

# 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

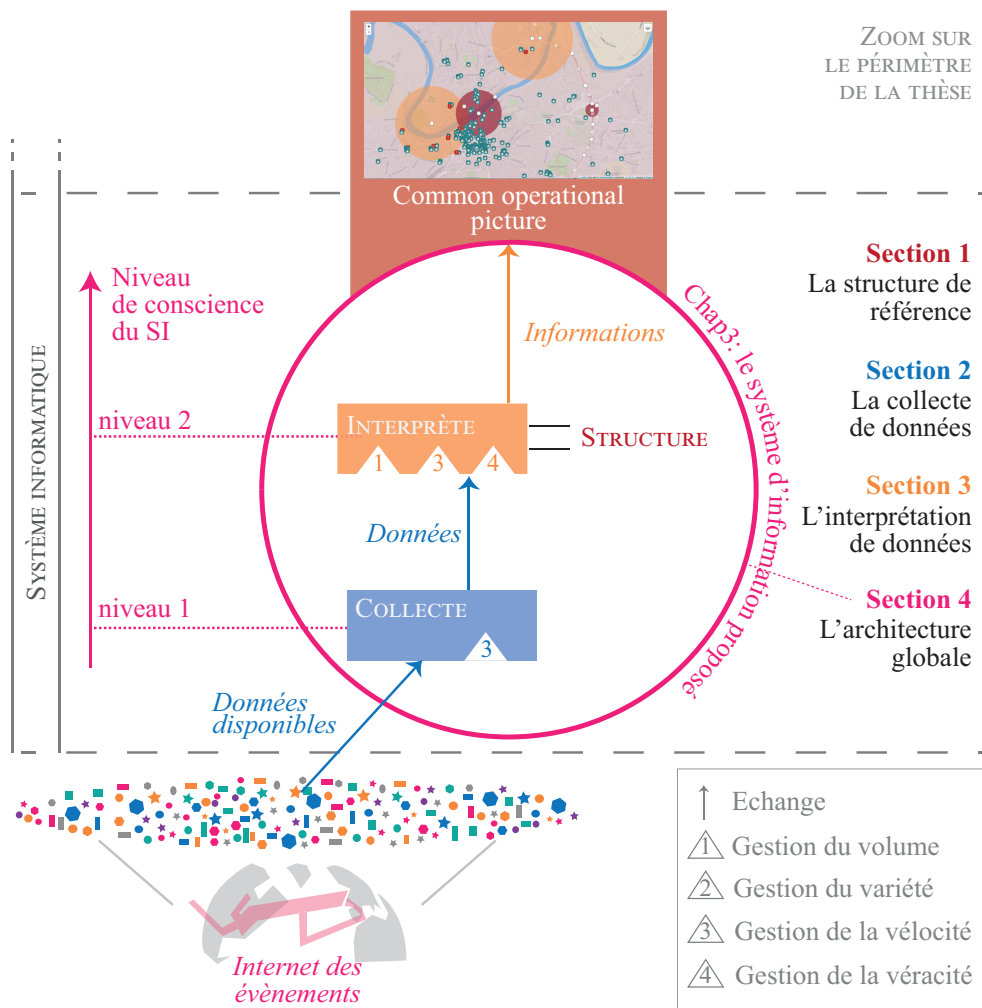


FIGURE 3.1 – Périmètre d'étude du chapitre 3

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

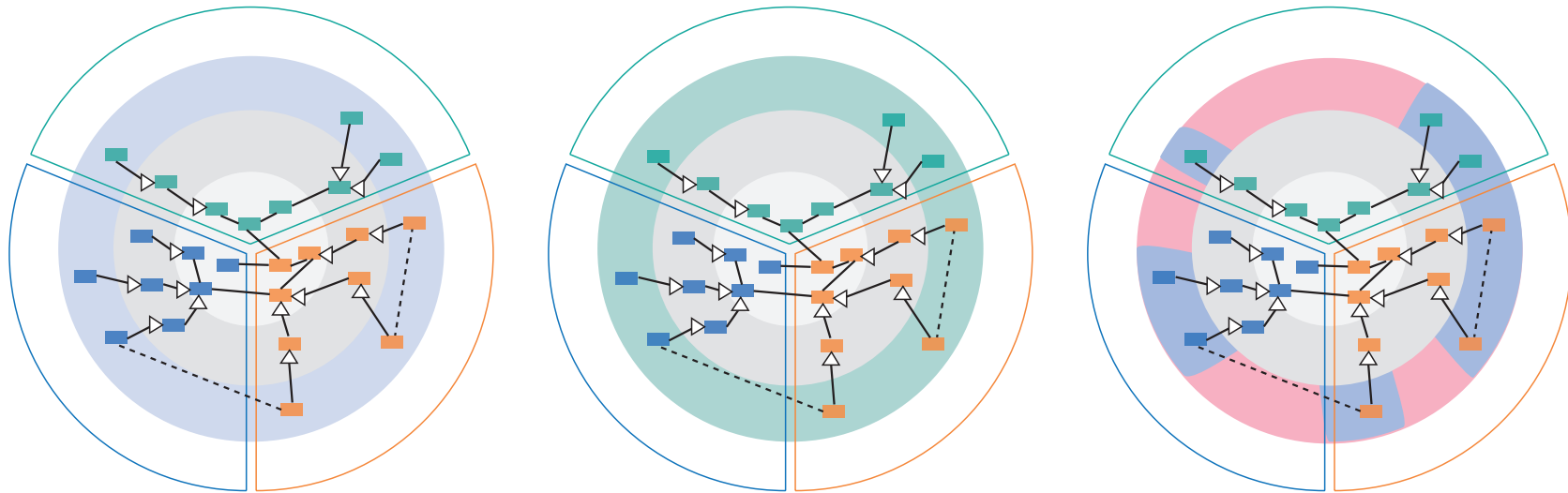
Pour commencer la conception du système d'information recherché, cette section s'intéresse à la définition d'un métamodèle complexe, généraliste et configurable (cf. section 2.5). Comme identifié à la section 2.6, le métamodèle le plus à même de répondre à nos besoins est le métamodèle proposé par Benaben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

