd:element name="stationLat" type="xsd:float" />
<xsd:element name="stationLong" type="xsd:float" />
<xsd:element name="direction1" type="xsd:string" />
<xsd:element name="direction2" type="xsd:string" />
<xsd:element name="pl1" type="xsd:int" />
<xsd:element name="tv1" type="xsd:int" />
<xsd:element name="tv2" type="xsd:int" />
<xsd:element name="pl2" type="xsd:int" />
</xsd:sequence>
</xsd:complexType>
</xsd:element>
```

H.2.2 Les évènements trafic sur un jour entre Orléans et Clery

Seuls sont ici représentés le premier et le dernier des 24 évènements émis sur la journée du 28 septembre 2017, respectivement à 01h et minuit.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>

<tns:dataset xmlns:tns="http://www.gind.emac.fr/dataset"
xmlns="http://www.mines-albi.fr/loireFloodingEvent"
xmlns:ec="http://www.mines-albi.fr/loireFloodingTopic"
topic="ec:TrafficTopic">

  <Event_TrafficMeasures>
    <id>11</id>
    <date>2017-09-28T01:00:00</date>
    <stationName>STHILAIRE-STMESMIN</stationName>
    <stationLat>47.870</stationLat>
    <stationLong>1.8410</stationLong>
    <direction1>ORLEANS</direction1>
    <direction2>CLERY</direction2>
    <tv1>10</tv1>
    <pl1>0</pl1>
    <tv2>14</tv2>
    <pl2>0</pl2>
  </Event_TrafficMeasures>

  [...]

  <Event_TrafficMeasures>
    <id>124</id>
    <date>2017-09-28T24:00:00</date>
    <stationName>STHILAIRE-STMESMIN</stationName>
    <stationLat>47.870</stationLat>
    <stationLong>1.8410</stationLong>
    <direction1>ORLEANS</direction1>
    <direction2>CLERY</direction2>
    <tv1>29</tv1>
    <pl1>1</pl1>
    <tv2>43</tv2>
    <pl2>0</pl2>
  </Event_TrafficMeasures>
```

```
</tns:dataset>
```

H.3 Les évènements hydrauliques

H.3.1 Le format des évènements hydrauliques

```
<xsd:element name="Event_ForecastMeasures">
<xsd:complexType>
<xsd:sequence>
<xsd:element name="id" type="xsd:string" />
<xsd:element name="date" type="xsd:dateTime" />
<xsd:element name="stationName" type="xsd:string" />
<xsd:element name="stationLat" type="xsd:float" />
<xsd:element name="stationLong" type="xsd:float" />
<xsd:element name="nbHours" type="xsd:int" />
<xsd:element name="f_min" type="xsd:float" />
<xsd:element name="f_med" type="xsd:float" />
<xsd:element name="f_max" type="xsd:float" />
<xsd:element name="wl_min" type="xsd:float" />
<xsd:element name="wl_med" type="xsd:float" />
<xsd:element name="wl_max" type="xsd:float" />
</xsd:sequence>
</xsd:complexType>
</xsd:element>
```

H.3.2 Les évènements de prévision hydraulique au 5ème jour de crue, à Orléans

Seuls le premier et le dernier des 57 évènements émis, à la même seconde, pour 57 heures de prévisions, au 5ème jour de crue, à partir de la station de mesure d'Orléans, sont représentés.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>

<tns:dataset xmlns:tns="http://www.gind.emac.fr/dataset"
xmlns="http://www.mines-albi.fr/loireFloodingEvent"
xmlns:ec="http://www.mines-albi.fr/loireFloodingTopic"
topic="ec:WaterStationTopic">

<Event_ForecastMeasures>
<id>5454</id>
<date>2017-10-03T14:41:40.371+02:00</date>
<stationName>ORLEANS</stationName>
<stationLat>1.9047891</stationLat>
<stationLong>47.897324</stationLong>
<nbHours>0</nbHours>
<f_min>4578.5</f_min>
<f_med>4578.5</f_med>
<f_max>4578.5</f_max>
<wl_min>4.84</wl_min>
<wl_med>4.84</wl_med>
<wl_max>4.84</wl_max>
```

```
</Event_ForecastMeasures>
```

```
[...]
```

```
<Event_ForecastMeasures>  
<id>5510</id>  
<date>2017-10-03T14:41:40.371+02:00</date>  
<stationName>ORLEANS</stationName>  
<stationLat>1.9047891</stationLat>  
<stationLong>47.897324</stationLong>  
<nbHours>56</nbHours>  
<f_min>4553.2</f_min>  
<f_med>4808.8</f_med>  
<f_max>5267.6</f_max>  
<wl_min>4.82</wl_min>  
<wl_med>5.02</wl_med>  
<wl_max>5.37</wl_max>  
</Event_ForecastMeasures>
```

```
</tns:dataset>
```

LES RÈGLES CEP IMPLÉMENTÉES DANS LE MODULE D'INTERPRÉTATION

Toutes ces règles ont été rédigées de manière à traduire les règles métiers appliquées par les parties-prenantes usuelles à une réponse à une crue majeure en Loire Moyenne. Ces règles ont été récupérées, lors d'interviews, par le Centre d'Etude et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA) Ouest, partenaire du projet Granularité des Niveaux de Pilotage (GéNéPi).

I.1 L'évaluation des Dangers pour prévoir les aléas

I.1.1 Le Danger d'inondation probable dans le Loiret

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"><tns:ruleName>tns:floodDangerValORLEANS
</tns:ruleName>

<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream Event_ForecastMeasures(
id string, date string, stationName string, stationLat float, stationLong
float, nbHours int, f_min float, f_med float, f_max float, wl_min float,
wl_med float, wl_max float); ]]></tns:streamDefinition>

<tns:rule><![CDATA[
from Event_ForecastMeasures[(stationName == 'ORLEANS' and wl_max > 5.5)
or (stationName == 'GIEN' and wl_max > 4.5)]

select '${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'Danger' as node__type,
'name' as node__property0__name, 'Inondations probables dans le
Loiret' as node__property0__value,
'type' as node__property1__name, 'Flood' as node__property1__value,
'threshold' as node__property2__name, wl_max as node__property2__value,
'similar concepts' as node__property3__name, '' as
node__property3__value,
'Impacted components' as node__property4__name, '' as
node__property4__value,
'similar concept of objective created' as node__property5__name, '' as
node__property5__value,
```



```
'gravity' as node__property6__name, '1' as node__property6__value,
'description' as node__property7__name, '' as node__property7__value,
'characteristic' as node__role0, 'danger' as node__role1,
'60000' as node__geoLocalisation__predefinedShape__circle__radius,
stationLat as node__geoLocalisation__predefinedShape__longitude,
stationLong as node__geoLocalisation__predefinedShape__latitude,
output first every 30 events
insert into addNodeEvent;]]</tns:rule>
```

```
<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent
</tns:eventElementName><tns:schemaDefinition>
<tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>
```

```
<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry><tns:topic
xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/loireFloodingTopic">
ns12:WaterStationTopic</tns:topic><tns:correspondingEvent
xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/loireFloodingEvent">
ns12:Event_ForecastMeasures</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry></tns:subscriptionsRequired>
</tns:context></tns:cepRule>s
```

I.1.2 Le Danger d'inondation probable dans le Loir-et-Cher

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"><tns:ruleName>tns:floodDangerValBLOIS</tns:ruleName>
```

```
<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream Event_ForecastMeasures(
id string, date string, stationName string, stationLat float, stationLong
float, nbHours int, f_min float, f_med float, f_max float, wl_min float,
wl_med float, wl_max float); ]]></tns:streamDefinition>
```

```
<tns:rule><![CDATA[
from Event_ForecastMeasures[stationName == 'BLOIS' and wl_max > 4.1]
select '${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'Danger' as node__type,
'name' as node__property0__name, 'Inondations probables dans le Loir-et-
Cher' as node__property0__value,
'type' as node__property1__name, 'Flood' as node__property1__value,
'threshold' as node__property2__name, wl_max as
node__property2__value,
'similar concepts' as node__property3__name, '' as
node__property3__value,
'Impacted components' as node__property4__name, '' as
node__property4__value,
'similar concept of objective created' as node__property5__name, '' as
node__property5__value,
'gravity' as node__property6__name, '1' as node__property6__value,
'description' as node__property7__name, '' as node__property7__value,
'characteristic' as node__role0, 'danger' as node__role1,
```

```
'60000' as node__geoLocalisation__predefinedShape__circle__radius,
stationLat as node__geoLocalisation__predefinedShape__longitude,
stationLong as node__geoLocalisation__predefinedShape__latitude,
output first every 30 events
insert into addNodeEvent;]]</tns:rule>

<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>

<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry><tns:topic
xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/loireFloodingTopic">
ns12:WaterStationTopic</tns:topic><tns:correspondingEvent
xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/loireFloodingEvent">
ns12:Event_ForecastMeasures</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry></tns:subscriptionsRequired>
</tns:context></tns:cepRule>
```

I.1.3 Le Danger d'inondation très probable sur la Loire Moyenne

L'objectif était ici de surveiller le débit de la Loire, juste après sa confluence avec L'Allier. L'un des pires scénarios pour la région serait en effet la concordance de leur pic de crue.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"><tns:ruleName>tns:hpFloodDanger</tns:ruleName>

<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream Event_ForecastMeasures(
id string, date string, stationName string, stationLat float, stationLong
float, nbHours int, f_min float, f_med float, f_max float, wl_min float,
wl_med float, wl_max float); ]]></tns:streamDefinition>

<tns:rule><![CDATA[
from Event_ForecastMeasures[stationName == 'GIVRY' and f_max > 3500]
select '${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'Danger' as node__type,
'name' as node__property0__name, 'Inondations tres probables sur la
Loire Moyenne' as node__property0__value,
'similar concepts' as node__property1__name, '' as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'similar concept of objective created' as node__property3__name, '' as
node__property3__value,
'gravity' as node__property4__name, '1' as node__property4__value,
'description' as node__property5__name, '' as node__property5__value,
'characteristic' as node__role0, 'danger' as node__role1,
'180000' as node__geoLocalisation__predefinedShape__circle__radius,
stationLat as node__geoLocalisation__predefinedShape__longitude,
stationLong as node__geoLocalisation__predefinedShape__latitude,
```

```
output first every 30 events
insert into addNodeEvent;]]</tns:rule>
```

```
<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>
```

```
<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry>
<tns:topic xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingTopic">ns12:WaterStationTopic</tns:topic>
<tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingEvent">ns12:Event_ForecastMeasures</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry></tns:subscriptionsRequired>
</tns:context></tns:cepRule>
```

I.1.4 Le Danger d'inondation imminent dans le Loiret

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"><tns:ruleName>tns:imminentDykeFailure</tns:ruleName>
```

```
<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream Event_ForecastMeasures (
id string, date string, stationName string, stationLat float, stationLong
float, nbHours int, f_min float, f_med float, f_max float, wl_min float,
wl_med float, wl_max float); ]]></tns:streamDefinition>
```

```
<tns:rule><![CDATA[from Event_ForecastMeasures[stationName == 'ORLEANS'
and wl_max > 5.50]
select '${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'Danger' as node__type,
'name' as node__property0__name, 'Rupture de digue imminente val 45'
as node__property0__value,
'type' as node__property1__name, 'Flood' as node__property1__value,
'threshold' as node__property2__name, wl_max as
node__property2__value,
'similar concepts' as node__53property3__name, '' as
node__property3__value,
'Impacted components' as node__property4__name, '' as
node__property4__value,
'similar concept of objective created' as node__property5__name, '' as
node__property5__value,
'gravity' as node__property6__name, '1' as node__property6__value,
'description' as node__property7__name, '' as node__property7__value,
'characteristic' as node__role0,
'danger' as node__role1,
'20000' as node__geoLocalisation__predefinedShape__circle__radius,
'47.855134' as node__geoLocalisation__predefinedShape__latitude,
'2.034190' as node__geoLocalisation__predefinedShape__longitude,
insert into addNodeEvent; ]]></tns:rule>
```

