
Institution artificielle située pour une aide à la régulation de la gestion de crises

**Maiquel de Brito¹, Lauren Thévin², Catherine Garbay²,
Olivier Boissier³, Jomi Fred Hübner¹**

1. PPGEAS/Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, Brazil
maiquel.b@posgrad.ufsc.br, jomi.hubner@ufsc.br

2. LIG/Université de Grenoble, Grenoble, France
lauren.thevin@imag.fr, Catherine.Garbay@imag.fr

3. Laboratoire Hubert Curien UMR CNRS 5516, Institut Henri Fayol,
MINES Saint-Etienne, Saint-Etienne, France
olivier.boissier@emse.fr

RÉSUMÉ. Dans cet article, nous utilisons une institution artificielle située au sein d'un système multi-agent normatif, interactif, et hybride pour réguler la collaboration humaine dans une situation de gestion de crises. Les actions des acteurs humains sont régulées par des normes, en fonction de la dynamique de l'environnement dans lequel ils sont situés. Afin de proposer une régulation de crise flexible, ancrée dans le contexte, nous insérons un niveau constitutif entre l'environnement et les normes. Ainsi les normes ne se réfèrent plus à des faits environnementaux, mais aux interprétations institutionnelles des faits environnementaux selon les règles constitutives. Nous montrons que cette modélisation déclarative et distincte permet de gérer l'interprétation des événements issus de l'environnement, tout en tenant compte du contexte organisationnel.

ABSTRACT. This paper highlights the use of Situated Artificial Institution within an hybrid, interactive, normative multi-agent system to regulate human collaboration in crisis management. Norms regulate the actions of human actors based on the dynamics of the environment in which they are situated. In order to provide a flexible crisis regulation, situated in the context, we insert a constitutive level between environmental and normative states. Norms are thus no more referring to environmental facts but to institutional interpretation of environmental facts through constitutive rules. We present how this declarative and distinct modelling succeeds in managing the interpretation of the events while taking into account organizational context.

MOTS-CLÉS : institution, norme, interaction tangible, gestion de crises.

KEYWORDS: institution, norm, tangible interaction, crisis management.

DOI:10.3166/RIA.30.185-209 © 2016 Lavoisier

1. Introduction

La gestion de crises a pour objectif d'organiser les secours lors d'accidents naturels ou artificiels afin de limiter les dégâts humains et matériels. Elle met en œuvre une collaboration décentralisée dans un environnement fortement dynamique et incertain, entre de multiples acteurs et organisations (e.g. pompiers, policiers, citoyens), afin de réaliser des actions efficaces et cohérentes en lien avec les multiples missions qui leur incombent (information, sécurité, logistique, logement).

Dans un tel contexte, des plateformes logicielles support à la gestion de crises sont de plus en plus utilisées. Nous développons actuellement une telle plateforme qui s'appuie sur des surfaces tangibles afin de médier les interactions entre les acteurs impliqués à distance. Afin de préserver l'autonomie de ces acteurs tout en prenant en compte les politiques et plans de gestion de crises utilisés pour coordonner et réguler leurs actions collectives, nous utilisons des approches normatives. Nous avons ainsi proposé l'utilisation de systèmes multi-agents normatifs pour définir un système socio-technique (Thévin *et al.*, 2014) dans lequel des humains et des agents logiciels coopèrent (i.e. *système hybride*) en combinant des interactions physiques, digitales et virtuelles (i.e. *interaction mixte*) qui sont régulées et coordonnées par des normes et des organisations (i.e. *système normatif*).

Ce papier aborde plus particulièrement le couplage entre les normes et l'environnement physique dans lequel la crise se déroule et où les comportements humains régulés et coordonnés par les normes doivent être appliqués. Ce couplage est une caractéristique importante à considérer pour développer de tels systèmes socio-techniques. Sa mise en œuvre dans les approches actuelles des systèmes normatifs n'est pas satisfaisante. Ancrer les normes et la régulation dans l'environnement, i.e. concilier une expression claire de la coordination et des comportements attendus en lien avec les possibilités d'actions dans l'environnement, doit être réalisé d'une manière facilement modifiable afin de tenir compte des possibilités : (i) de divergences dans l'interprétation humaine des événements issus de l'environnement qui dépendent du contexte, du rôle de l'acteur ou de l'organisation à laquelle il appartient (e.g. qualification de la sûreté d'une zone par des pompiers ou par les autorités civiles), (ii) d'incohérences dans les interventions humaines du fait d'incohérences entre les normes d'organisations différentes.

C'est la raison pour laquelle, comme proposé dans (De Brito *et al.*, 2014), nous nous tournons vers les *Institutions Artificielles Situées (IAS)* qui offrent, comme nous l'expliquons et l'illustrons dans ce qui suit, des abstractions et des primitives adaptées pour définir un lien explicite et déclaratif entre faits environnementaux et constituants des normes et dont la modification permet d'ancrer différemment la régulation dans l'environnement sans changer définitions de faits environnementaux et définitions des normes. Dans ce papier, nous ne présentons pas une version complète d'une application réalisée via ce modèle d'IAS. Nous nous focalisons sur la production d'un prototype montrant ce que cette approche peut apporter au développement d'applications réelles de gestion de crises.

La suite de cet article est structurée comme suit. La section 2 présente le contexte applicatif en décrivant rapidement un scénario de gestion de crises et en listant les besoins qui sous-tendent l'approche et l'application que nous développons. La section 3 présente le modèle d'Institution Artificielle Située sur lequel nous nous appuyons. La section 4 présente comment ce modèle a été utilisé et mis en place pour répondre aux besoins de la section 2. La section 5 décrit l'exécution d'un scénario sur l'implémentation réalisée et discute des avantages de notre approche. En section 6, avant de conclure, nous comparons et discutons notre proposition vis-à-vis des approches existantes.

2. Besoins et démarche suivie

Dans cette section, avant de présenter les motivations à la base de l'approche décrite dans ce papier, nous présentons un cas d'utilisation et le contexte général de notre travail.

2.1. Exemple de cas d'utilisation

Nous proposons de considérer comme fil conducteur de notre présentation un exemple simplifié de gestion de crises où le but est d'évacuer des zones frappées par une crise. Deux types de zones sont considérés : zone *sûre* et zone *risquée*. Une zone sûre est viable au plan de la sécurité, car des personnels non professionnels (*Maire*, *Chef du poste de commandement communal*, cellules opérant sur le terrain telles que la *Cellule logistique* et la *Cellule soutien*) peuvent effectuer l'évacuation. Une zone *risquée* au contraire n'est pas viable au plan de la sécurité et implique l'intervention de professionnels comme les *Pompiers* pour réaliser l'évacuation en coordination avec le *Poste de commandement opérationnel* qui centralise et coordonne les actions sur le terrain et qui est sous la responsabilité des *Pompiers*.