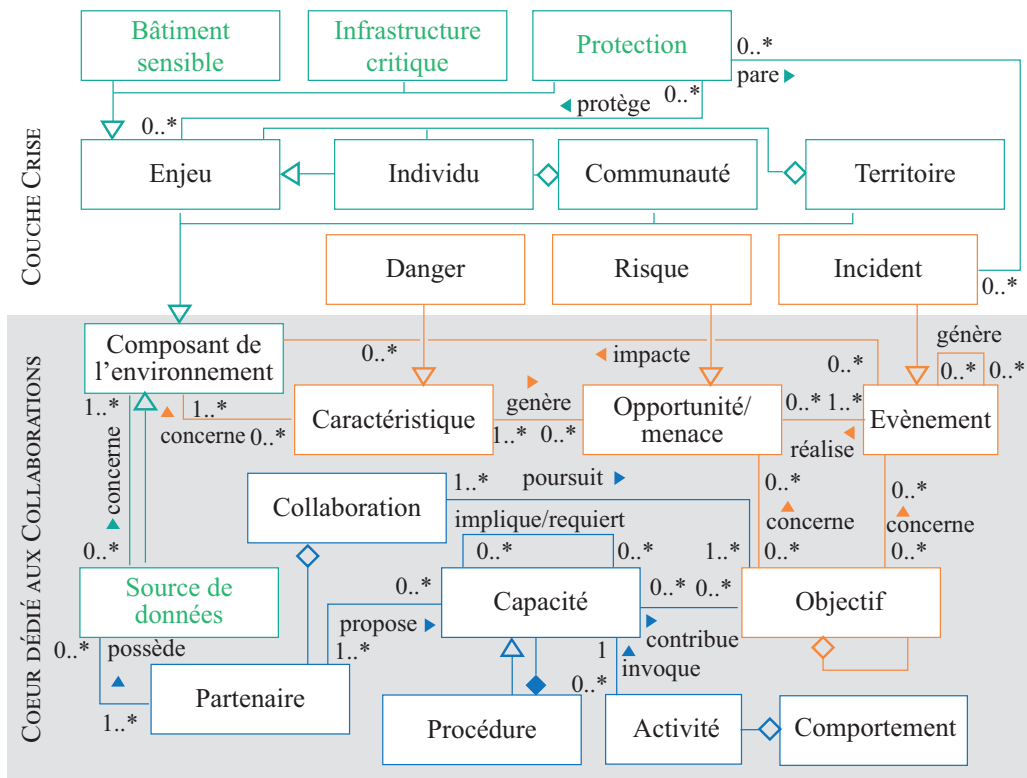


FIGURE 3.3 – Extrait du métamodèle Cœur décrit dans Bénaben (2012), dédié à la modélisation de collaborations d'organisations, et de sa couche Crise (Bénaben et al., 2008; Lauras et al., 2015)

- 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.

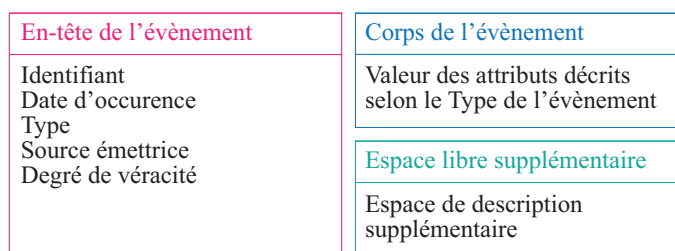


FIGURE 3.4 – Structure des évènements respectant les recommandations de Etzion et al. (2011)

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.

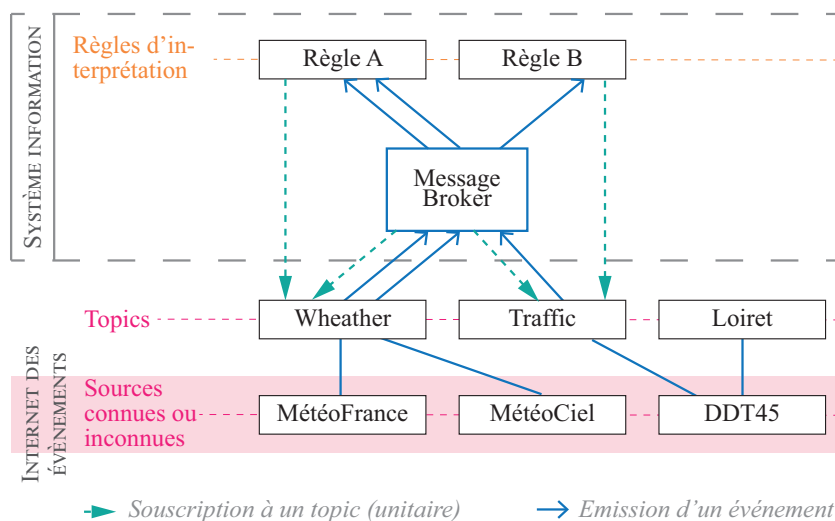


FIGURE 3.6 – Mécanisme publish/subscribe, basé sur l'utilisation de topics, illustré par quelques exemples et inspiré de Eugster et al. (2003)