```

<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>

<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry>
<tns:topic xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingTopic">ns12:WaterStationTopic</tns:topic>
<tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingEvent">ns12:Event_ForecastMeasures</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry></tns:subscriptionsRequired>
</tns:context></tns:cepRule>

```

I.2 La détection des Risques

Les dangers, s'ils menacent des enjeux, génèrent des risques.

I.2.1 Le risque probable de submersion de zones urbaines dans le Loiret

Cette règle fait partie de celle qui montre comment lier l'instance créée à des instances contenues dans la base de connaissance peuplée en phase de préparation.

Cette règle est aussi la première à rechercher les enjeux de la zone de danger identifiée, pour en déduire les risques équivalents.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<tns:cepRule xmlns:tns="http://www.gind.emac.fr/data/CepRules"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
<tns:ruleName>tns:floodingRisk45</tns:ruleName><tns:streamDefinition>
<![CDATA[define stream addNodeEvent (inputnode object); ]]>
</tns:streamDefinition>

<tns:rule><![CDATA[
from addNodeEvent[ util:string(node:get(inputnode,
'type')) == 'Danger' and
util:string(node:findValueProperty(inputnode,'name')) ==
'Inondations probables dans le Loiret']#cypher:query(" MATCH
(n:sensitive_building) WHERE n.node_status = 'ACTIF' and
toFloat(n.property_altitude) < $1 WITH n as nn,n.geoLocalisation as
geo WITH nn,toFloat(split(split(trim(geo), ',')[2],':')[1]) as long,
toFloat(split(split(trim(geo), ',')[1],':')[2]) as lat WITH nn,point({
latitude: $2, longitude: $3}) AS pDanger, point({ latitude: lat,
longitude: long}) AS pSB WITH nn,distance(pDanger, pSB) as dis WHERE
dis < $4 RETURN nn", '${collaborationName}', '${knowledgeSpaceName}',
'resCypher', node:findValueProperty(inputnode,'threshold', 'FLOAT'),
'47.897324', '1.9047891', '30000')

select resCypher as model, '${collaborationName}' as
collaborationName, '${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'{http://fr.emac.gind/core-model}Emerging Risk' as node__type,

```

```
'name' as node__property0__name, 'Inondation val 45 probable'
as node__property0__value,
'similar concepts' as node__property1__name,
str:concat("[{'id':'",util:string('node_32dc7da9-2974-4311-1a5e-5e1f
36578023'),'name':'Flooding in county45 likely','near':100}]" as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'characteristic' as node__role0, 'emerging_risk' as node__role1,
util:string(util:get(util:get(node:get(inputnode,
'geoLocalisation'), 'predefinedShape'), 'latitude')) as
node__geoLocalisation__point__latitude,
util:string(util:get(util:get(node:get(inputnode,
'geoLocalisation'), 'predefinedShape'), 'longitude')) as
node__geoLocalisation__point__longitude,
insert into addNodeEvent_New;]]></tns:rule>
```

```
<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>
```

```
<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry>
<tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/EventType">s:addNodeTopic
</tns:topic><tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry>
</tns:subscriptionsRequired></tns:context></tns:cepRule>
```

I.2.2 Le risque probable de submersion de zones urbaines dans le Loir-et-Cher

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"><tns:ruleName>tns:floodingRisk41</tns:ruleName>
```

```
<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream addNodeEvent (inputnode
object); ]]></tns:streamDefinition>
```

```
<tns:rule><![CDATA[
from addNodeEvent[ util:string(node:get(inputnode,
'type')) == 'Danger' and
util:string(node:findValueProperty(inputnode,'name')) ==
'Inondations probables dans le Loir-et-Cher']#cypher:query(" MATCH
(n:sensitive_building) WHERE n.node_status = 'ACTIF' and
toFloat(n.property_altitude) < $1 WITH n as nn,n.geoLocalisation as
geo WITH nn,toFloat(split(split(trim(geo), ',')) [2],':')[1]) as long,
toFloat(split(split(trim(geo), ',')[1],':')[2]) as lat WITH nn,point({
latitude: $2, longitude: $3}) AS pDanger, point({ latitude: lat,
longitude: long}) AS pSB WITH nn,distance(pDanger, pSB) as dis WHERE
dis < $4 RETURN nn", '${collaborationName}', '${knowledgeSpaceName}',
'resCypher', node:findValueProperty(inputnode,'threshold', 'FLOAT)'),
```

```

'47.584957', '1.3351479', '30000')

select resCypher as model, '${collaborationName}' as
collaborationName, '${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'{http://fr.emac.gind/core-model}Emerging Risk' as node__type,
'name' as node__property0__name, 'Inondation val 41 probable'
as node__property0__value,
'similar concepts' as node__property1__name,
str:concat("[{'id':'",util:string(
'node_f17196b9-cb16-a02a-d20a-8a4f09ed2600'),'name':
'Flooding in county41 likely','near':100}]]") as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'characteristic' as node__role0, 'emerging_risk' as node__role1,
util:string(util:get(util:get(node:get(inputnode,
'geoLocalisation'), 'predefinedShape'), 'latitude')) as
node__geoLocalisation__point__latitude,
util:string(util:get(util:get(node:get(inputnode,
'geoLocalisation'), 'predefinedShape'), 'longitude')) as
node__geoLocalisation__point__longitude,
insert into addNodeEvent_New;]]></tns:rule>

<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>

<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry><tns:topic
xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/EventType">s:addNodeTopic</tns:topic>
<tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://www.emac.gind.fr/EventType">
ns12:addNodeEvent</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry>
</tns:subscriptionsRequired></tns:context></tns:cepRule>

I.2.3 Le risque très probable de submersion de zones urbaines dans le Loiret

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"><tns:ruleName>tns:hpflooding45</tns:ruleName>

<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream addNodeEvent (inputnode
object); ]]></tns:streamDefinition>

<tns:rule><![CDATA[
from addNodeEvent[ util:string(node:get(inputnode,
'type')) == 'Danger' and
util:string(node:findValueProperty(inputnode,'name')) ==
'Inondations tres probables sur la Loire Moyenne']

select '${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'{http://fr.emac.gind/core-model}Emerging Risk' as node__type,

```

```
'name' as node__property0__name, 'Inondation val 45 tres probable'
as node__property0__value,
'similar concepts' as node__property1__name,
str:concat("[{'id':'",util:string(
'node_91cce8cf-8752be06-4749-9147e30959c4'),"', 'name':
'Flooding in county45 confirmed', 'near':100}]]") as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'characteristic' as node__role0, 'emerging_risk' as node__role1,
util:string(util:get(util:get(node:get(inputnode,
'geoLocalisation'), 'predefinedShape'), 'latitude')) as
node__geoLocalisation__point__latitude,
util:string(util:get(util:get(node:get(inputnode,
'geoLocalisation'), 'predefinedShape'), 'longitude')) as
node__geoLocalisation__point__longitude,
insert into addNodeEvent_New;]]></tns:rule>
```

```
<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>
```

```
<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry><tns:topic
xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/EventType">s:addNodeTopic</tns:topic>
<tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://www.emac.gind.fr/EventType">
ns12:addNodeEvent</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry>
</tns:subscriptionsRequired></tns:context></tns:cepRule>
```

I.2.4 Le risque très probable de submersion de zones urbaines dans le Loir-et-Cher

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"><tns:ruleName>tns:hpflooding41</tns:ruleName>
```

```
<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream addNodeEvent (inputnode
object); ]]></tns:streamDefinition>
```

```
<tns:rule><![CDATA[
from addNodeEvent[ util:string(node:get(inputnode,
'type')) == 'Danger' and
util:string(node:findValueProperty(inputnode, 'name')) ==
'Inondations tres probables sur la Loire Moyenne']
```

```
select '${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'{http://fr.emac.gind/core-model}Emerging Risk' as node__type,
'name' as node__property0__name, 'Inondation val 41 tres probable'
as node__property0__value,
'similar concepts' as node__property1__name,
```

```

str:concat("[{'id':'",util:string(
'node_4bebd2a2-22af-ab22-bab8-373a4bf622d2'),'name':
'Flooding in county41 confirmed','near':100}]]") as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'characteristic' as node__role0, 'emerging_risk' as node__role1,
util:string(util:get(util:get(node:get(inputnode,
'geoLocalisation'),'predefinedShape'),'latitude')) as
node__geoLocalisation__point__latitude,
util:string(util:get(util:get(node:get(inputnode,
'geoLocalisation'),'predefinedShape'),'longitude')) as
node__geoLocalisation__point__longitude,
insert into addNodeEvent_New;]]</tns:rule>

<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>

<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry><tns:topic
xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/EventType">s:addNodeTopic</tns:topic>
<tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://www.emac.gind.fr/EventType">
ns12:addNodeEvent</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry>
</tns:subscriptionsRequired></tns:context></tns:cepRule>

```

I.2.5 Le risque de submersion imminente de maisons de retraites dans le Loiret

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"><tns:ruleName>
tns:floodingImminent_RetirementHomes_Sandillon</tns:ruleName>

<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream addNodeEvent
(inputnode object); ]]></tns:streamDefinition>

<tns:rule><![CDATA[
from addNodeEvent[ util:string(node:get(inputnode, 'type')) == '{http://
fr.emac.gind.fr/crisis_objectives}Danger' and util:string(node:findValue
Property(inputnode,'name')) == 'Rupture de digue imminente val
45']#cypher:query(" MATCH (n:sensitive_building) WHERE n.node_status =
'ACTIF' and toFloat(n.property_altitude) < $1 and n.property_type =
'Retirement home' WITH n as nn,n.geoLocalisation as geo WITH
nn,toFloat(split(split(trim(geo), ','),':')[1]) as long,
toFloat(split(split(trim(geo), ','),':')[2]) as lat WITH nn,point({
latitude: $2, longitude: $3}) AS pDanger, point({ latitude: lat,
longitude: long}) AS pSB WITH nn,distance(pDanger, pSB) as dis WHERE dis
< $4 RETURN nn", '{collaborationName}', '{knowledgeSpaceName}',
'resCypher', node:findValueProperty(inputnode,'threshold', 'FLOAT'),
'47.855134', '2.034190', '10000')

```



```

select resCypher as model,
'${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'http://fr.emac.gind/core-model}Emerging Risk' as node__type,
'name' as node__property0__name, 'Risque de victimes maison de retraites
val 45' as node__property0__value,
'similar concepts' as node__property1__name, '' as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'characteristic' as node__role0,
'47.855134' as node__geoLocalisation__point__latitude,
'2.034190' as node__geoLocalisation__point__longitude,

having not(model is null)
insert into addNodeEvent_New;

```

```

<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>

```

```

<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry>
<tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/EventType">s:addNodeTopic
</tns:topic><tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry>
</tns:subscriptionsRequired></tns:context></tns:cepRule>

```

I.2.6 Le risque de coupure imminente de l'A71 dans le Loiret

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"><tns:ruleName>tns:floodingImminent_A71</
tns:ruleName>

```

```

<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream addNodeEvent (inputnode
object);]]></tns:streamDefinition>

```

```

<tns:rule><![CDATA[
from addNodeEvent[ util:string(node:get(inputnode, 'type')) ==
'Danger' and
util:string(node:findValueProperty(inputnode,'name')) == 'Rupture de
digue imminente val 45' #cypher:query(" MATCH (n:road_section) WHERE
n.node_status = 'ACTIF' and n.property_name = 'A71' WITH
n,n.geoLocalisation as geo WITH n,geo, toFloat(split(split(trim(geo),
',')) [2],':')[1]) as long, toFloat(split(split(trim(geo), ',')[1], ':')
[3]) as lat WITH n,long,lat, point({latitude: $1,longitude: $2}) as
pDanger, point({latitude: lat,longitude: long}) as pH WITH n,pDanger,pH,
distance(pDanger,pH) as dis WHERE dis < $3 RETURN n", '$
{collaborationName}', '${knowledgeSpaceName}', 'resCypher', '47.855134',
'2.034190', '20000')