Le *Maire* est responsable de coordonner l'évacuation d'une population dans les zones *sûres* en donnant des ordres à la *Cellule logistique* et à la *Cellule soutien*. Les *Pompiers* sont les responsables exclusifs de l'organisation de l'évacuation des zones *risquées*. Après une évacuation, la *Cellule logistique* est responsable du recensement des personnes évacuées. Dans chaque zone, la crise peut être dans l'une des deux phases suivantes : prévention (moins grave) ou urgence (plus grave). Chacune de ces phases est régie par des politiques spécifiques. Face à une crise, quelles que soient la phase et la zone, le *Maire* est obligé de nommer son représentant au sein du *Poste de commandement opérationnel*. Ce représentant est chargé d'assurer la liaison entre le *Poste de commande opérationnel* et la *Mairie* en envoyant des rapports réguliers. Ces acteurs travaillent selon des politiques et des normes variées. Une première politique, par exemple, spécifie qu'il doit y avoir un seul groupe d'acteurs à un instant donné pour gérer l'évacuation. Selon le statut de la zone (*sûre*, *risquée*), un seul groupe sera en charge d'intervenir. Ce groupe sera le *Maire* et ses subordonnés (*Cellule logistique* et *Cellule soutien*) ou les *Pompiers*. Cependant, qualifier une zone de *sûre* ou *risquée* peut être source de conflit. Pour les membres du *Poste de commandement*

communal ou le *Maire*, une zone est considérée comme *sûre* dès lors que la phase est préventive et que le nombre d'habitants est inférieur à un certain seuil. Au contraire, pour les *Pompiers*, une zone est considérée comme *sûre* en phase préventive et si aucun risque électrique n'est observé, indépendamment du nombre d'habitants. Supposons que nous soyons en phase préventive, que le nombre d'habitants excède le seuil critique et qu'il n'y ait pas de risque électrique. Le *Maire* va considérer que c'est aux *Pompiers* d'intervenir, alors que les *Pompiers* vont considérer le contraire : de ce point de vue, c'est au *Maire* de diriger l'évacuation. Ce court exemple montre que des divergences sont possibles dans l'interprétation d'événements en provenance de l'environnement, selon le contexte, les rôles ou l'organisation des acteurs ; il révèle également des incohérences dans l'intervention humaine issues d'incohérences dans les politiques des organisations impliquées.

Supposons en outre qu'en raison d'une évolution de la crue, la situation est modifiée : de phase *préventive* on passe en phase d'*urgence*. Il en résulte une évolution des politiques d'intervention. En conséquence, la validité de certains faits comme, par exemple, « demander l'évacuation d'une zone » va changer. Ceci illustre un enjeu supplémentaire lié à l'évolution possible des normes à considérer.

Même quand les politiques ne changent pas, les moyens utilisés pour satisfaire ces politiques, eux, peuvent changer selon le contexte. Ainsi par exemple, la *Cellule soutien* est obligée de soutenir la *Cellule logistique* dans les procédures d'évacuation en fournissant des informations météo la plupart du temps, alors que dans des situations plus critiques, elle doit intervenir et être physiquement présente dans la zone affectée.

2.2. Dimensions de l'étude

Comme nous l'avons vu, la gestion de crise est une activité collaborative où les acteurs humains doivent intervenir de manière efficace et coordonnée mais flexible pour faire face aux évolutions non prévisibles des situations. L'analyse des approches existantes en gestion de crises, collecticiels et systèmes multi-agents, montre qu'un système d'aide à la gestion de crises doit être conçu en considérant trois dimensions principales :

- **Hybride (humains et agents artificiels)** : la collaboration humain-machine dans un contexte de gestion de crises est une activité collaborative complexe impliquant la participation d'acteurs et d'organisations multiples. Ils doivent agir et se coordonner pour réaliser de manière efficace leurs multiples missions (information, sécurisation, ravitaillement, hébergement), au sein d'environnements hautement dynamiques et incertains. Etant donné le caractère distribué et décentralisé inhérent à la gestion de crises, une approche multi-agent apparaît bien adaptée. En effet, les acteurs humains et artificiels peuvent être considérés comme des agents interagissant au sein d'un environnement partagé sous le contrôle de politiques de régulation et de coordination. Ces politiques découlent des organisations et du contexte dans lesquels ce système hybride est plongé.

– **Mixte (modalités tangibles, numériques et virtuelles)** : pour faire face au caractère distribué de la gestion de crises, le système est déployé sur un réseau de tables TangiSense (Kubicki *et al.*, 2012) à travers lesquelles les acteurs humains interagissent. Ces tables peuvent détecter et localiser des objets tangibles équipés de tags RFID. Leur surface est en outre équipée d'un écran LCD qui permet l'affichage d'informations simulées ou réelles du terrain d'intervention ainsi que des retours informationnels liés aux objets tangibles déposés sur les tables. Le choix de cette technologie est motivé par sa capacité à soutenir une activité flexible et opportuniste. Pour garantir le *partage des contextes organisationnels* (Garbay *et al.*, 2012), c'est-à-dire la possibilité pour les acteurs de percevoir les rôles, missions et normes des autres acteurs, nous exploitons les retours virtuels pour mettre en lumière les incohérences et conflits potentiels des actions tangibles effectuées vis-à-vis des normes de régulation et de coordination.

– **Normative (système normatif)** : le manque de ressources, les changements de situations, le caractère distribué et inter-organisationnel de l'activité de gestion de crises peut rendre la collaboration difficile (Dugdale *et al.*, 2010). Des politiques cohérentes sont nécessaires pour réguler correctement ces activités. Les normes et les systèmes normatifs, tels que définis dans (Boella *et al.*, 2008) apportent le niveau d'abstraction et les mécanismes appropriés pour exprimer ces politiques et réguler l'activité décentralisée d'agents œuvrants au sein d'environnements dynamiques et non prédictibles. Outre la régulation des *activités de coordination* entre humains, les normes dans notre approche sont utilisées pour réguler l'activité des agents du système multi agent d'aide à la préparation à la gestion de crises que nous avons mis en place. Une première préoccupation est de gérer le degré d'autonomie des agents, et de réguler l'allocation des tâches entre acteurs humains et artificiels. Ceci peut être utile pour faire évoluer le rôle du système, d'un rôle plutôt éducatif (la plupart des tâches étant conférées aux acteurs humains), à un rôle de supervision (la plupart des tâches sont effectuées avec le soutien du système). Une seconde préoccupation est de diriger l'interaction humain-machine, c'est-à-dire de décrire quelles sont les interactions autorisées pour les acteurs humains (*activité de production*) et comment générer les retours virtuels (*activité de communication*).

Nous avons utilisé ces dimensions principales dans la définition d'un système multi-agent hybride et normatif médiant et régulant des interactions mixtes entre acteurs humains et artificiels pour l'aide à la préparation à la gestion de crises. Les agents humains peuvent y dérouler un scénario de gestion crises. Le suivi de l'activité et la mise en œuvre de l'interaction sont réalisés par des agents artificiels.

2.3. Une approche située pour soutenir l'activité de collaboration médiée par la machine

Dans le système ainsi défini, le support à l'interaction collaborative mise en œuvre par les humains peut être organisé selon trois espaces : *production*, *coordination* et *communication*. Ces trois espaces sont inspirés du modèle CLOVER du trèfle du col-

lecticiel (Laurillau, Nigay, 2002). Selon ce modèle, ces espaces font respectivement références aux objets produits par l'activité et partagés par les acteurs, à l'organisation des activités et aux dépendances entre les tâches et les acteurs, aux outils permettant la communication entre acteurs.