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

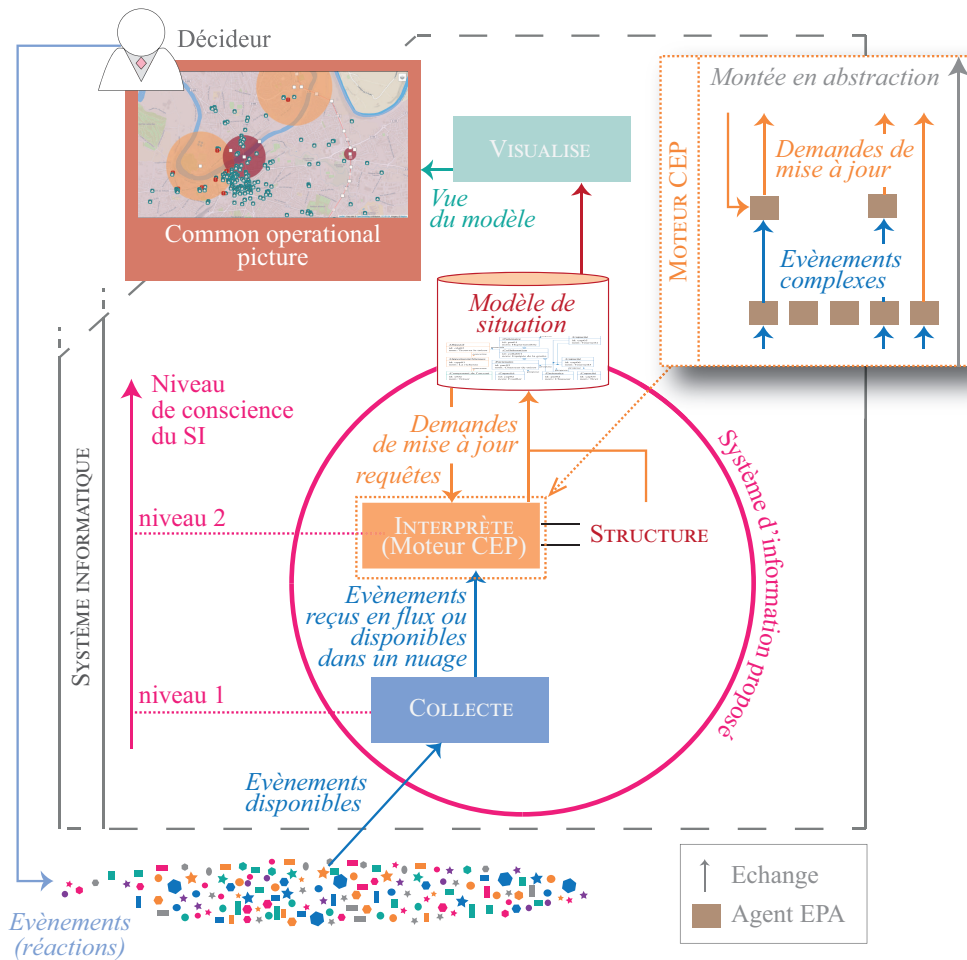


FIGURE 3.7 – Illustration du fonctionnement d’un moteur CEP, inspiré des travaux de Fülöp et al. (2010) et mis en contexte par rapport aux autres modules de notre architecture

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.