```

```

select resCypher as model,
'${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'{http://fr.emac.gind/core-model}Emerging Risk' as node__type,
'name' as node__property0__name, 'Risque de coupure A71 val
45' as node__property0__value,
'similar concepts' as node__property1__name, '' as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'characteristic' as node__role0, 'emerging_risk' as node__role1,
'47.891591' as node__geoLocalisation__point__latitude,
'1.856553' as node__geoLocalisation__point__longitude,
having not(model is null)
insert into addNodeEvent_New;]]></tns:rule>

```

```

<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>

```

```

<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry><tns:topic
xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/EventType">s:addNodeTopic
</tns:topic><tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://www.emac.gind.fr/
EventType">ns12:addNodeEvent</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry>
</tns:subscriptionsRequired></tns:context></tns:cepRule>

```

I.2.7 Le risque de rupture de digue imminente dans le Loiret

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"> <tns:ruleName>tns:floodingImminent_Dykefailure
</tns:ruleName><tns:streamDefinition><![CDATA[define stream
addNodeEvent (inputnode object);]]></tns:streamDefinition>

```

```

<tns:rule><![CDATA[
from addNodeEvent[ util:string(node:get(inputnode, 'type'))
== 'Danger'
and util:string(node:findValueProperty(inputnode,'name')) ==
'Rupture de digue imminente val 45']

```

```

select '${collaborationName}' as collaborationName, '$
{knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'{http://fr.emac.gind/core-model}Emerging Risk' as
node__type,
'name' as node__property0__name, 'Risque de rupture de digue
val 45 tres probable' as node__property0__value,
'similar concepts' as node__property1__name, '' as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,

```

```
'characteristic' as node__role0,
'emerging_risk' as node__role1,
'47.855' as node__geoLocalisation__point__latitude,
'2.035' as node__geoLocalisation__point__longitude,
insert into addNodeEvent_New;]]> </tns:rule>

<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent
</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/
EventType.xsd</tns:url></tns:schemaDefinition>
<tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>

<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry>
<tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic>
<tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://www.emac.gind.fr/
EventType">ns12:addNodeEvent</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>{eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry>
</tns:subscriptionsRequired></tns:context></tns:cepRule>
```

I.2.8 Le risques de victimes imminente dans le Loiret

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"><tns:ruleName>tns:floodingImminent_Victims</
tns:ruleName>

<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream addNodeEvent (inputnode
object);]]></tns:streamDefinition>

<tns:rule><![CDATA[
from addNodeEvent[ util:string(node:get(inputnode, 'type')) == '{http://
fr.emac.gind/crisis_objectives}Danger' and
util:string(node:findValueProperty(inputnode,'name')) == 'Rupture de
digue imminente val 45']

select '${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'{http://fr.emac.gind/core-model}Emerging Risk' as node__type,
'name' as node__property0__name, 'Risque de victimes inondation val 45'
as node__property0__value,
'similar concepts' as node__property1__name, '' as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'characteristic' as node__role0, 'emerging_risk' as node__role1,
'47.855' as node__geoLocalisation__point__latitude,
'2.033' as node__geoLocalisation__point__longitude,
insert into addNodeEvent_New;]]></tns:rule>

<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
```

```

www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>

<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry><tns:topic
xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/EventType">s:addNodeTopic</tns:topic>
<tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://www.emac.gind.fr/
EventType">ns12:addNodeEvent</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry></tns:subscriptionsRequired>
</tns:context></tns:cepRule>

```

I.2.9 Le risque de coupure d'eau potable imminente dans le Loiret

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"><tns:ruleName>tns:floodingImminent_WaterStation_45</
tns:ruleName>

<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream addNodeEvent (inputnode
object);]]></tns:streamDefinition>

<tns:rule><![CDATA[
from addNodeEvent[ util:string(node:get(inputnode, 'type')) == '{http://
fr.emac.gind/crisis_objectives}Danger'
and util:string(node:findValueProperty(inputnode,'name')) == 'Rupture de
digue imminente val 45']#cypher:query("MATCH (n) WHERE n.node_status =
'ACTIF' and n.property_name = 'Drinking water station' WITH
n,n.geoLocalisation as geo WITH n,geo, toFloat(split(split(trim(geo),
',')[2],':')[1]) as long, toFloat(split(split(trim(geo), ',')[1],':')[2])
as lat WITH n,long,lat, point({latitude: $1,longitude: $2}) as pDanger,
point({latitude: lat,longitude: long}) as pH WITH n,pDanger,pH,
distance(pDanger,pH) as dis WHERE dis < $3 RETURN n", '$
{collaborationName}', '${knowledgeSpaceName}', 'resCypher',
node:findValueProperty(inputnode,'threshold', 'FLOAT'), '47.855134',
'2.034190', '20000')

select reCypher as model, '${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'{http://fr.emac.gind/core-model}Emerging Risk' as node__type,
'name' as node__property0__name, 'Risque arret de production eau potable
val 45' as node__property0__value,
'similar concepts' as node__property1__name, '' as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'characteristic' as node__role0, 'emerging_risk' as node__role1,
'47.847725' as node__geoLocalisation__point__latitude,
'1.9995117' as node__geoLocalisation__point__longitude,
having not(model is null) insert into addNodeEvent_New;]]></tns:rule>

<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>

```

```
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>

<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry><tns:topic
xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/EventType">s:addNodeTopic</tns:topic>
<tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://www.emac.gind.fr/EventType">
ns12:addNodeEvent</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry></tns:subscriptionsRequired>
</tns:context></tns:cepRule>
```

I.3 La détection des incidents en chaîne lors d'une rupture de digue

I.3.1 La submersion de trois maisons de retraite

La maison de retraite Les Pinelles :

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"><tns:ruleName>tns:floodingEffect_EHPAD_Pinelles_45</
tns:ruleName>

<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream Event_DykeFailure (id
string, dykeName string, isFailure int); ]]></tns:streamDefinition>

<tns:rule><![CDATA[
from Event_DykeFailure[isFailure == 1]
select '${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'Effect' as node__type,
'name' as node__property0__name, 'EHPAD Les Pinelles inondee' as
node__property0__value,
'similar concept of objective created' as node__property1__name, '' as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'fact' as node__role0, 'effect' as node__role1,
'1000' as node__geoLocalisation__predefinedShape__circle__radius,
'47.88529339999999' as node__geoLocalisation__predefinedShape__latitude,
'1.9016371000000163' as
node__geoLocalisation__predefinedShape__longitude,
insert into addNodeEvent;]]></tns:rule>

<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>

<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry><tns:topic
xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/loireFloodingTopic">
ns12:DykeFailureTopic</tns:topic><tns:correspondingEvent
```

I.3. La détection des incidents en chaîne lors d'une rupture de digue

```
xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/loireFloodingEvent">
ns12:Event_DykeFailure</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry></tns:subscriptionsRequired>
</tns:context></tns:cepRule>
```

La maison de retraite Pierre Pagot :

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"><tns:ruleName>tns:floodingEffect_EHPAD_PPagot_45</
tns:ruleName>
```

```
<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream Event_DykeFailure (id
string, dykeName string, isFailure int); ]]></tns:streamDefinition>
```

```
<tns:rule><![CDATA[
from Event_DykeFailure[isFailure == 1]
select '${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName, 'Effect' as node__type,
'name' as node__property0__name, 'EHPAD Pierre Pagot inondee' as
node__property0__value,
'similar concept of objective created' as node__property1__name, '' as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'fact' as node__role0, 'effect' as node__role1,
'1000' as node__geoLocalisation__predefinedShape__circle__radius,
'47.87696' as node__geoLocalisation__predefinedShape__latitude,
'1.953186' as node__geoLocalisation__predefinedShape__longitude,
insert into addNodeEvent;]]></tns:rule>
```

```
<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>
```

```
<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry>
<tns:topic xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingTopic">ns12:DykeFailureTopic</tns:topic>
<tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingEvent">ns12:Event_DykeFailure</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry></tns:subscriptionsRequired>
</tns:context></tns:cepRule>
```

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"><tns:ruleName>tns:floodingEffect_EHPAD_StPryve_45</
tns:ruleName>
```

```
<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream Event_DykeFailure (id
string, dykeName string, isFailure int); ]]></tns:streamDefinition>
```

```
<tns:rule><![CDATA[
from Event_DykeFailure[isFailure == 1]
select '${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'Effect' as node__type, 'name' as node__property0__name,
'EHPAD St Pryve inondee' as node__property0__value,
'similar concept of objective created' as node__property1__name, '' as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'fact' as node__role0, 'effect' as node__role1,
'1000' as node__geoLocalisation__predefinedShape__circle__radius,
'47.809467' as node__geoLocalisation__predefinedShape__latitude,
'1.9226074' as node__geoLocalisation__predefinedShape__longitude,
insert into addNodeEvent;]]></tns:rule>
```

```
<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>
```

```
<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry>
<tns:topic xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingTopic">ns12:DykeFailureTopic</tns:topic>
<tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingEvent">ns12:Event_DykeFailure</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry>
</tns:subscriptionsRequired></tns:context></tns:cepRule>
```

I.3.2 La coupure de l'autoroute A71

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<tns:cepRule xmlns:tns="http://www.gind.emac.fr/data/CepRules"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
<tns:ruleName>tns:floodingEffect_Highway_A71_45</tns:ruleName>
```

```
<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream Event_DykeFailure (id
string, dykeName string, isFailure int); ]]>
</tns:streamDefinition>
```

```
<tns:rule><![CDATA[
from Event_DykeFailure[isFailure == 1]
select '${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'Effect' as node__type, 'name' as node__property0__name, 'A71 coupee' as
node__property0__value,
'similar concepts' as node__property1__name, '' as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'fact' as node__role0, 'effect' as node__role1,
'1000' as node__geoLocalisation__predefinedShape__circle__radius,
'47.891591' as node__geoLocalisation__predefinedShape__latitude,
```

```
'1.856553' as node__geoLocalisation__predefinedShape__longitude,
insert into addNodeEvent;]]</tns:rule>

<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>

<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry>
<tns:topic xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingTopic">ns12:DykeFailureTopic</tns:topic>
<tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingEvent">ns12:Event_DykeFailure</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry></tns:subscriptionsRequired>
</tns:context></tns:cepRule>
```

I.3.3 La coupure de l'eau potable à Orléans

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><tns:cepRule xmlns:tns="http://
www.gind.emac.fr/data/CepRules" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance"><tns:ruleName>
tns:floodingEffect_DrinkinWaterStation_45</tns:ruleName>

<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream Event_DykeFailure (id
string, dykeName string, isFailure int); ]]></tns:streamDefinition>

<tns:rule><![CDATA[
from Event_DykeFailure[isFailure == 1]
select '${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'Effect' as node__type, 'name' as node__property0__name, 'Station eau
potable inondee ORLEANS' as node__property0__value,
'similar concept of objective created' as node__property1__name, '' as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'fact' as node__role0, 'effect' as node__role1,
'1000' as node__geoLocalisation__predefinedShape__circle__radius,
'47.847725' as node__geoLocalisation__predefinedShape__latitude,
'1.9995117' as node__geoLocalisation__predefinedShape__longitude,
insert into addNodeEvent;]]></tns:rule>

<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>

<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry>
<tns:topic xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingTopic">ns12:DykeFailureTopic</tns:topic>
<tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingEvent">ns12:Event_DykeFailure</tns:correspondingEvent>
```



```
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry></tns:subscriptionsRequired>
</tns:context></tns:cepRule>
```

I.4 La surveillance des évacuations par routes à partir d'Orléans

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<tns:cepRule xmlns:tns="http://www.gind.emac.fr/data/CepRules"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
<tns:ruleName>tns:floodingEffect_noEvacuation</tns:ruleName>