Ces définitions sont centrées sur la façon d'instrumenter les relations entre acteurs. Nous les étendons dans notre proposition en concevant notre système comme un système de « collaboration augmentée », lui conférant un rôle actif de médiation de l'activité humaine, permettant aux acteurs de situer leur activité, au plan environnemental et organisationnel. Il s'agit donc, pour les agents mis en jeu dans les espaces de production, de coordination et de communication, non pas de régler l'activité humaine, mais au contraire de l'interpréter, de l'évaluer et de la transcrire, articulant ses modalités tangibles, numériques et virtuelles et les enrichissant de modalités « évaluatives » exprimant sa relation aux normes organisationnelles. Ainsi, l'espace de *production* fait référence au support à l'activité produite par le dépôt d'objets tangibles sur les surfaces (e.g. lancement d'un ordre d'évacuation sur une zone donnée), seul point d'interaction entre les acteurs et le système. L'espace de *coordination*, lui, fait référence au support à la coordination des tâches et des acteurs à partir des éléments de production que ceux-ci ont réalisés (e.g. exécution du plan de secours). L'activité humaine étant médiée par les surfaces tangibles, cette coordination s'appuie sur l'analyse des résultats de l'espace de production. La perspective de *communication*, enfin, fait référence aux activités liées au support à la communication entre les acteurs. Là aussi, la médiation de l'activité étant réalisée via l'affichage à la surface de la table tangible cette communication s'appuie sur les résultats de l'évaluation de la coordination (e.g. affichage d'icônes montrant le résultat ou la non validité d'actions) et de l'espace de production pour fournir des retours informés sur les surfaces tangibles et construire la conscience organisationnelle partagée.

Nous pouvons ainsi noter que l'activité globale du système est le résultat de l'enchaînement des activités liées à ces trois espaces selon le cycle suivant : production, coordination puis communication. Cet enchaînement, support du partage des informations entre acteurs, doit s'effectuer de manière fluide, sans contraindre l'activité humaine, afin de respecter le caractère opportuniste de l'interaction tangible. Il doit néanmoins s'effectuer en contexte des règles liées à ces 3 espaces : règles de manipulation tangible, règles de la communication par feedback virtuels, règles liées à l'application de l'intervention en gestion de crises. Afin de réguler ces activités, trois familles de normes sont définies en regard de ces trois espaces. Le cycle production-coordination-communication s'effectue ainsi en contexte des normes sous-jacentes. Au-delà du partage d'information, il permet le partage du contexte organisationnel entre humains et système technique, par la déclaration explicite des normes, et entre système technique et humains par la transmission via l'espace de communication de retours virtuels reflétant la validité institutionnelle des actions réalisées.

L'expression de ces normes dans l'espace de coordination fait référence aux organisations (rôles, groupes) qui structurent et définissent l'ossature des plans de coordination. Cette expression abstraite des participants d'une norme permet d'assurer

l'indépendance de ces normes vis-à-vis des acteurs impliqués dans la gestion de crises. Dans le cadre de cet article, notre objectif est d'aller plus loin dans cette indépendance en préservant leur indépendance vis-à-vis du monde physique auquel ces normes font référence via les actions, états ou événements qui peuvent entrer dans leur définition. Dans ce but, nous introduisons un niveau intermédiaire constitué de faits interprétés sur lesquels l'activation, la vérification des normes vont opérer. Ces faits interprétés sont le résultat de l'application de règles d'interprétation appliquées aux résultats des activités de la perspective précédente dans le cycle production/coordination/communication.

Nous aboutissons ainsi à la décomposition présentée dans le tableau 1 pour chaque perspective d'activité.

Tableau 1. Ancrage des normes de production, de coordination et de communication dans l'environnement

Niveau/Espace	Production	Coordination	Communication
<i>Physique – Environnement</i>	Entrées tangibles	Actions figurées	Déclarations, missions, rôles
–Règles interprétation	Règles de reconnaissance des actions figurées par l'entrée tangible	Règles de reconnaissance des déclarations, missions, rôles	Règles de virtualisation
–Faits interprétés	Actions figurées	Déclarations, missions, rôles	Retours virtuels
<i>Organisationnel – Normes</i>	Validité des actions figurées	Validité des déclarations, missions, rôles	Validité des retours virtuels

La première étape (cf. tableau 1 – colonne 2) consiste à reconnaître les entrées tangibles comme des actions figurant une activité de gestion de crise, qui peuvent être valides ou non au sens de l'activité de production (e.g. la séquence d'entrées tangibles est-elle une interaction valide ?). Ces actions sont ensuite reconnues (cf. tableau 1 – colonne 3) comme des déclarations, des missions et/ou des rôles qui peuvent être valides ou non au sens de la régulation de l'activité de coordination (les missions et rôles correspondant aux actions figurées sont-ils conformes aux missions et rôles attendus dans l'organisation courante ?). Enfin, à partir de ces missions et rôles, fruits de ces deux interprétations successives, un retour virtuel (i.e. retour informé) est généré dans le monde physique (cf. tableau 1 – colonne 4) et transmis selon les règles de retour virtuel (où et sous quelle forme transmettre un retour virtuel ?).

Pour illustrer la capacité déclarative de notre modèle, focalisons-nous sur l'espace de coordination (cf. tableau 1 – colonne 3) qui en illustre les portées applicatives, et considérons les divergences possibles entre l'interprétation par le *Maire* ou les *Pompiers* de la notion de *zone sûre*. Ceci pourra être modélisé par le biais de 2 règles d'interprétation, exprimant des relations possibles entre des actions figurées issues de l'espace de production et la déclaration « zone sûre ». Il s'agit au même moment de préserver la possibilité d'une définition de norme de régulation des zones sûres,

qui soit indépendante et partagée par les 2 acteurs. En ce qui concerne maintenant l'évolution potentielle des normes, d'une *phase préventive* à une *phase d'urgence*, la modélisation proposée permet au contraire de faire évoluer la spécification normative partagée, sans toucher aux règles d'interprétation des faits physiques.

Nous examinons dans la section suivante comment formaliser et implémenter ces spécifications, en nous focalisant sur l'espace de *coordination*.

3. Institution artificielle située

Le modèle d'institution artificielle située (*IAS*) est décrit plus en détail dans (De Brito *et al.*, 2014). Dans cette section nous allons en donner un aperçu général avant de décrire chacun des composants qui le constituent. Même si le modèle d'*IAS* est un modèle générique, indépendant du domaine d'application de ce papier, nous utilisons un exemple issu de la gestion de crise pour en présenter les éléments.

3.1. Vision générale du modèle d'Institution Artificielle Située

Le modèle d'*IAS* est constitué d'*éléments environnementaux*, de *fonctions statutaires*, de *règles constitutives* et de *normes*. L'objectif est de permettre une régulation d'un système multi-agent (SMA) à partir de faits issus de l'environnement dans lequel les agents sont situés (cf. figure 1a).

En accord avec la dimension *normative* que nous considérons pour notre système, les normes définissent les obligations, permissions et interdictions des agents. Dans le modèle d'*IAS*, elles font référence à un niveau abstrait qui ne fait pas directement référence à l'environnement. Par exemple, une norme stipulant que "*le maire est obligé d'ordonner l'évacuation*", ne spécifie ni *qui* est le maire qui est obligé de suivre la norme, ni *ce que* le maire doit concrètement faire pour la satisfaire. Cependant, la réalisation effective d'une norme dépend de son ancrage dans l'environnement puisque sa dynamique (activation, satisfaction, désactivation) est le résultat de faits qui s'y produisent. Dans le modèle d'*IAS*, les normes sont connectées à l'environnement lorsque leurs constituants – les fonctions statutaires – sont *constituées* à partir de l'environnement en fonction des *règles constitutives*. Celles-ci peuvent par exemple spécifier que tout agent jouant le rôle de *maire counts-as* le maire en charge d'ordonner l'évacuation (cf. figure 1b). Nous verrons ci-dessous comment le modèle d'*IAS* aborde ces aspects, une fois présentés les éléments de ce modèle : éléments environnementaux, fonctions statutaires, règles constitutives, normes.