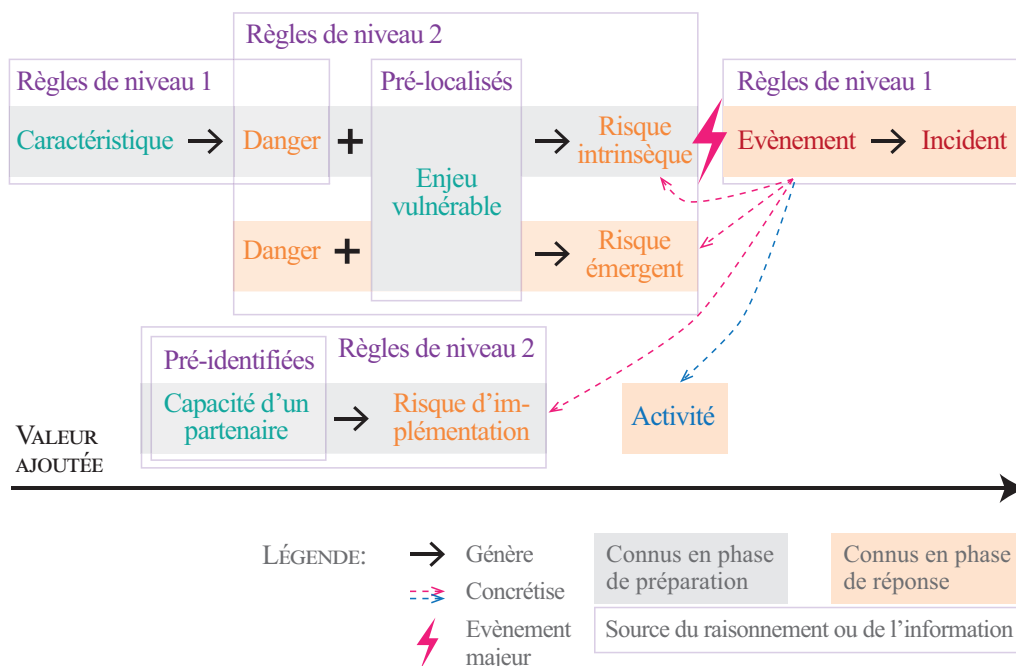


FIGURE 3.9 – Les règles d'interprétation de niveau 1 et de niveau 2 pour instancier les concepts de Danger, de Risque et d'Incident. Le principe de déduction est inspiré de Desroches (2013), Bénaben et al. (2014) et Li et al. (2018a)

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 <sub>eau</sub> (t)	Cote de la Loire à la date <i>t</i>
S <sub>évacuation</sub>	Seuil d'évacuation
A	Evènement: C <sub>eau</sub> (t) > S <sub>évacuation</sub>
D <sub>évacuation</sub>	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<sub>évacuation</sub> = Totale
- 2- Si  $p(A) > 90\%$  et  $t < 2$  jours Alors D<sub>évacuation</sub> = Partielle ou Exclue
- 3- Si  $50\% < p(A) < 90\%$  et  $t = 2$  jours Alors D<sub>évacuation</sub> = Totale ou Partielle
- 4- Si  $10\% < p(A) < 50\%$  et  $t > 3$  jours Alors D<sub>évacuation</sub> = 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 3500m<sup>3</sup> 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