<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream Event_TrafficMeasures (
id string, date string, stationName string, stationLat float, stationLong
float, direction1 string, direction2 string, tv1 int, pl1 int, tv2 int,
pl2 int); ]]></tns:streamDefinition>

<tns:rule><![CDATA[
from Event_TrafficMeasures[avg(pl2+tv2)<500 and direction2 == 'CLERY']
select '${collaborationName}' as collaborationName,
'${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'Effect' as node__type, 'name' as node__property0__name, 'Evacuation de
la population non constatee St Hilaire St Mesmin' as
node__property0__value, 'similar concept of objective created' as
node__property1__name, '' as node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'fact' as node__role0, 'effect' as node__role1,
'1000' as node__geoLocalisation__predefinedShape__circle__radius,
'47.86944' as node__geoLocalisation__predefinedShape__latitude,
'1.837931000000026' as node__geoLocalisation__predefinedShape__longitude
insert into addNodeEvent;]]></tns:rule>

<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>

<tns:context><tns:subscriptionsRequired>
<tns:entry><tns:topic xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingTopic">ns12:TrafficTopic</tns:topic>
<tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingEvent">ns12:Event_TrafficMeasures</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry></tns:subscriptionsRequired>
</tns:context></tns:cepRule>
```

I.5 Les demandes d'informations spécifiques

Les décideurs souhaitent être alertés de l'instant où une décision d'évacuer doit être prise, lors d'une crue. En effet, une ville comme Orléans demande au minimum 48h pour être évacuée : s'il reste moins de 48h, l'ordre d'évacuation, même s'il semble nécessaire n'est pas donné. D'où l'importance de bien contrôler le temps restant pour prendre cette décision.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<tns:cepRule xmlns:tns="http://www.gind.emac.fr/data/CepRules"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
<tns:ruleName>tns:completeEvacuationORLEANS</tns:ruleName>

<tns:streamDefinition><![CDATA[define stream Event_ForecastMeasures (id
string, date string, stationName string, stationLat float, stationLong
float, nbHours int, f_min float, f_med float, f_max float, wl_min float,
wl_med float, wl_max float); ]]></tns:streamDefinition>

<tns:rule><![CDATA[
from Event_ForecastMeasures[stationName == 'ORLEANS' and wl_max > 4.2 and
convert(nbHours, 'float') > convert(48.0, 'float')]
select '${collaborationName}' as collaborationName,
  '${knowledgeSpaceName}' as knowledgeSpaceName,
'Mission' as node__type, 'name' as node__property0__name, 'Depassement
tres probable du niveau de surete ORLEANS (90%, 48h)' as
node__property0__value,
'similar concepts' as node__property1__name, '' as
node__property1__value,
'Impacted components' as node__property2__name, '' as
node__property2__value,
'similar concept of objective created' as node__property3__name, '' as
node__property3__value,
'gravity' as node__property4__name, '1' as node__property4__value,
'description' as node__property5__name, '' as node__property5__value,
'objective' as node__role0, 'mission' as node__role1,
insert into addNodeEvent;]]></tns:rule>

<tns:eventAction><tns:eventElementName xmlns:ns12="http://
www.emac.gind.fr/EventType">ns12:addNodeEvent</tns:eventElementName>
<tns:schemaDefinition><tns:url>classpath://event/EventType.xsd</tns:url>
</tns:schemaDefinition><tns:topic xmlns:s="http://www.emac.gind.fr/
EventType">s:addNodeTopic</tns:topic></tns:eventAction>

<tns:context><tns:subscriptionsRequired><tns:entry>
<tns:topic xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingTopic">ns12:WaterStationTopic</tns:topic>
<tns:correspondingEvent xmlns:ns12="http://www.mines-albi.fr/
loireFloodingEvent">ns12:Event_ForecastMeasures</tns:correspondingEvent>
<tns:endpointAddressToSubscribe>${eventProducerSimulatorBroker}
</tns:endpointAddressToSubscribe></tns:entry></tns:subscriptionsRequired>
</tns:context></tns:cepRule>
```


GLOSSAIRE

A | B | C | D | E | F | G | I | J | L | M | O | P | R | S | T | U | V | W | X

A

ACR Agence de Conduite Régionale.

Activité « Déploiement actuel du pouvoir ou de la volonté d'action efficace » (ATILF et al., 2005).

AMEPS Agence de Maintenance et d'Exploitation des Postes Sources.

ANR Agence Nationale de Recherche.

ARE Agence Réseau Exploitation.

B

Bâtiment « Construction d'une certaine importance destinée à abriter des personnes, des animaux, des choses, et, spécialement, à servir d'habitation » (ATILF et al., 2005).

C

Capacité « Aptitude à faire quelque chose » (ATILF et al., 2005).

Caractéristique « Qui constitue le trait distinctif ou spécifique de quelque chose ou de quelqu'un » (ATILF et al., 2005).

CEP Complex Event Processing.

CEREMA Centre d'Etude et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement.

CGI Centre de Génie Industriel.

CIC Cellule Interministérielle des Crises.

CNRTL Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales.

COD Centre Opérationnel Départemental.

Collaboration « Participation à l'élaboration d'une œuvre commune » (ATILF et al., 2005).

Communauté « Ensemble de personnes vivant en collectivité ou formant une association d'ordre politique, économique ou culturel » (ATILF et al., 2005).

Comportement « Ensemble des réactions observables chez un individu placé dans son milieu de vie et dans des circonstances données » (ATILF et al., 2005).

Composant de l'environnement « Qui entre dans la composition de l'environnement dans lequel évolue la collaboration » (ATILF et al., 2005).

COP Common Operational Picture.

COZ Centre Opérationnel de Zone.

CRICR Centre Régional d'Information et de Coordination Routière.

CRS Compagnie Républicaine de Sécurité.

CSCW Computer-Supported Cooperative Work.

CTP Common Tactical Picture.

D

Danger « Situation où une personne (ou un pays) est menacé(e) dans sa sécurité ou, le plus souvent, dans son existence » ([ATILF et al., 2005](#)).

DDT Direction Départementale des Territoires.

DGSCGC Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises.

E

EDA Event Driven Architecture.

Enjeu « L'enjeu est l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel » ([MEDD, 2004](#)).

EPA Event Processing Agent.

ESB Enterprise Service Bus.

Évènement « Tout ce qui se produit, tout fait qui s'insère dans la durée » ([ATILF et al., 2005](#)).

F

FEMA Federal Emergency Management Agency.

FPRNM Fond de Prévention des Risques Naturels Majeurs.

G

GÉNéPi Granularité des Niveaux de Pilotage.

I

IDETCOM Institut de Droit de l'Espace, des Territoires, de la Culture et de la cOMmunication.

IDM Ingénierie Dirigée par les Modèles.

IFRC Fédération Internationale des sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge.

Incident « Petit évènement fortuit et imprévisible, qui survient et modifie le déroulement attendu et normal des choses, le cours d'une entreprise, en provoquant une interruption ressentie le plus souvent comme fâcheuse » ([ATILF et al., 2005](#)).

Individu « Tout être concret, donné dans l'expérience, possédant une unité de caractères et formant un tout reconnaissable » ([ATILF et al., 2005](#)).

IPPC Installations classées pour la protection de l'environnement.

IRIT Institut de Recherche en Informatique de Toulouse.

J

JSON JavaScript Object Notation.

L

Loire Moyenne « Partie du cours d'eau de la Loire s'écoulant entre le bec d'Allier (confluence entre l'Allier et la Loire), proche de Nervers, et le bec de Maine vers Angers) » (ATILF et al., 2005).

M

Menace « Signe par lequel se manifeste l'imminence d'un danger » (ATILF et al., 2005).

MISE Mediation Information System Engineering.

MOF Meta-Object Facility.

O

Oasis Advancing open standards for the information society.

Objectif « But déterminé d'une action » (ATILF et al., 2005).

OECD Organisation for Economic Co-operation and Development.

OMG Object Management Group.

Opportunité « Occasion ou circonstance favorable » (ATILF et al., 2005).

ORSEC Organisation de la Réponse de Sécurité Civile.

OWL Web Ontology Language.

P

Partenaire « Personne, groupe, collectivité avec qui on est associé, allié dans une affaire, une entreprise, une négociation » (ATILF et al., 2005).

PCC Poste de Commandement Communal.

PLAY Pushing dynamic and ubiquitous interaction between services Leveraged in the future internet by Applying complex event processing.

PPRI Plan de Prévention du Risque Inondation.

PPRN Plans de Prévention des Risques Naturels prévisibles.

Procédure « Ensemble de consignes à appliquer pour effectuer un travail ou atteindre un objectif (Ging.-Lauret 1982) » (ATILF et al., 2005).

Protection « Action ou fait de soustraire quelqu'un ou quelque chose à un danger, à un risque qui pourrait lui nuire; fait de se protéger ou d'être protégé » (ATILF et al., 2005). Reason (2016) appelle ses protections barrières de défense. Elles sont mises en place pour contrer les aléas qui mettraient en péril les objectifs d'un système ou d'une collaboration.

Protection « L'aléa est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité données » MEDD (2004).

R

RDF Resource Description Framework.

Réseau « Ensemble de voies de communications, de canalisations, de lignes aériennes, ferroviaires ou de télécommunication, de circuits électriques, desservant une même unité géographique à partir d'un centre de commandement ou d'émission » (ATILF et al., 2005).

RFID Radio Frequency Identification.

Risque « Le risque majeur est la conséquence d'un aléa d'origine naturelle ou humaine, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionnent des dégâts importants et dépassent les capacités de réaction des instances directement concernées » ([MEDD, 2004](#)).

RTE Réseau de Transport d'Electricité.

S

SA Situation Awareness.

SERVAL Service d'approvisionnement et de logistique des centres.

SHAPI Service central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations.

SIG Système d'Information Géographique.

SIM Système d'Information de Médiation.

SOA Service Oriented Architecture.

Source de données « Origine d'une donnée, d'une information. Ce qui est à l'origine d'un message (personne, appareil, système, etc.) » ([ATILF et al., 2005](#)).

SPC Services de Prévision des Crues.

SQL Structured Query Language.

SWRL Semantic Web Rule Language.

T

Territoire « Espace borné par des frontières, soumis à une autorité politique qui lui est propre, considéré en droit comme un élément constitutif de l'État et comme limite de compétence des gouvernants » ([ATILF et al., 2005](#)).

U

UML Unified Modeling Language.

V

Vulnérabilité « La vulnérabilité exprime et mesure le niveau de conséquences prévisibles de l'aléa sur les enjeux. Différentes actions peuvent la réduire en atténuant l'intensité de certains aléas ou en limitant les dommages sur les enjeux » ([MEDD, 2004](#)).

W

W3C World Wide Web Consortium.

WS-N Web Services Notification.

X

XML Extensible Markup Language.

XSD définition du schéma Extensible Markup Language (XML).