3.2. Éléments environnementaux

Les actions des agents, les productions d'événements, les états de l'environnement sont les éléments qui doivent être régulés. Ainsi, l'état environnemental \mathcal{X} est composé de l'ensemble des agents ($\mathcal{A}_{\mathcal{X}}$) qui peuvent agir dans le système, de l'ensemble

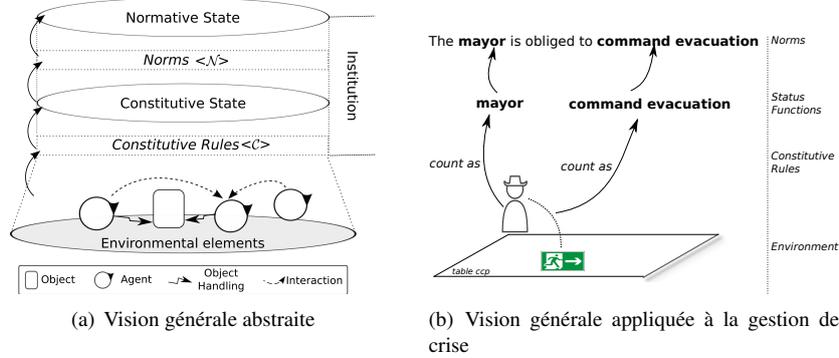


Figure 1. Vision générale du modèle d'Institution Artificielle Située

des événements ($\mathcal{E}_{\mathcal{X}}$) qui peuvent se produire dans l'environnement et de l'ensemble des propriétés ($\mathcal{S}_{\mathcal{X}}$) utilisées pour décrire les états possibles de l'environnement :

$$\mathcal{X} = \mathcal{A}_{\mathcal{X}} \cup \mathcal{E}_{\mathcal{X}} \cup \mathcal{S}_{\mathcal{X}}$$

3.3. Fonctions statutaires

Les fonctions statutaires sont des fonctions que les éléments de l'environnement (agents, événements, états) remplissent selon une perspective institutionnelle (Searle, 2009). L'ensemble de ces fonctions statutaires \mathcal{F} est constitué de *fonctions statutaires agents* ($\mathcal{A}_{\mathcal{F}}$), de *fonctions statutaires événements* ($\mathcal{E}_{\mathcal{F}}$), et de *fonctions statutaires états* ($\mathcal{S}_{\mathcal{F}}$).

$$\mathcal{F} = \mathcal{A}_{\mathcal{F}} \cup \mathcal{E}_{\mathcal{F}} \cup \mathcal{S}_{\mathcal{F}}$$

Un agent acquiert la fonction statutaire “maire” si l'institution le considère comme tel (ceci peut ne pas dépendre uniquement des compétences de l'agent). De manière similaire, l'institution peut considérer que l'événement “signal d'alarme” issu d'un agent correspond à un “ordre d'évacuation” ou à une “alerte incendie” selon le contexte d'une crise. Il en est de même pour les états de l'environnement (e.g. “plus de 500 personnes dans une zone” peut avoir la fonction statutaire, dans l'institution, que la zone est à haut risque en cas de crise).

3.4. Règles constitutives

Les règles constitutives permettent de faire le lien entre éléments de l'environnement et fonctions statutaires. Ainsi, une règle constitutive $c \in \mathcal{C}$ est définie par le quadruplet

$$c = \langle x, y, t, m \rangle$$

où x ($x \in \mathcal{F} \cup \mathcal{X} \cup \{\varepsilon\}$) “counts as”¹ (i.e. a la fonction statutaire) y ($y \in \mathcal{F}$) quand l’événement t ($t \in \mathcal{E}_{\mathcal{F}} \cup \mathcal{E}_{\mathcal{X}} \cup \top$) a eu lieu et tant que l’état m ($m \in \mathcal{S}_{\mathcal{X}}$) est vrai dans l’environnement ou dans l’institution. Lorsque $x = \varepsilon$, ceci signifie que l’élément n’est pas présent dans la règle constitutive et qu’il s’agit d’une affectation libre (*freestanding assignment*) (Searle, 2009 ; De Brito *et al.*, 2014). Lorsque $t = \top$, l’affectation ne dépend d’aucun événement. Si une fonction statutaire y est affectée à x , nous disons que x constitue y .

Comme décrit dans (De Brito *et al.*, 2015), l’interprétation de état courant de l’environnement à l’aide des règles constitutives produit l’état constitutif de l’institution.

3.5. Normes

Différents modèles de normes sont proposés dans la littérature. Nous considérons ici qu’une norme est définie par le quintuplet suivant :

$$n = \langle c_a, a, d, i, c_d \rangle$$

où (i) c_a est la condition d’activation de la norme, conjonction constituée de fonctions statutaires d’événements ou d’états ; (ii) a est la fonction statutaire d’agent pointant sur les agents ciblés par la norme ; (iii) $d \in \{\textit{obliged}, \textit{prohibited}\}$ est l’opérateur déontique de la norme ; (iv) i est le but à satisfaire (si $d = \textit{obliged}$) ou à éviter (si $d = \textit{prohibited}$) exprimé par une fonction statutaire soit d’événement, soit d’état ; et (v) c_d , optionnelle, est une fonction statutaire d’événement ou d’état pointant sur la date limite de la satisfaction de la norme.

Le cycle de vie d’une norme au sein du modèle d’IAS, illustré dans la figure 2, est le suivant : les obligations et interdictions deviennent actives lorsque la condition d’activation c_a est satisfaite ; les obligations (resp. interdictions) sont remplies lorsque le but i est satisfait (resp. reste insatisfait) avant (resp. jusqu’à) la date limite c_d . Par exemple, dans le scénario de gestion de crises considéré dans cet article, le nuplet $\langle \textit{insecure}(\textit{Zone}), \textit{firefighter}, \textit{obliged}, \textit{evacuate}(\textit{Zone}), \neg \textit{insecure}(\textit{Zone}) \rangle$ exprime le fait que lorsqu’un état de l’environnement “counts as” $\textit{insecure}(\textit{Zone})$ (i.e. une zone est risquée), l’agent qui a acquis la fonction statutaire $\textit{firefighter}$ est obligé de produire un événement qui “counts as” $\textit{evacuate}(\textit{Zone})$ avant que le système atteigne un état dans lequel la zone est considérée comme risquée.

La section 4.5 montre une spécification réalisée avec le langage de spécification de l’IAS proposé dans (De Brito *et al.*, 2014) à partir du modèle présenté ici.