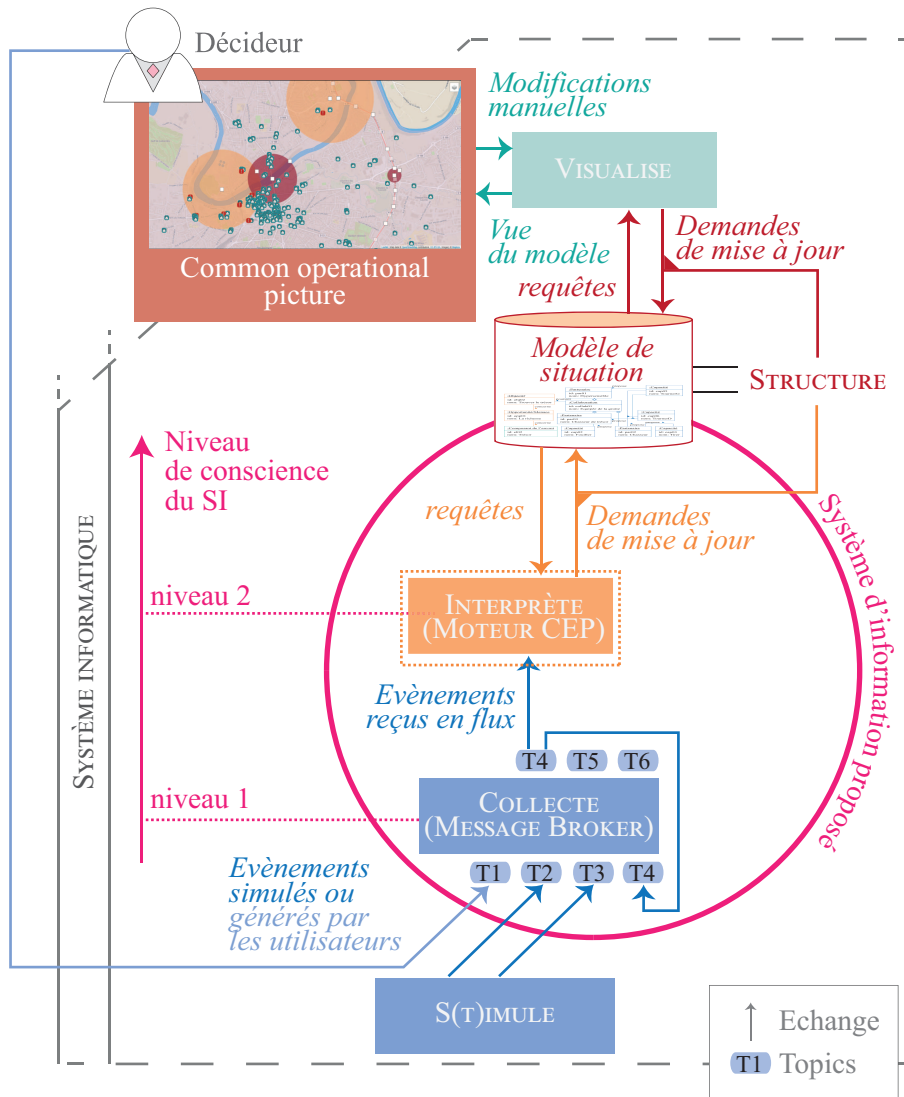


FIGURE 3.11 – L'architecture du système d'information proposé

### 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

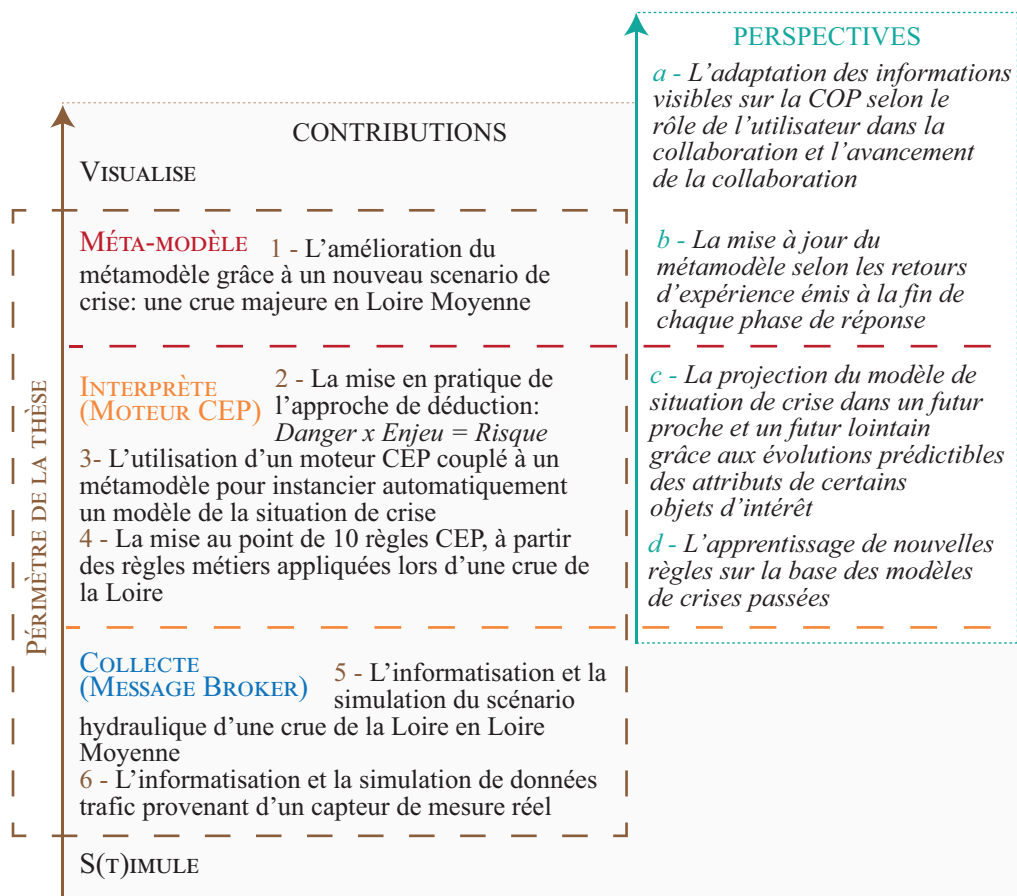


FIGURE 3.13 – Les contributions identifiées et les perspectives d'évolutions des travaux présentés dans cette thèse

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.