TABLE DES FIGURES

0.1	La place de la thèse dans le processus d'aide à la décision porté par le projet Mediation Information System Engineering (MISE) et illustré par une partie d'échec.	1
0.2	L'importance du volume (Jain, 2009), de la variété, de la véracité et de la vélocité (Lagadec, 1994) des informations manipulées en cellule de crise. Inspiré de la légende "The blind men and the elephant" (Saxe, 2016) disponible en Annexe A. Quelques éléments graphiques sont issus de la bibliothèque Freepik (2018).	4
1.1	Illustrations de quelques-unes des catastrophes naturelles ayant eu lieu entre 1991 et 2014 (World Press Photo)	6
1.2	Les caractéristiques d'une crise illustrée par quelques exemples d'évènements 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)	7
1.3	Illustration des liens liant la notion de <i>Danger</i> , de <i>Risque</i> et d' <i>Enjeu</i> , inspiré de Desroches (2013); Bénaben et al. (2014) et Li et al. (2018a)	8
1.4	Le cycle de vie de la gestion de crise, inspiré de Alexander (2002); Cutter (2003); Jaques (2007) et Kruchten et al. (2008)	10
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 Remm (2017)	12
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)	14
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)	15
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)	17
1.9	Exemple de Common Operational Picture (COP), obtenu sur la Ville d'Albi (81000), via la simulation d'une crue sur l'outil RIO-Suite présenté au Chapitre 4	18
1.10	Les étapes couvertes par le projet GéNéPi et la place de la thèse dans le projet	20
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)	21
2.1	Périmètre d'étude du Chapitre 2	24

2.2	Les hypothèses régissant notre cadre de recherche, présentées sur le cadre de réponse proposé pour mettre au point le système d'information recherché, mis en relation avec les numéros de sections du chapitre	26
2.3	Mots clefs choisis pour chacun des états de l'art réalisés dans ce chapitre, aux sections 2.2, 2.3 2.4 et 2.5	27
2.4	Résultats obtenus sur Web of Science, des <i>Articles</i> publiés après 2014 et sous la catégorie <i>Computer Science Information System</i> , à la requête : (<i>detect (event* OR data OR information) AND ("social media" OR microblog* OR "internet of things" OR "volunteered geographic information") AND real-time</i>)	29
2.5	Illustration du principe de méta-modélisation, inspiré de Karagianis et Kühn (2002); Djurić et al. (2005) et illustré par les travaux de Othman et al. (2014); Costa et al. (2012); Han et Xu (2015); Barthe-Delanoë et al. (2018) et Bennani et al. (2017)	32
2.6	Résultats obtenus, le 23 mai 2018, sur Web of Science , sur la base des résultats des <i>Articles</i> publiés après 2008 et sous la catégorie <i>Computer Science</i> , à la requête : (<i>(ontology OR ontologies OR meta-model* OR metamodel*) AND ("natural disaster" OR "natural disasters")</i>)	33
2.7	Résultats obtenus, le 23 mai 2018, sur Web of Science , sur la base des <i>Articles</i> publiés après 2014 et sous la catégorie <i>Computer Science</i> , à la requête : (<i>event* AND awareness AND (model* OR ontolog*) AND decision*</i>)	37
2.8	Nombre de travaux, par type, de notre état de l'art proposant de traiter un des 4Vs (hors variété)	39
2.9	Résultats obtenus, le 12 juin 2018, sur Web of Science , sur la base des <i>articles de journaux ou de conférences</i> publiés après 2008 et sous la catégorie <i>Computer Science</i> , aux requêtes : (<i>("social media" OR microblog* OR "internet of things" OR "volunteered geographic information") AND real-time AND ("context awareness" OR "contextual awareness" OR "situation awareness" OR "situational awareness") AND information AND (data OR event)</i>); (<i>event* AND awareness AND information AND (ontology OR ontologies OR meta-model* OR metamodel*)</i>); et (<i>("social media" OR microblog* OR "internet of things" OR "volunteered geographic information") AND real-time AND awareness AND information AND (ontology OR ontologies OR meta-model* OR metamodel*)</i>)	41
2.10	Réponse apportée au besoin d'informations des cellules de crise, nourrie par trois états de l'art et encadrée par quatre hypothèses de travail	44
3.1	Périmètre d'étude du chapitre 3	46
3.2	Principe du métamodèle de niveau 2, configurable selon la(les) nature(s) de la crise en cours, proposé par Bénaben (2012)	47
3.3	Extrait du métamodèle Cœur décrit dans Bénaben (2012), dédié à la modélisation de collaborations d'organisations, et de sa couche Crise (Bénaben et al., 2008; Lauras et al., 2015)	50

3.4	Structure des évènements respectant les recommandations de Etzion et al. (2011)	52
3.5	Exemple d'évènement de mesure de trafic, respectant le format des évènements de type « Mesure de trafic »	53
3.6	Mécanisme publish/subscribe, basé sur l'utilisation de topics, illustré par quelques exemples et inspiré de Eugster et al. (2003)	55
3.7	Illustration du fonctionnement d'un moteur Complex Event Processing (CEP), inspiré des travaux de Fülöp et al. (2010) et mis en contexte par rapport aux autres modules de notre architecture	57
3.8	La structure des règles CEP utilisées par notre système d'information	58
3.9	Les règles d'interprétation de niveau 1 et de niveau 2 pour instancier les concepts de Danger, de Risque et d'Incident. Le principe de déduction est inspiré de Desroches (2013) , Bénaben et al. (2014) et Li et al. (2018a)	58
3.10	La méthode suivie pour élaborer nos règles d'interprétation à partir des données et informations métiers récoltées par le CEREMA Ouest au sein du projet GÉNéPi (Dolidon, 2016a)	59
3.11	L'architecture du système d'information proposé	61
3.12	Les effets de l'architecture choisie sur les 4Vs du Big Data	63
3.13	Les contributions identifiées et les perspectives d'évolutions des travaux présentés dans cette thèse	64
4.1	Périmètre d'étude du chapitre 4	69
4.2	La Loire Moyenne, ses affluents et ses stations hydrométriques, accompagnée d'un exemple de relevé pour le 5ème jour de crue. Inspiré de Rode (2009) , Dolidon (2016b) et SHAPI et al. (2017)	70
4.3	Récapitulatif des cellules de crises activées et des parties prenantes mobilisées, par défaut, lors de la réponse à une crue majeure en Loire Moyenne, inspiré de Dolidon (2016b) , Dautun et Roux-Dufort (2011) et SIDPC (2005)	71
4.4	Les enjeux présents en Loire Moyenne, tirés de la base de données BD TOPO® appartenant à IGN (2011) et sélectionnés par le CEREMA Ouest (Dolidon, 2016a). La légende a été omise volontairement pour respecter la confidentialité des données présentées	74
4.5	Les modules composant l'architecture du prototype logiciel RIO-Suite au 13/07/2018 tirée de Salatgé et al. (2018) et organisée sur deux niveaux d'utilisation (frontend ou backend)	76
4.6	Le métamodèle proposé tel qu'implémenté dans RIO-Suite, en Janvier 2018, à la clôture du projet GÉNéPi	78
4.7	Le schéma XSD, mis au point pour encadrer l'émission des évènements de type hydraulique	79
4.8	Le schéma XSD, mis au point pour encadrer l'émission des évènements de type trafic	80
4.9	Les règles d'interprétation utilisées pour les quatre dangers déduits dans le cadre du scénario GÉNéPi	82
4.10	Les règles d'interprétation utilisées pour les six risques déduits dans le cadre du scénario GÉNéPi	83
4.11	La partie Objectifs du modèle de situation mise à jour automatiquement par le système d'information proposé	84

4.12	Le processus déduit par le "module de déduction" de RIO-Suite pour prévenir les risques d'inondation probable dans le 45 (Loiret) et le 41 (Loir-et-Cher)	86
4.13	Capture d'écran de l'interface RIO-Play adapté à une cellule de crise au niveau départemental, zoom sur la zone inondée proche de l'A71	88
4.14	Les temps mesurés lors de la collecte et l'interprétation de 155 événements, l'activation de 6 règles et la mise à jour de la COP sur le département du Loiret, contenant au préalable 1122 enjeux . . .	90
5.1	L'approche proposée, les contributions identifiées et quelques exemples de généralisations possibles	92
C.1	Rapport élaboré, le 27 août 2018, par Web of Science sur la base des résultats, par Topic, des <i>Articles</i> répondant à la requête : <i>((ontology OR ontologies OR meta-model* OR metamodel*) AND (crisis OR disaster*))</i>	99
D.1	Exemple d'environnement de test représentant le monde du Wumpus, inspiré de Russell et Norvig (2010)	102
D.2	Exemple de modèle de situation instanciant le métamodèle choisi et décrivant la collaboration du Wumpus	103
E.1	Carrousel d'accueil de la suite RIO	105
E.2	Un des événements émis par le capteur « JO ORLEANS »	107
E.3	Règles de déduction utilisé dans cette démonstration, inspiré de la Figure 3.9	107

LISTE DES TABLEAUX

2.1	Résultats les plus pertinents de l'état de l'art sur les méthodes dédiées à la détection d'évènements en temps réel, en vue de décrire une situation courante, à partir des données provenant de (a) l'Internet des personnes, (b) l'Internet des objets ou (c) l'Internet des lieux	30
2.2	Travaux illustrés sur la Figure 2.5 et résultats pertinents de l'état de l'art sur les métamodèles de niveau 2 dédiés à la représentation de situation de crise, et notamment les crises dues à des catastrophes naturelles	34
2.3	Résultats les plus pertinents de l'état de l'art sur les méthodes dédiées à (c) la création d'informations ou (a) l'amélioration d'un modèle de situation existant. Les solutions reposent sur des méthodes d'apprentissage (A), des règles conditionnelles (RC), de règles d'inférence ou sémantiques (RI) ou la logique probabiliste (P)	38
2.4	Résumé des techniques d'interprétations utilisées dans la littérature, qu'elle soit dédiée à la création (c) d'informations ou à l'amélioration (a) d'un modèle existant, à partir de 0, 1 ou (x) types de données pour instancier 0, 1 ou (x) types de concepts	39
2.5	Résultats les plus pertinents de l'état de l'art sur les méthodes dédiées à la fois à la collecte de données et à leur interprétation (création (c) ou amélioration (a)) en un ensemble d'information modélisant une situation donnée	42
B.1	Les domaines de tension utilisés par les opérateurs réseaux français	97

BIBLIOGRAPHIE

- Akbar, A., A. Khan, F. Carrez, et K. Moessner
2017. Predictive Analytics for Complex IoT Data Streams. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5) :1571–1582.
- Akbar, A., G. Kousiouris, H. Pervaiz, J. Sancho, P. Ta-Shma, F. Carrez, et K. Moessner
2018. Real-time Probabilistic Data Fusion for Large-scale IoT Applications. *IEEE Access*, 6 :10015–10027.
- Alam, F., F. Ofli, et M. Imran
2018. Processing Social Media Images by Combining Human and Machine Computing during Crises. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 34(4) :311–327.
- Alexander, D. E.
2002. *Principles of Emergency Planning and Management*. Oxford University Press on Demand.
- Aloulou, H., M. Mokhtari, T. Tiberghien, R. Endelin, et J. Biswas
2015. Uncertainty handling in semantic reasoning for accurate context understanding. *Knowledge-Based Systems*, 77 :16–28.
- Andrews, S., H. Gibson, K. Domdouzis, et B. Akhgar
2016. Creating corroborated crisis reports from social media data through formal concept analysis. *Journal of Intelligent Information Systems*, 47(2) :287–312.
- ATILF, LORIA, ERSS, LI, Université de Cergy-Pontoise, Académie française, ARTFL, et L. Républicain
2005. Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales.
- Bader, T., A. Meissner, et R. Tscherney
2008. Digital map table with Fovea-Tablett® : Smart furniture for emergency operation centers. In *Proceedings of the 5th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*, Pp. 679–688.
- Baldoni, R., L. Montanari, et M. Rizzuto
2015. On-line failure prediction in safety-critical systems. *Future Generation Computer Systems*, 45 :123–132.
- Baldrige, V. J. et D. J. Julius
1998. Crisis management resulting from violence on campus : Will the same common mistakes be made again. *Violence on Campus : Defining the Problem, Strategies for Action*. Gaithersburg, MD : Aspen, Pp. 229–246.
- Bannon, L. J. et K. Schmidt
1989. CSCW : Four Characters in Search of a Context.
- Barthe, A.-M.
2013. *Prise En Charge de l'agilité de Workflows Collaboratifs Par Une Approche Dirigée Par Les Événements*. PhD Thesis, Ecole des Mines d'Albi-Carmaux.
- Barthe-Delanoë, A.-M., A. Montarnal, S. Truptil, F. Bénaben, et H. Pingaud
2018. Towards the agility of collaborative workflows through an event driven approach—Application to crisis management. *International journal of disaster risk reduction*, 28 :214–224.