4. Institution artificielle située pour la gestion de crises

Afin de montrer comment le modèle d’IAS peut être appliqué à la gestion de crises, reprenons le cas d’utilisation décrit dans la section 2. Le système est un

1. Par la suite nous préférons utiliser l’expression “counts as” dans sa version originelle plutôt que sa traduction.

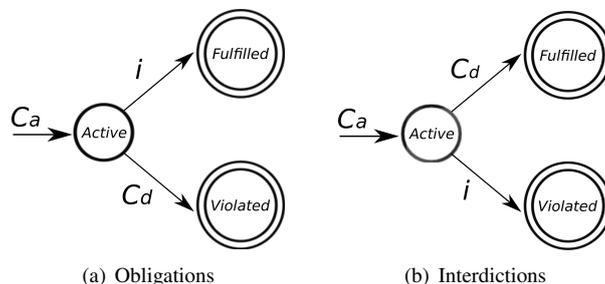


Figure 2. Cycle de vie des normes

SMA normatif hybride déployé sur un réseau de tables tangibles soutenant les interactions mixtes. L'environnement dans lequel les agents interagissent est donc la source des événements et des états résultant des actions des acteurs humains sur les tables. Les règles constitutives intervenant dans la mise en œuvre de l'IAS permettent d'*institutionnaliser* ces événements et états survenus dans l'environnement, et de leur donner une signification utilisable pour le suivi des attentes exprimées par les normes dans l'application (par exemple, le tangible B dans la position (C, D) "counts as" une commande d'évacuation du centre-ville). Cette institutionnalisation est importante pour la régulation des activités des agents dans l'environnement (cf. figure 1b) dans le scénario considéré. Pour cela, nous allons présenter les éléments de l'IAS qui permettent de définir les aspects de l'environnement qui sont pertinents dans le cas d'utilisation proposé (cf. section 4.1). Les sections 4.2 à 4.4 présentent les autres éléments du modèle d'IAS et la manière dont ils donnent du sens aux interactions tangibles afin de pouvoir les réguler.

4.1. Environnement pour la gestion de crises

L'environnement est composé de sources de données issues d'un système d'information géographique (SIG), d'une base de données (BD) ou de capteurs tels que par exemple une horloge et de l'ensemble (éventuellement distribué) des équipements tangibles impliqués dans l'application. Du point de vue de l'IAS, les agents sont situés dans l'environnement.

Dans le cadre de l'application, les acteurs s'enregistrent sur les différentes tables avant de commencer à interagir entre eux via ces tables. Trois types d'objets tangibles sont utilisés : *launch_tangible* pour initier des actions, *alert_tangible* pour émettre des alertes, et *message_tangible* pour envoyer des messages.

Les événements pertinents qui peuvent se produire dans l'environnement sont (i) *checkin*(AgentID, TableID), déclenché lorsque l'agent AgentID s'identifie sur la table TableID, (ii) *putTangible*(TableID, TangiID, X, Y, AgentID), déclenché lorsque l'agent AgentID dépose soit un *launch_tangible*

ou un *alert_tangible* TangiID sur les coordonnées (X, Y) de TableID, et (iii) putTangible(TableID, TangiID, X, Y, Target, Content, AgentID), déclenché lorsque l'agent AgentID utilise un *message_tangible* pour envoyer un message à la cible Target informant d'un contenu Content.

Les propriétés environnementales pertinentes qui composent l'état de l'environnement sont (i) nbInhabitants(ZoneID, X) qui établit que ZoneID a X habitants et (ii) security_phase(ZoneID, Phase) qui établit que ZoneID est en phase de sécurité, où $Phase \in \{preventive, emergency\}$. Ces propriétés sont fournies par les sources de données (e.g. bases de données, SIG).

4.2. Fonctions statutaires pour la gestion de crises

Les dynamiques environnementales décrites dans la section 4.1 animent la dynamique institutionnelle en faisant appel à la constitution des fonctions statutaires. La spécification décrite en section 4.5 précise les fonctions statutaires pertinentes dans le cas d'utilisation présenté, comme suit:

- Les **fonctions statutaires agents** définissent que les agents agissent dans le scénario en tant que (i) *maire* de la ville (mayor), (ii) membre du *Poste de commandement communal* (ccp_member), (iii) membre de la *Cellule logistique* (logistic_cell), (iv) membre de la *Cellule de soutien* (support_cell), (v) des *pompiers* (firefighter) ou (vi) représentant de la mairie au *Poste de commande opérationnel* (representative_pco).

- Les **fonctions statutaires événements** définissent que les événements survenant dans l'environnement peuvent signifier dans l'institution (i) de demander l'évacuation d'une Zone (command_evacuation(Zone)), (ii) la réalisation de l'évacuation d'une Zone (evacuate(Zone)), (iii) soutenir l'évacuation d'une Zone (support_evacuation(Zone)), (iv) recenser des personnes évacuées (register_evacuated_people(Zone)) ou (v) nommer le représentant de la mairie au *Poste de commande opérationnel* (name_representative_pco).

- Les **fonctions statutaires états** définissent que le système peut être dans des états où, du point de vue de l'institution, (i) une Zone est considérée sûre pour des procédures de sécurité (secure(Zone)), (ii) une Zone est risquée (insecure(Zone)), (iii) une Zone présente un risque électrique (electrical_risky(Zone)), ou (iv) le délai pour envoyer des informations est expiré (max_time_to_inform).

4.3. Règles constitutives pour la gestion de crises

Comme pour les fonctions statutaires, trois ensembles de règles constitutives sont considérés dans le cadre de notre application.

Règles constitutives des fonctions statutaires agents

Les règles 1 à 4 (cf. section 4.5) précisent que les fonctions statutaires agents de `mayor`, `logistic_cell`, `support_cell`, et `firefighter` sont constituées par les agents lorsque ceux-ci s'inscrivent sur la table produisant l'événement `checkin(Table, Agent)`. La clause `while` de la règle 1 assure que la fonction statutaire de `mayor` n'est attribuée qu'à un seul agent à la fois, car elle définit que l'agent `mayor` conserve cette fonction statutaire tant qu'elle n'est pas attribuée à un autre agent ou à l'agent lui-même. La règle 5 spécifie qu'un agent "counts as" le représentant du maire au sein du *Poste de commande opérationnel* lorsqu'il reçoit un message du maire dont le contenu est `represent_mayor_pco`.

Règles constitutives des fonctions statutaires événements

Les règles 6 à 11 (cf. section 4.5) définissent que certaines interactions tangibles signifient, d'un point de vue institutionnel, une commande d'évacuation, une évacuation et un support à l'évacuation. Ce sens est conditionné d'une part par l'objet tangible utilisé durant l'interaction et également par l'acteur qui exécute l'interaction. Au delà de la définition du type d'action selon la perspective institutionnelle, ces règles constitutives définissent les correspondances entre les zones de la table et les différentes zones géographiques : les coordonnées (1,2) sont liées à *downtown* alors que les coordonnées (3,3) sont liées à *industrial zone*. La règle constitutive 12 définit que le *maire* via l'action du dépôt d'un message tangible sur la table avec un contenu `represent_mayor_pco` "counts as" le maire nomme ses représentants au *Poste de commande opérationnel*. La règle constitutive 12 définit que lorsque le représentant du *mayor* au *Poste de commande opérationnel* dépose un message tangible sur la table avec un contenu `crisis_report` "counts as" garder le lien entre *mayor* et *Poste de commande opérationnel*.