- Basu, C., M. Padmanaban, S. Guillon, L. Cauchon, M. De Montigny, et I. Kamwa
JAN-FEB 2016. Situational awareness for the electrical power grid. *Ibm Journal of Research and Development*, 60(1) :10. WOS :000373371900002.
- Bellinger, G., D. Castro, et A. Mills
2004. Data, information, knowledge, and wisdom.
- Bénaben, F.
2012. *Conception de Système d'Information de Médiation pour la prise en charge de l'Interopérabilité dans les Collaborations d'Organisations*. thesis, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Bénaben, F.
2014. Projet ANR-14-CE28-0029 GéNéPi.
- Bénaben, F., A.-M. Barthe-Delanoë, M. Luras, et S. Truptil
2014. Collaborative systems in crisis management : A proposal for a conceptual framework. In *Working Conference on Virtual Enterprises*, Pp. 396–405. Springer.
- Bénaben, F., C. Hanachi, M. Luras, P. Couget, et V. Chapurlat
2008. A metamodel and its ontology to guide crisis characterization and its collaborative management. In *Proceedings of the 5th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM), Washington, DC, USA, May*, Pp. 4–7.
- Benaben, F., A. Montarnal, S. Truptil, M. Luras, A. Fertier, N. Salatge, et S. Rebiere
2017. A conceptual framework and a suite of tools to support crisis management. Hawaii.
- Benaben, F., W. Mu, N. Boissel-Dallier, A.-M. Barthe-Delanoë, S. Zribi, et H. Pingaud
2015. Supporting interoperability of collaborative networks through engineering of a service-based Mediation Information System (MISE 2.0). *Enterprise Information Systems*, 9(5-6) :556–582.
- Bennani, S., A. Maalel, H. B. Ghézala, et M. Abed
2017. Towards a Decision Support Model for the Resolution of Episodic Problems Based on Ontology and Case Bases Reasoning : Application to Terrorism Attacks. In *2017 IEEE/ACS 14th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*, Pp. 1502–1509.
- Bertazzi, P. A.
1991. Long-term effects of chemical disasters. Lessons and results from Seveso. *Science of The Total Environment*, 106(1) :5–20.
- Bézivin, J.
2005. On the unification power of models. *Software & Systems Modeling*, 4(2) :171–188.
- Billings, R. S., T. W. Milburn, et M. L. Schaalman
1980. A Model of Crisis Perception : A Theoretical and Empirical Analysis. *Administrative Science Quarterly*, 25(2) :300–316.
- Blaikie, P., T. Cannon, I. Davis, et B. Wisner
2004. *At Risk : Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Routledge.
- Bolzinger, A.
1982. *Le Concept Clinique de Crise*, volume XXXV. Bulletin de psychologie.
- Born, C. T., S. M. Briggs, D. L. Ciraulo, E. R. Frykberg, J. S. Hammond, A. Hirshberg, D. W. Lhowe, P. A. O'neill, et J. Mead
2007. Disasters and mass casualties : II. Explosive, biologic, chemical, and nuclear agents. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 15(8) :461–473.
- Botega, L. C., J. O. de Souza, F. R. Jorge, C. S. Coneglian, M. R. de Campos, V. P. d. A. Neris, et R. B. de Araújo
2017. Methodology for Data and Information Quality Assessment in the Context of Emergency Situational Awareness. *Universal Access in the Information Society*, 16(4) :889–902.

- Bourey, J.-P., R. G. UJI, G. Doumeingts, A. J. Berre, S. Pantelopoulos, et K. Kalampoukas
2006. Deliverable DTG2. 3 REPORT ON MODEL DRIVEN. *Update*, 2 :3-3.
- Bray, T., J. Paoli, C. M. Sperberg-McQueen, E. Maler, et F. Yergeau
2008. Extensible markup language (XML) Second Edition. *World Wide Web Journal*, 2(4) :27-66.
- Brizzi, P., D. Bonino, A. Musetti, A. Krylovskiy, E. Patti, et M. Axling
2016. Towards an ontology driven approach for systems interoperability and energy management in the smart city. In *Computer and Energy Science (SpliTech), International Multidisciplinary Conference On*, Pp. 1-7. IEEE.
- Brown, A., S. Johnston, et K. Kelly
2002. Using service-oriented architecture and component-based development to build web service applications. *Rational Software Corporation*, 6 :1-16.
- Calcaterra, D., M. Cavallo, G. D. Modica, et O. Tomarchio
2015. A semantic framework to characterise and monitor territories affected by environmental risks. In *2015 2nd International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM)*, Pp. 272-279.
- Camarinha-Matos, L. M. et H. Afsarmanesh
2005. Collaborative networks : A new scientific discipline. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 16(4-5) :439-452.
- Camarinha-Matos, L. M., H. Afsarmanesh, C. Garita, et C. Lima
1998. Towards an architecture for virtual enterprises. *Journal of intelligent Manufacturing*, 9(2) :189-199.
- Carrino, F., E. Mugellini, O. Abou Khaled, N. Ouerhani, et J. Ehrensberger
2016. iNUIT : Internet of Things for Urban Innovation. *Future Internet*, 8(2) :18.
- CEPRI
2016. Le territoire et ses réseaux techniques face au risque d'inondation. Technical report.
- Chalmers, S., C. Bothorel, et R. P. Clemente
2013. Big Data-State of the Art.
- Chappell, D. et L. Liu
2006. Web Services Brokered Notification, OASIS Standard. Technical report, OASIS.
- Chen, D., G. Doumeingts, et F. Vernadat
2008. Architectures for enterprise integration and interoperability : Past, present and future. *Computers in Industry*, 59(7) :647-659.
- Chen, Q., S. Abdelwahed, et A. Erradi
2014. A Model-Based Validated Autonomic Approach to Self-Protect Computing Systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(5) :446-460.
- Cisco
2017. Cisco Visual Networking Index : Forecast and Methodology, 2016-2021. Technical report.
- Clémenceau, A. et F. Giroud
2018. List of crisis management gaps. Technical Report D922.11, Driver+.
- Costa, P. D., I. T. Mielke, I. Pereira, et J. P. A. Almeida
2012. A Model-Driven Approach to Situations : Situation Modeling and Rule-Based Situation Detection. In *2012 IEEE 16th International Enterprise Distributed Object Computing Conference*, Pp. 154-163.
- Crocq, L., S. Huberson, et B. Vraie
2009. *Gérer les grandes crises : sanitaires, écologiques, politiques et économiques*. Odile Jacob.

Bibliographie

- Cugola, G. et A. Margara
2012. Processing Flows of Information : From Data Stream to Complex Event Processing. *ACM Comput. Surv.*, 44(3) :15 :1–15 :62.
- Cutter, S. L.
2003. GI Science, Disasters, and Emergency Management. *Transactions in GIS*, 7(4) :439–446.
- Dautun, C. et C. Roux-Dufort
2011. Comment les cellules de crise de sécurité civile décident-elles ? L'exemple français.
- Dawes, S. S., A. M. Cresswell, et B. B. Cahan
2004. Learning from crisis : Lessons in human and information infrastructure from the World Trade Center response. *Social Science Computer Review*, 22(1) :52–66.
- De Maio, C., G. Fenza, V. Loia, et F. Orciuoli
2017. Making sense of cloud-sensor data streams via Fuzzy Cognitive Maps and Temporal Fuzzy Concept Analysis. *Neurocomputing*, 256 :35–48.
- Dean, J. et S. Ghemawat
2008. MapReduce : Simplified data processing on large clusters. *Communications of the ACM*, 51(1) :107–113.
- Delatour, G.
2015. *L'Ecosystème Décisionnel Du Manager : Une Contribution Au Défi d'anticipation de La Crise*. PhD Thesis, Troyes.
- Demchenko, Y., P. Grosso, C. De Laat, et P. Membrey
2013. Addressing big data issues in scientific data infrastructure. In *Collaboration Technologies and Systems (CTS), 2013 International Conference On*, Pp. 48–55. IEEE.
- Desroches, A.
2013. Le management des risques par l'analyse globale des risques. *Transfusion Clinique et Biologique*, 20(2) :198–210.
- DGSCGC
2015. *Guide ORSEC Départemental et Zonal : Retap-Réseaux*. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Ministère des affaires sociales, de la santé et des droits des femmes, Ministère de l'économie, de l'industrie et du numérique.
- DGSCGC
2016. *Guide ORSEC Départemental Spécifique Aux Inondations*.
- Dickinson, I. F. G.
2013. National resilience extranet common operational picture. Technical report.
- Djurić, D., D. Gašević, et V. Devedžić
2005. Ontology modeling and MDA. *Journal of Object technology*, 4(1) :109–128.
- Dolidon, H.
2016a. Base de connaissance GÉNéPi. Technical report, CEREMA.
- Dolidon, H.
2016b. Synoptique Scenario GÉNéPi. Livrable Projet de recherche, CEREMA.
- DREAL
2016. Un siècle sans crues ? 3ème édition. Technical report, DREAL Centre Val de Loire.
- DSC
2004. Organisation de la réponse de sécurité civile. Technical report.
- Endsley, M. R.
1995. Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors : The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1) :32–64.

- Endsley, M. R.
2011. *Designing for Situation Awareness : An Approach to User-Centered Design, Second Edition*.
- EP Loire
2006. Etude préalable à la réduction de la vulnérabilité des réseaux liée aux inondations en Loire Moyenne. Technical report.
- Etzion, O., P. Niblett, et D. C. Luckham
2011. *Event Processing in Action*. Manning Greenwich.
- Eugster, P. T., P. A. Felber, R. Guerraoui, et A.-M. Kermarrec
2003. The Many Faces of Publish/Subscribe. *ACM Comput. Surv.*, 35(2) :114–131.
- Evchina, Y. et J. L. M. Lastra
2016. Hybrid approach for selective delivery of information streams in data-intensive monitoring systems. *Advanced Engineering Informatics*, 30(3) :537–552.
- Fabret, F., H. A. Jacobsen, F. Llibat, J. Pereira, K. A. Ross, et D. Shasha
2001. Filtering Algorithms and Implementation for Very Fast Publish/Subscribe Systems. In *Proceedings of the 2001 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, SIGMOD '01*, Pp. 115–126, New York, NY, USA. ACM.
- Fan, W. et A. Bifet
2013. Mining big data : Current status, and forecast to the future. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 14(2) :1–5.
- Fayyad, U., G. Piatetsky-Shapiro, et P. Smyth
1996. From data mining to knowledge discovery in databases. *AI magazine*, 17(3) :37.
- FEMA
2008. National Incident Management System. Technical report, US departement of Homeland Security.
- Fertier, A., S. Truptil, A. Montarnal, A.-M. Barthe-Delanoë, et F. Bénaben
2017. A situation model to support collaboration and decision-making inside crisis cells, in real time. In *ISCRAM 2017-14th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*, Pp. p–1020.
- Franke, J. et F. Charoy
2010. Design of a collaborative disaster response process management system. In *Proceedings of COOP 2010*, Pp. 57–77. Springer.
- Freepik
2018. Freepik.
- Fülöp, L. J., G. Tóth, R. Rácz, J. Pánczél, T. Gergely, A. Beszédes, et L. Farkas
2010. Survey on complex event processing and predictive analytics. In *Proceedings of the Fifth Balkan Conference in Informatics*, Pp. 26–31. Citeseer.
- Gaillard, J.-C.
2008. Alternative paradigms of volcanic risk perception : The case of Mt. Pinatubo in the Philippines. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 172(3) :315–328.
- Gómez, J., B. Oviedo, et E. Zhuma
2016. Patient Monitoring System Based on Internet of Things. *Procedia Computer Science*, 83 :90–97.
- Gómez-Pérez, A.
2001. Evaluation of ontologies. *International Journal of Intelligent Systems*, 16(3) :391–409.
- Graham, S., D. Hull, et B. Murray
2006. Web Services Notification (WSN), OASIS Standard. Technical report, OASIS.

Bibliographie

- Groves, C.
2001. *Primate Taxonomy*. Smithsonian Books.
- Gruber, T. R.
1995. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? *International journal of human-computer studies*, 43(5-6) :907–928.
- Guille, A., H. Hacid, C. Favre, et D. A. Zighed
2013. Information diffusion in online social networks : A survey. *ACM Sigmod Record*, 42(2) :17–28.
- Han, Y. et W. Xu
2015. An ontology-oriented decision support system for emergency management based on information fusion. In *Proceedings of the 1st ACM SIGSPATIAL International Workshop on the Use of GIS in Emergency Management*, P. 15. ACM.
- Hashem, I. A. T., I. Yaqoob, N. B. Anuar, S. Mokhtar, A. Gani, et S. U. Khan
2015. The rise of “big data” on cloud computing : Review and open research issues. *Information Systems*, 47 :98–115.
- Houngbé, M., A.-M. Barthe-Delanoë, et S. Négny
2018. Towards Virtual Biorefineries. In *Working Conference on Virtual Enterprises*, Pp. 571–580. Springer.
- Hu, L. et Q. Ni
2018. IoT-driven automated object detection algorithm for urban surveillance systems in Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(2) :747–754.
- Hua, T., F. Chen, L. Zhao, C.-T. Lu, et N. Ramakrishnan
2016. Automatic targeted-domain spatiotemporal event detection in twitter. *GeoInformatica*, 20(4) :765–795.
- IFRC
2016. About disaster management.
- IGN
2011. BD TOPO®. Institut géographique national.
- Imamura, F. et S. Anawat
2011. Damage due to the 2011 Tohoku earthquake tsunami and its lessons for future mitigation. In *Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from The*.
- Iribarne, L., N. Padilla, J. Criado, et C. Vicente-Chicote
2010. An interaction meta-model for cooperative component-based user interfaces. In *OTM Confederated International Conferences "On the Move to Meaningful Internet Systems"*, Pp. 259–268. Springer.
- Jain, M.
2009. Identifying Relationships within a Corpus.
- Jaques, T.
2007. Issue management and crisis management : An integrated, non-linear, relational construct. *Public Relations Review*, 33(2) :147–157.
- Jefferson, T. L. et T. W. Johannes
2016. Using geographic information systems to support decision making in disaster response. *Intelligent Decision Technologies*, 10(2) :193–207.
- Jiang, Z., J. Lamothe, et F. Benaben
2017. A Monitoring Framework of Collaborative Supply Chain for Agility. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1) :13072–13077.

- Jung, H. et K. Chung
2015. Ontology-driven slope modeling for disaster management service. *Cluster Computing*, 18(2) :677–692.
- Kabir, M. A., J. Han, A. Colman, N. R. Aljohani, M. Basher, et M. A. Aslam
2016. Ontological Reasoning About Situations from Calendar Events. In *OTM Confederated International Conferences "On the Move to Meaningful Internet Systems"*, Pp. 810–826. Springer.
- Kaisler, S., F. Armour, J. A. Espinosa, et W. Money
2013. Big data : Issues and challenges moving forward. In *System Sciences HICSS, 2013 46th Hawaii International Conference*, Pp. 995–1004. IEEE.
- Kalyvas, J. R. et D. R. Albertson
2015. A big data primer for executives. *Big data : a business and legal guide*. CRC Press, Boca Ratón Google Scholar.
- Karagiannis, D. et H. Kühn
2002. Metamodelling platforms. In *EC-Web*, volume 2455, P. 182.
- Kim, K., H. Kim, S.-K. Kim, et J.-Y. Jung
2016. I-RM : An intelligent risk management framework for context-aware ubiquitous cold chain logistics. *Expert Systems with Applications*, 46 :463–473.
- Krishnan, K.
2013. *Data Warehousing in the Age of Big Data*. Newnes.
- Kruchten, P., C. Woo, K. Monu, et M. Sotoodeh
2008. A conceptual model of disasters encompassing multiple stakeholder domains. *International Journal of Emergency Management*, 5(1-2) :25–56.
- Lagadec, P.
1994. *La gestion des crises : outils de réflexion à l'usage des décideurs*. Ediscience international.
- Lauras, M., S. Truptil, et F. Bénaben
2015. Towards a better management of complex emergencies through crisis management meta-modelling. *Disasters*, 39(4) :687–714.
- Laylavi, F., A. Rajabifard, et M. Kalantari
2017. Event relatedness assessment of Twitter messages for emergency response. *Information Processing & Management*, 53(1) :266–280.
- Le Sceller, Q., E. B. Karbab, M. Debbabi, et F. Iqbal
2017. SONAR : Automatic Detection of Cyber Security Events over the Twitter Stream. In *Proceedings of the 12th International Conference on Availability, Reliability and Security*, P. 23. ACM.
- Lechner, J., W. A. Günthner, S. Nosovic, et A. Ascher
2017. Context-based monitoring of logistic process events using passive UHF RFID technology. In *2017 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IRIS)*, Pp. 260–265.
- Lee, C.-H.
2012. Mining spatio-temporal information on microblogging streams using a density-based online clustering method. *Expert Systems with Applications*, 39(10) :9623–9641.
- Lee, C.-H., C.-H. Wu, et S.-J. Lin
2014. Incorporating Human Sensors into Event Contexts for Emergency Management. In *Multidisciplinary Social Networks Research*, Communications in Computer and Information Science, Pp. 189–198. Springer, Berlin, Heidelberg.

- Li, J., F. Bénaben, J. Gou, et W. Mu
2018a. A Proposal for Risk Identification Approach in Collaborative Networks Considering Susceptibility to Danger. In *Collaborative Networks of Cognitive Systems*, L. M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, et Y. Rezgui, eds., IFIP Advances in Information and Communication Technology, Pp. 74–84. Springer International Publishing.
- Li, S., L. D. Xu, et S. Zhao
2018b. 5G Internet of Things : A survey. *Journal of Industrial Information Integration*, 10 :1–9.
- Luckham, D. et R. Schulte
2011. Event Processing Glossary – Version 2.0.
- Luckham, D. C. et B. Frasca
1998. Complex event processing in distributed systems. *Computer Systems Laboratory Technical Report CSL-TR-98-754. Stanford University, Stanford*, 28.
- Lukoianova, T. et V. L. Rubin
2014. Veracity roadmap : Is big data objective, truthful and credible? *Advances in Classification Research Online*, 24(1) :4–15.
- Luukkala, P., J. Nikander, J. Korpi, K. Virrantaus, et P. Torkki
2017. Developing a concept of a context-aware common operational picture. *Safety Science*, 93 :277–295.
- Luukkala, P. et K. Virrantaus
2014. Developing information systems to support situational awareness and interaction in time-pressuring crisis situations. *Safety Science*, 63(Supplement C) :191–203.
- Macé-Ramète, G.
2015. *Système d’Information de Médiation Pour Le Pilotage Réactif et Anticipatif de La Réponse à Une Situation de Crise : Application Aux Perturbations Sur Les Réseaux Routiers*. PhD Thesis, Ecole des Mines d’Albi-Carmaux.
- Macé-Ramète, G., J. Lamothe, M. Lauras, et F. Benaben
2012. A road crisis management metamodel for an information decision support system. In *Digital Ecosystems Technologies (DEST), 2012 6th IEEE International Conference On*, Pp. 1–5. IEEE.
- Mallah, J. E., F. Carrino, O. A. Khaled, et E. Mugellini
2015. Crowd Monitoring. In *Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions*, Lecture Notes in Computer Science, Pp. 496–505. Springer, Cham.
- Marion, J.
2016. Note de doctrine opérationnelle - Intervention d’urgence sur les véhicules. Technical report, Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises, Paris.
- Marmier, F., I. F. Deniaud, et D. Gourc
2014. Strategic decision-making in NPD projects according to risk : Application to satellites design projects. *Computers in Industry*, 65(8) :1107–1114. WOS :000342326300001.
- Mbopi-Kéou, F.-X.
2012. Post-disaster assessment in Brazzaville, Congo. *The Lancet Infectious Diseases*, 12(5) :363–364.
- MEDD
2004. Les inondations. Technical report.
- Mittu, R. et F. Segaria
2000. Common Operational Picture (COP) and Common Tactical Picture (CTP) Management via a Consistent Networked Information Stream. *Naval Research Laboratory*.

- Montarnal, A.
2015. *Deduction of Inter-Organizational Collaborative Business Processes within an Enterprise Social Network*. PhD Thesis, Ecole des Mines d'Albi-Carmaux.
- Morin, E.
1976. Pour une crisologie. *Communications*, 25(1) :149–163.
- Morley, C.
2016. *Management d'un projet système d'Information -8e éd. : Principes, techniques, mise en oeuvre et outils*. Dunod.
- MTES
2017. Rapport 2015-2017 du délégué aux risques majeurs. Technical report, Ministère de la transition écologique et solidaire, Direction générale de la prévention des risques.
- Musaev, A., D. Wang, et C. Pu
2015. LITMUS : A Multi-Service Composition System for Landslide Detection. *IEEE Transactions on Services Computing*, 8(5) :715–726.
- Nabet, F.
2013. *Etude Du Réajustement Du Lit Actif En Loire Moyenne, Bilan Géomorphologique et Diagnostic Du Fonctionnement Des Chenaux Secondaires En Vue d'une Gestion Raisonnée*. PhD thesis, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I.
- Nguyen, T.-H., F. Marmier, et D. Gourc
2013. A decision-making tool to maximize chances of meeting project commitments. *International Journal of Production Economics*, 142(2) :214–224. WOS :000316526400002.
- Ohlhorst, F. J.
2012. *Big Data Analytics : Turning Big Data into Big Money*. John Wiley & Sons.
- Othman, S. H., G. Beydoun, et V. Sugumaran
2014. Development and validation of a Disaster Management Metamodel (DMM). *Information Processing & Management*, 50(2) :235–271.
- Pai, F.-P., L.-J. Yang, et Y.-C. Chung
2017. Multi-layer ontology based information fusion for situation awareness. *Applied Intelligence*, 46(2) :285–307.
- Perera, C., A. Zaslavsky, P. Christen, et D. Georgakopoulos
2014. Context aware computing for the internet of things : A survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 16(1) :414–454.
- Pescaroli, G. et D. Alexander
2015. A definition of cascading disasters and cascading effects : Going beyond the toppling dominos metaphor. *Planet Risk*, 3(1).
- Pescaroli, G. et D. Alexander
2016. Critical infrastructure, panarchies and the vulnerability paths of cascading disasters. *Natural Hazards*, 82(1) :175–192.
- Pielke, R. A. et C. W. Landsea
1998. Normalized Hurricane Damages in the United States : 1925–95. *Weather and Forecasting*, 13(3) :621–631.
- Préfecture31
2018. Plan départemental de gestion d'une canicule. Plan d'urgence, Préfecture, direction des services du cabinet et des sécurités, service interministériel régional des affaires civiles et économiques de défense et de protection civile.
- Puel, G. et C. Ullmann
2006. Les nœuds et les liens du réseau Internet : approche géographique, économique et technique, Abstract. *L'Espace géographique*, Tome 35(2) :97–114.