Règles constitutives des fonctions statutaires états

Selon la règle 14 indiquée en section 4.5, la propriété `security_phase(Zone, preventive)` définit les cas où la zone est suffisamment sécurisée pour que les non professionnels puissent intervenir. A travers la première partie de la clause `while`, cette relation entre l'état de l'environnement (zone préventive) et état institutionnel (zone sûre) est présente dans le cas où la zone ne comporte pas de risque électrique. En outre, à travers la partie restante de la clause `while`, cette relation existe dans les cas où la zone a, au plus, 500 habitants ou si elle est déjà valide en termes de sécurité. Ainsi (i) si `security_phase(Zone, preventive)` devient effective lorsque la zone a plus de 500 habitants, la zone n'est pas considérée comme valide pour la sécurité et (ii) la zone reste sûre même si le nombre de ses habitants change, dépassant ainsi le seuil. Notez que, si `security_phase(Zone, preventive)` ne devient pas active dans l'environnement, on ne peut pas définir la fonction statutaire `secure(Zone)`. Les règles 15 et 16 définissent une zone `insecure(zone)` du point de vue institutionnel. La règle 17 définit ce qui constitue une zone à risque électrique. Elle réalise une affectation libre puisqu'il n'y a pas d'élément concret dans

l'environnement pour porter les fonctions statutaires. La règle constitutive 18 spécifie que l'institution considère que lorsque l'horloge *clock* montre une valeur multiple de 60000 il s'agit d'une date limite pour envoyer de l'information (l'horloge est un compteur incrémenté toutes les millisecondes).

4.4. Normes pour la gestion de crises

Les normes décrites en Section 4.5 définissent des interdictions et obligations liées aux demandes d'évacuation et aux évacuations elles-mêmes. Notez que les normes ne se réfèrent pas directement à l'environnement mais à des fonctions statutaires. Suivant le modèle décrit en Section 3.5, l'expression d'une norme fait apparaître la condition d'activation c_a , séparée de la fonction statutaire agent a par ':'. L'opérateur déontique précède le but à satisfaire, suivi de la condition de désactivation c_d précédée du mot clé 'until'.

La norme 1 spécifie que tout agent porteur de la fonction statutaire de *maire* est obligé de produire tout événement qui signifie, dans l'institution, la demande d'effectuer une évacuation. La *Cellule logistique* et la *Cellule soutien* sont obligées de réagir de différentes manières à cette commande (normes 5 et 6). Noter que les actions de ces deux cellules sont déclenchées par la commande du maire indépendamment que la zone soit considérée comme sécurisée ou non. C'est pourquoi le maire a interdiction de lancer l'évacuation d'une zone non sécurisée afin de prévenir l'intervention de ces deux cellules, qui ne sont pas des équipes de professionnels, lorsque leur action n'est pas attendue. Les *pompiers* ont interdiction de lancer l'évacuation de zones sécurisées (norme 3) mais sont obligés de gérer l'évacuation des zones non sécurisées (norme 4). Avec cet ensemble de normes – 1 à 6 – le comportement de coordination attendu des différents acteurs dans le cadre de l'évacuation est clairement défini. La norme 7 définit qu'après qu'une zone ait été évacuée par un acteur, la *Cellule logistique* est obligée de recenser les personnes évacuées. La norme 8 spécifie qu'en cas d'au moins une zone dans une des phases de crise, le maire doit nommer un représentant de *Poste de commande opérationnel*. Enfin, par la norme 9, ce représentant reçoit l'obligation de toujours garder un lien avec le maire et le *Poste de commande opérationnel*.

4.5. Spécification de l'Institution Artificielle Située

Cette section présente la spécification d'IAS pour la gestion de crises. Cette spécification est composée de la spécification normative et de la spécification constitutive.

status_functions:

```
agents: mayor, firefighter, logistic_cell, support_cell, representative_pco.
events: command_evacuation(Zone), evacuate(Zone), support_evacuation(Zone),
        register_evacuated_people(Zone), name_representative_pco,
        link_mayor_pco.
states: secure(Zone), insecure(Zone), electric_risky(Zone), max_time_to_inform.
```

norms:

```
/*The mayor is obliged to command evacuations of secure zones*/
1: secure(Zone): mayor obliged command_evacuation(Zone)
```

```

        until not (secure(Zone)).
/* The mayor is prohibited to command evacuations of insecure zones */
2: insecure(Zone): mayor prohibited command_evacuation(Zone)
    until not (insecure(Zone)).
/* The firefighter is prohibited to evacuate secure zones */
3: secure(Zone): firefighter prohibited evacuate(Zone)
    until not (secure(Zone)).
/* The firefighter is obliged to evacuate insecure zones */
4: insecure(Zone): firefighter obliged evacuate(Zone)
    until not (insecure(Zone)).
/* The logistic cell is obliged to evacuate a zone when a command */
/* is emitted */
5: command_evacuation(Zone): logistic_cell obliged evacuate(Zone).
/* The support cell is obliged to support the evacuation of a zone */
/* when a command is emitted */
6: command_evacuation(Zone): support_cell obliged support_evacuation(Zone).
/* The support cell is obliged to register evacuated people */
7: evacuate(Zone): support_cell obliged register_evacuated_people(Zone).
/* If there at least one zone in any phase of crisis, */
/* the mayor must name their representative on OCP */
8: secure(Zone)|insecure(Zone) : mayor obliged name_representative_pco.
/* The mayor's representative in OCP is allways obliged to keeps a link */
/* between mayor and OCP*/
9: true: representative_pco obliged link_mayor_pco until max_time_to_inform.
constitutive_rules
    /*** Agent-Status Functions constitutive rules ***/
/*Actors carry the status functions according to their check in the tables*/
1: Agent count-as mayor
    when checkin(table_ccp,Agent) while not(Other is mayor)|Other==Agent.
2: Agent count-as logistic_cell when checkin(table_logistic_cell,Agent).
3: Agent count-as support_cell when checkin(table_support_cell,Agent).
4: Agent count-as firefighter when checkin(table_fire_brigade,Agent).
/* An actor is the mayor's representative at the OCP */
/* when the mayor sends it naming message */
5: Target count-as representative_pco
    when putTangible(Table,message_tangible,X,Y,Target,represent_mayor_pco)
        [sai__agent (Actor)]
    while Actor is mayor.

    /*** Event-Status Functions constitutive rules ***/
/* The mayor putting the object launch_tangible in the coordinates 1,2 */
/* of any table counts as the command to evacuate the downtown */
6: putTangible(_, launch_tangible,1,2) [sai__agent (Actor)]
    count-as command_evacuation(downtown)
    while Actor is mayor.
/* Firefighter and logistic cell putting the object launch_tangible in the */
/* coordinates 1,2 of any table counts as the evacuation of the downtown */
7: putTangible(_, launch_tangible,1,2) [sai__agent (Actor)]
    count-as evacuate(downtown)
    while Actor is firefighter | Actor is logistic_cell.
/* The support cell putting the object launch_tangible in the coordinates 1,2 */
/* of any table counts as supporting the evacuation of the downtown */
8: putTangible(_, launch_tangible,1,2) [sai__agent (Actor)]
    count-as support_evacuation(downtown)
    while Actor is support_cell.
/* Rules 9 to 11: similar to 6 to 8, but related to the industrial zone */
9: putTangible(_, launch_tangible,3,3) [sai__agent (Actor)]
    count-as command_evacuation(industrial_zone)
    while Actor is mayor.
10: putTangible(_, launch_tangible,3,3) [sai__agent (Actor)]
    count-as evacuate(industrial_zone)
    while Actor is firefighter | Actor is logistic_cell.
11: putTangible(_, launch_tangible,3,3) [sai__agent (Actor)]
    count-as support_evacuation(industrial_zone)
    while Actor is support_cell.
/* The mayor names its representative at the OCP when it sends */
/* a message with the content represent_mayor_pco" */