Bibliographie

- Raghupathi, W. et V. Raghupathi
2014. Big data analytics in healthcare : Promise and potential. *Health Information Science and Systems*, 2(1) :3.
- Rathore, M. M., A. Ahmad, A. Paul, W.-H. Hong, et H. Seo
2017. Advanced computing model for geosocial media using big data analytics. *Multimedia Tools and Applications*, 76(23) :24767–24787.
- Reason, J.
2016. *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Routledge.
- Renn, O.
2017. *Risk Governance : Coping with Uncertainty in a Complex World*. Routledge.
- Renou, T. et H. Dolidon
2015. Cahier des charges à l'origine du projet GénÉPi. Technical report, CEREMA & IDETCOM, Loire Moyenne.
- Rode, S.
2009. *At the River's Risk. Territorialization of Flood Risk Prevention Policy in Middle Loire Valley*. Theses, Université de Nanterre - Paris X.
- Rogova, G. L. et P. D. Scott
2016. Fusion methodologies in crisis management - Introduction. In *Fusion Methodologies in Crisis Management*, Pp. 1–24. Springer, Cham.
- Rosenthal, U. et A. Kouzmin
1997. Crises and crisis management : Toward comprehensive government decision making. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 7(2) :277–304.
- Rowley, J.
2007. The wisdom hierarchy : Representations of the DIKW hierarchy. *Journal of information science*, 33(2) :163–180.
- Rozel, B.
2009. *La Sécurisation Des Infrastructures Critiques : Recherche d'une Méthodologie d'identification Des Vulnérabilités et Modélisation Des Interdépendances*. PhD Thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG.
- RTE
2008. Glossaire - RTE. http://clients.rte-france.com/lang/fr/clients_consommateurs/services/glossaire_detail.jsp.
- Russell, S. et P. Norvig
2010. *Intelligence Artificielle : Avec plus de 500 Exercices*, 3ème edition. Pearson Education France.
- Salatgé, N., R. Sébastien, et L. Julien
2018. RIO-Suite. CGI - IMT Mines Albi.
- Saxe, J. G.
2016. *The Blind Men and the Elephant*. Enrich Culture Group Limited.
- Schoen, Q., S. Truptil, M. Lauras, F. Fontanili, et A. Conges
2018. A New Approach for Supply Chain Management Monitoring Systems Adapted to Crisis. In *Collaborative Networks of Cognitive Systems*, L. M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, et Y. Rezgui, eds., IFIP Advances in Information and Communication Technology, Pp. 512–523. Springer International Publishing.
- Scovazzi, T.
2000. The Transboundary Movement of Hazardous Waste in the Mediterranean Regional Context. *UCLA J. Envtl. L. & Pol'y*, 19 :231.
- SHAPI, Alsacrérations, et S. O. DATUS
2017. Vigicrues. MTES.

- SIDPC
2005. Plan de secours spécialisé inondations. Technical report.
- SIEMENS
2010. First 800-kV high-voltage direct-current link in China now fully operational.
- Singh, S. K. et S. Singh
1998. *Disaster Management*, volume 5. Mittal Publications.
- Smith, C. A. P. et S. C. Hayne
1997. Decision making under time pressure : An investigation of decision speed and decision quality of computer-supported groups. *Management Communication Quarterly*, 11(1) :97–126.
- Soeanu, A., M. Debbabi, M. Allouche, M. Bélanger, et N. Léchevin
2016. Hierarchy aware distributed plan execution monitoring. *Expert Systems with Applications*, 43 :66–81.
- Sophonrides, P., C.-A. Papadopoulou, M. Giaoutzi, et H. J. Scholten
2017. A Common Operational Picture in Support of Situational Awareness for Efficient Emergency Response Operations. *Journal of Future Internet*, 2(1) :10–35.
- Stanton, N. A., P. M. Salmon, G. H. Walker, et D. P. Jenkins
2010. Is situation awareness all in the mind? *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 11(1-2) :29–40.
- Steed, C. A., M. Drouhard, J. Beaver, J. Pyle, et P. L. Bogen
2015. Matisse : A visual analytics system for exploring emotion trends in social media text streams. In *Big Data (Big Data), 2015 IEEE International Conference On*, Pp. 807–814. IEEE.
- Sugitani, T., M. Shirakawa, T. Hara, et S. Nishio
2015. A method for detecting local events using the spatiotemporal locality of microblog posts. *International Journal of Web Information Systems*, 11(1) :2–16.
- Taleb, S., H. Hajj, et Z. Dawy
2018. VCAMS : Viterbi-Based Context Aware Mobile Sensing to Trade-Off Energy and Delay. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 17(1) :225–242.
- Thomé, A. M. T., L. F. Scavarda, et A. J. Scavarda
2016. Conducting systematic literature review in operations management. *Production Planning & Control*, 27(5) :408–420.
- Thomson, A. M. et J. L. Perry
2006. Collaboration processes : Inside the black box. *Public administration review*, 66(s1) :20–32.
- Tönnies, F., S. Mesure, et N. Bond
2010. *Communauté et Société*. Presses universitaires de France.
- Touzi, J., F. Benaben, H. Pingaud, et J. P. Lorré
2009. A model-driven approach for collaborative service-oriented architecture design. *International Journal of Production Economics*, 121(1) :5–20.
- Truptil, S.
2011. *Etude de l'approche de l'interopérabilité Par Médiation Dans Le Cadre d'une Dynamique de Collaboration Appliquée à La Gestion de Crise*. PhD Thesis.
- Uschold, M. et M. Gruninger
1996. Ontologies : Principles, methods and applications. *The knowledge engineering review*, 11(2) :93–136.
- Vambenepe, W., S. Graham, et P. Niblett
2006. Web Services Topics, OASIS Standard. Technical report, OASIS.

- Van de Walle, B., B. Bruggemans, et T. Comes
2016. Improving situation awareness in crisis response teams : An experimental analysis of enriched information and centralized coordination. *International Journal of Human-Computer Studies*, 95(Supplement C) :66–79.
- Van der Aalst, W. M.
2014. Data scientist : The engineer of the future. In *Enterprise Interoperability VI*, Pp. 13–26. Springer.
- VisualCapitalist
2018. Infographic : What Happens in an Internet Minute in 2018? <http://www.visualcapitalist.com/internet-minute-2018/>.
- Wallace, W. A. et F. De Balogh
1985. Decision Support Systems for Disaster Management. *Public Administration Review*, 45 :134–146.
- Walls, J. G., G. R. Widmeyer, et O. A. El Sawy
1992. Building an Information System Design Theory for Vigilant EIS. *Information Systems Research*, 3(1) :36–59.
- Wang, S., X. Zhang, J. Cao, L. He, L. Stenneth, P. S. Yu, Z. Li, et Z. Huang
2017. Computing Urban Traffic Congestions by Incorporating Sparse GPS Probe Data and Social Media Data. *ACM Trans. Inf. Syst.*, 35(4) :40 :1–40 :30.
- Wang, T., S. Truptil, et F. Benaben
2016. An automatic model-to-model mapping and transformation methodology to serve model-based systems engineering. *Information Systems and e-Business Management*, Pp. 1–54.
- Wen, J., M. Zhong, et Z. Wang
2015. Activity recognition with weighted frequent patterns mining in smart environments. *Expert Systems with Applications*, 42(17) :6423–6432.
- Wolbers, J. et K. Boersma
2013. The Common Operational Picture as Collective Sensemaking. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 21(4) :186–199.
- Xu, Z., N. Y. Yen, H. Zhang, X. Wei, Z. Lv, K. K. R. Choo, L. Mei, et X. Luo
2017. Social Sensors Based Online Attention Computing of Public Safety Events. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 5(3) :403–411.
- Xu, Z., H. Zhang, V. Sugumaran, K.-K. R. Choo, L. Mei, et Y. Zhu
2016. Participatory sensing-based semantic and spatial analysis of urban emergency events using mobile social media. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2016(1) :44.
- Yilmaz, V., S. Cangur, et H. E. Çelik
2005. Sex difference and earthquake experience effects on earthquake victims. *Personality and Individual Differences*, 39(2) :341–348.
- Yu, F., X. Li, et S. Wang
2015. CBR Method for Risk Assessment on Power Grid Protection Under Natural Disasters : Case Representation and Retrieval. In *International Conference on Computational Science and Its Applications*, Pp. 113–125. Springer.
- Zhang, F., J. Cao, S. U. Khan, K. Li, et K. Hwang
2015. A task-level adaptive MapReduce framework for real-time streaming data in healthcare applications. *Future Generation Computer Systems*, 43-44 :149–160.
- Zschocke, T., J. C. V. de León, et J. Beniést
2010. Enriching the description of learning resources on disaster risk reduction in the agricultural domain : An ontological approach. In *Research Conference on Metadata and Semantic Research*, Pp. 320–330. Springer.

Interprétation automatique de données hétérogènes pour la modélisation de situations collaboratives : application à la gestion de crise

Les travaux présentés dans ce manuscrit s'appliquent au domaine de la *gestion de crise* française, et notamment à la phase de réponse qui suit un évènement majeur, comme une crue ou un accident industriel. Suite à l'évènement, des cellules de crise sont activées pour prévenir et traiter les conséquences de la crise. Elles font face, dans l'urgence, à de nombreuses difficultés. Les parties-prenantes sont nombreuses, autonomes et hétérogènes, la coexistence de plans d'urgence engendre des contradictions et des effets en cascade se nourrissent des interconnexions entre réseaux. Ces constats arrivent alors que les données disponibles sur les réseaux informatiques ne cessent de se multiplier. Elles sont, par exemple, émises par des capteurs de mesures, sur des réseaux sociaux, ou par des bénévoles. Ces données sont l'occasion de concevoir un système d'information capable de les collecter pour les interpréter en un ensemble d'information formalisé, utilisable en cellule de crise. Pour réussir, les défis liés aux *4Vs du Big data* doivent être relevés en limitant le Volume, unifiant (la Variété) et améliorant la Vérité des données et des informations manipulées, tout en suivant la dynamique (Vélocité) de la crise en cours. Nos états de l'art sur les différentes parties de l'architecture recherchée nous ont permis de définir un tel système d'information. Ce dernier est aujourd'hui capable de (i) recevoir plusieurs types d'évènements émis de sources de données connues ou inconnues, (ii) d'utiliser des règles d'interprétations directement déduites de règles métiers réelles et (iii) de formaliser l'ensemble des informations utiles aux parties-prenantes. Son architecture fait partie des *architectures orientées évènements*, et coexiste avec l'*architecture orientée services* du logiciel développé par le laboratoire Centre de Génie Industriel (CGI). Le système d'information ainsi implémenté a pu être éprouvé sur un scénario de crue majeure en Loire Moyenne, élaboré par deux Services de Prévision des Crues (SPC) français. Le modèle décrivant la situation de crise courante, obtenu par le système d'information proposé, peut être utilisé pour (i) déduire un processus de réponse à la crise, (ii) détecter des imprévus ou (iii) mettre à jour une représentation de la situation en cellule de crise.

Mots clefs : Interprétation de données, Ingénierie dirigée par les modèles (IDM/MDE), Architecture dirigée par les évènements (ADE/EDA), Modélisation orientée objet, Architecture orientée service (AOS/SOA), Big data, Gestion de crise, Crue de la Loire

Automatic interpretation of heterogeneous data to model collaborative situations: application to crisis management

The present work is applied to the field of French crisis management, and specifically to the crisis response phase which follows a major event, like a flood or an industrial accident. In the aftermath of the event, crisis cells are activated to prevent and deal with the consequences of the crisis. They face, in a hurry, many difficulties. The stakeholders are numerous, autonomous and heterogeneous, the coexistence of contingency plans favours contradictions and the interconnections of networks promotes cascading effects. These observations arise as the volume of data available continues to grow. They come, for example, from sensors, social media or volunteers on the crisis theatre. It is an occasion to design an information system able to collect the available data to interpret them and obtain information suited to the crisis cells. To succeed, it will have to manage the *4Vs of Big Data*: the Volume, the Variety and Veracity of data and information, while following the dynamic (velocity) of the current crisis. Our literature review on the different parts of this architecture enables us to define such an information system able to (i) receive different types of *events* emitted from data sources both known and unknown, (ii) to use *interpretation rules* directly deduced from official business rules and (iii) to structure the information that will be used by the stake-holders. Its architecture is *event-driven* and coexists with the *service oriented architecture* of the software developed by the CGI laboratory. The implemented system has been tested on the scenario of a 1/100 per year flood elaborated by two french forecasting centres. The model describing the current crisis situation, deduced by the proposed information system, can be used to (i) deduce a crisis response process, (ii) to detect unexpected situations, and (iii) to update a COP suited to the decision-makers.

Keywords: Data interpretation, Model driven engineering (MDE), Event-driven architecture (EDA), Object oriented modelling, Service oriented architecture (SOA), Big data, Crisis management, Flood of the Loire River