```

```

12: putTangible(Table,message_tangible,X,Y,From,Target,represent_mayor_pco)
                                     [sai__agent(Actor)]
    count-as name_representative_pco
    while From is mayor.
/* The OCP is linked to mayor when the mayor's representative at OCP */
/* sends him a message with the content "crisis_report" */
13: putTangible(Table,message_tangible,X,Y,From,Target,crisis_report)
                                     [sai__agent(Actor)]

    count-as link_mayor_pco
    while From is representative_pco & Target is mayor.
/* A zone in preventive phase of crisis managment counts as that zone */
/* being secure if (i) it does not pose electrical risks and */
/* (ii) it has at most 500 inhabitants*/
14: security_phase(_,Zone,preventive) count-as secure(Zone)
    while not( AnyState is electric_risky(Zone) ) &
      ((nbInhabit(_,Zone,X) & X<=500) |
       security_phase(_,Zone,preventive) is secure(Zone)).
/* A zone in preventive phase of crisis managment counts as */
/* that zone being insecure if it is electrical risky */
15: security_phase(_,Zone,preventive) count-as insecure(Zone)
    while AnyState is electric_risky(Zone).
/* A zone in emergency phase of crisis managment allways counts as */
/* that zone being insecure */
16: security_phase(_,Zone,emergency) count-as insecure(Zone).
/* A zone is electrical risky if an actor counting as a firefighter */
/* puts the tangible alert_tangible in the coordinates (1,2) */
17: count-as electric_risky(downtown)
    when putTangible(_,alert_tangible,1,2) [sai__agent(Actor)]
    while Actor is firefighter.
/* The deadline to report informations is 60 seconds */
18: nticks(clock,Time) count-as max_time_to_inform
    while (Time mod 60000==0).

```

5. Institution artificielle située appliquée aux problématiques complexes de la gestion de crises

Pour illustrer l'utilisation de notre proposition, nous nous plaçons dans un système de gestion de crises, composé de quatre tables tangibles: *ccp*, *logistic_cell*, *support_cell*, et *fire_brigade*, chacune en lien avec la plateforme JaCaMo² fonctionnant sur différentes machines. Les tables sont utilisées respectivement par le *Poste de commandement communal (CCP)*, la *Cellule logistique (LC)*, la *Cellule de soutien (SC)*, et les *Pompiers (FF)*. Sauf indication contraire, les règles de régulation de l'application suivent les spécifications illustrées en section 4.5. L'ensemble constitue ce que nous appelons par la suite l'institution "gestion de crises", institution artificielle située dans laquelle opèrent ces différents acteurs.

Les acteurs humains représentant le *mayor*, *logistic_cell*, *support_cell*, et *firefighter* se sont identifiés dans le système. Grâce aux règles constitutives 1 à 5, ils sont reconnus comme mettant en œuvre les fonctions statutaires agents correspondantes. Ils collaborent sur deux zones : le centre ville (*downtown*) contenant 300 habitants, et la zone industrielle (*industrial zone*) contenant 400 habitants. Lors du démarrage, ces deux zones sont en "phase préventive".

2. <http://jacamo.sourceforge.net>

Les exemples suivants illustrent comment notre proposition permet une régulation située, tout en gérant des divergences dans les règles constitutives, des incohérences dans les normes, des évolutions environnementales, ou encore permet d'augmenter l'autonomie du système.

5.1. Exemple 1 : interprétation située de la crise

Dans ce premier exemple, nous montrons les possibilités d'interprétation située de la crise au travers du modèle d'IAS. Les organisations qui participent à une gestion de crises peuvent chacune avoir leur vision et interprétation des éléments qui conditionnent l'activation de normes régulant le comportement de leurs acteurs. Au travers de notre approche, elles ont la possibilité d'ancrer les normes régulant les acteurs de leur organisation sur différents faits de l'environnement. Ainsi, par exemple, pour le *Maire*, une zone est sûre chaque fois qu'elle est en phase préventive et que son nombre d'habitants est inférieur à un certain seuil.

```
/* Constitutive rule for Mayor's view */
security_phase(Zone,preventive) count-as secure(Zone)
while (nbInhabit(Zone,X) & X<500) |
    (security_phase(Zone,Phase) is secure(Zone)).
```

Pour les *Pompiers*, par contre, une zone est sûre chaque fois qu'elle est en phase préventive et ne présente pas de risque, par exemple électrique.

```
/* Constitutive rule for Firefighters' view */
security_phase(Zone,preventive) count-as secure(Zone)
while not(electric_risky(Zone)) |
    (security_phase(Zone,Phase) is secure(Zone)).
```

Comme nous le voyons, une zone sûre est donc "constituée" différemment selon les perspectives du *Maire* ou des *Pompiers*.

Comme expliqué en section 2.3 et illustré dans la figure 1, ces règles sont appliquées dans la première étape d'analyse des productions tangibles. Elles enrichissent la description des activités effectuées par chacun des acteurs des organisations et construisent un référentiel commun. Ces descriptions enrichies, ancrées dans le contexte institutionnel commun, seront ensuite exploitées lors de l'étape de coordination.

Cette possibilité d'interprétations multiples ne doit cependant pas se faire au dépend de la cohérence et de l'efficacité. En effet, la coordination doit se fonder sur la même "constitution" de chaque situation (i.e. l'interprétation donnée par l'institution "gestion de crises"). Ainsi, notons dans notre exemple, que les conditions des règles constitutives du *Maire* et des *Pompiers* ne sont pas exclusives (cf. $nbInhabit(Zone, X) \& X < 500$) et $not(electric_risky(Zone))$). Avec les règles constitutives précédentes, des incohérences d'interprétation pourront donc se produire pour un même contexte de l'environnement car l'un considérera la zone comme $secure(zone)$ et l'autre comme $insecure(zone)$. Cela va entraîner des incohérences dans la régulation de leurs actions car la même action peut être considérée

simultanément obligatoire et interdite selon le point de vue des différents acteurs. Par exemple, si le centre ville (`downtown`) a 1000 habitants, que la phase est préventive et qu'il n'y a pas de risque électrique, les pompiers vont considérer qu'il leur est interdit de lancer l'évacuation puisque la zone est sécurisée (norme 3). Pour les pompiers, l'évacuation est du ressort du maire puisqu'il a obligation d'évacuer les zones sécurisées (norme 1). De son côté, le maire ne se considère pas en charge de lancer l'évacuation puisqu'il ne considère pas la zone comme étant sécurisée (i.e. pour le maire, la norme 1 n'est pas active). Ainsi, aucun de ces deux acteurs ne se considère responsable de l'évacuation. Notons que les incohérences introduites par les règles constitutives précédentes, peuvent être résolues en les remplaçant par la règle 14. Une zone sûre dans le contexte de l'institution "gestion de crises" est indépendante des vues particulières des acteurs et organisations. Tout le travail de détection d'incohérences est actuellement réalisé au moment de la conception. La détection et la résolution de telles incohérences en cours d'exécution est une perspective.

5.2. Exemple 2 : modifications découplées des niveaux normatif et constitutif

Une richesse supplémentaire de notre approche est de pouvoir définir des normes en s'appuyant sur les fonctions statutaires et donc de pouvoir spécifier la régulation de la gestion de crises indépendamment de l'environnement dans lequel la crise se déroule. Au travers de la séparation claire entre niveaux constitutifs et normatifs, les règles constitutives peuvent changer (au moment de la conception et de la mise au point ou au moment de l'exécution) sans qu'il soit nécessaire de changer les normes. Ceci assure stabilité aux normes face aux évolutions des éléments de l'environnement qui participent à la définition de ces normes. Par exemple, la manière dont le maire ordonne l'évacuation peut évoluer d'une action tangible sur la table à un envoi de message à la *Cellule logistique (LC)*. Pour introduire un tel changement dans le scénario, nous pouvons simplement remplacer la règle 6 par la règle présentée ci-dessous, sans changer les normes liées à l'ordre d'évacuation (normes 1 et 2) :

```
6: send_message(From,To,`evacuate downtown`)[sai__agent(Actor)]
   count-as command_evacuation(downtown)
   while From is mayor & To is logistic_cell
```

L'opération inverse est également possible : les normes peuvent changer sans changer les règles constitutives. Considérons par exemple la norme 1. Elle indique que le *Maire* a *interdiction* de demander à la *cellule logistique* d'évacuer une zone *risquée*, ce qui signifie pour lui : soit qu'il est en phase d'*urgence* soit qu'il y a un *risque électrique* soit qu'il y a plus de 500 habitants (règles constitutives 8-10). Les règles institutionnelles pourraient évoluer pour tenir compte du risque électrique comme seule condition pour interdire au *Maire* de demander l'*évacuation*. Pour tenir compte de cette évolution, les règles constitutives pourraient rester telles quelles et la norme 1 peut être changée en :

```
electric_risky(Zone) :
  mayor prohibited ask_for_evacuation(Zone, logistic_cell).
```

5.3. Exemple 3 : contextualisation de l'évolution des normes actives

Dans cet exemple, nous montrons comment, en cours d'exécution, l'activation des normes peut tenir compte des évolutions du contexte et mettre en place un règlement situé. Ainsi, par exemple, en phase préventive, le *Maire* est obligé de demander l'évacuation. Lorsque la phase devient une phase d'urgence, le *Maire* et ses subordonnés (ceux de la *Cellule logistique (LC)* et *Cellule soutien (SC)*) ont l'interdiction de s'occuper de l'évacuation et il est obligatoire pour les pompiers de le faire. L'expression de ces deux contextes d'activation de la régulation de l'action d'évacuation est définie comme suit (cf. règle 14 et 16, normes 1, 3 et 2, 4):

- En phase préventive, la propriété environnementale `security_phase(Zone, preventive)` est toujours maintenue. Si la Zone n'est pas `electric_risky` et a (`nbInhabit(Zone, X) & X <= 500`), alors la fonction statutaire `secure(Zone)` est constituée par la règle constitutive 14. En conséquence, les normes 1 et 3 deviennent actives.

- Lors d'une évolution en phase d'urgence, la propriété environnementale précédente est modifiée en `security_phase(Zone, emergency)`. La fonction statutaire `secure(Zone)` n'est plus constituée tandis que la fonction statutaire `insecure(Zone)` devient constituée selon la règle constitutive 16. Ainsi, les normes 1 et 3 sont désactivées tandis que les normes 2 et 4 sont activées.

Comme on le voit, en changeant le contexte (de *préventif* à *urgence*), même si les faits environnementaux sont interprétés avec le même ensemble de règles constitutives les normes actives changent.

5.4. Exemple 4 : contextualisation spatiale des normes actives

La constitution des zones en tant que zones sécurisées ou non sécurisées évoluent en fonction de chacune des zones. Selon les phases de la crise, le nombre des habitants, la présence ou non de risques électriques, ces zones peuvent être qualifiées différemment. Ces qualifications différentes induisent l'activation de normes différentes. Au travers de cette interprétation de l'environnement, il est ainsi possible de spatialiser l'activation des normes. Ainsi, par exemple, si le SIG informe que les propriétés `security_phase(downtown, preventive)` et `security_phase(industrial_zone, emergency)`, le quartier *downtown* est considéré comme sécurisé alors que le quartier *industrial zone* est considéré comme non sécurisé (cf. règles constitutives 14 et 16). Ainsi, l'ensemble des obligations et interdictions découlant des normes sur les différents acteurs est différent selon les zones considérées.

5.5. Exemple 5 : contextualisation du cycle de vie des normes

Comme nous l'avons dit précédemment, pour une expression de norme donnée relative aux actions à réaliser, aux conditions déterminant les activations, violations et

satisfactions, sa mise en œuvre (i.e. cycle de vie) peut être activées par de multiples contextes. C’est ce que nous allons illustrer dans cet exemple.

Dans certaines circonstances, la *Cellule soutien (SC)* est obligée de soutenir la *Cellule logistique (LC)* dans les procédures d’évacuation. Au travers de la règle constitutive 11, une telle obligation est remplie sur la plateforme de collaboration lorsque l’acteur ayant la fonction statutaire de *support_cell* met un *launch_object* à la position adéquate sur la table. Nous pouvons imaginer des normes encore plus contextualisées de sorte que les actions exécutées par la *Cellule soutien (SC)* pour remplir les obligations de *support_evacuation* sont différentes selon la zone à évacuer. Ainsi, par exemple, l’utilisation d’un *launch_object* peut signifier le support à l’évacuation du quartier alors que l’envoi d’un bulletin météo à *Cellule logistique (LC)* peut signifier le support à l’évacuation de la zone industrielle. La règle constitutive 11 peut ainsi être découpée en deux règles comme suit :

```
11a : putTangible(_, launch_tangible, 1, 2) [sai__agent (Actor)]
      count-as support_evacuation (downtown)
      while Actor is support_cell.

11b : putTangible (Table, message_tangible, 3, 3, Target, weather_report)
      [sai__agent (Actor)]
      count-as support_evacuation (industrial_zone)
      while Actor is support_cell & Target is logistic_cell.
```

Cet exemple illustre la contextualisation des satisfactions de normes. La même idée peut être appliquée aux activations, violations de normes par exemple. Ainsi, les normes 5 et 6 sont activées lorsque un ordre d’évacuation a été émis. Dans la règle constitutive 6, un tel ordre est constitué par l’événement correspondant au *mayor* déposant un *launch_object* sur la table. Cette constitution peut être contextualisée de telle sorte, par exemple, que dans certaines circonstances, la commande d’évacuation est constituée soit (i) par des actions autres que le dépôt d’un *launch_object*, soit (ii) par la même action mais déclenchée par d’autres acteurs que le maire.

5.6. Exemple 6 : affectation des normes indépendante des actions des acteurs concernés

Il peut arriver que dans certains cas, les acteurs puissent contrôler la fonction statutaire agent qu’ils portent et donc par conséquent qu’ils puissent contrôler leurs engagements normatifs. Par exemple, les acteurs n’ont aucune obligation et interdiction ciblées sur les pompiers à moins qu’ils ne s’enregistrent sur la *table_fire_brigade* (règle constitutive 4).

Cependant, la constitution que propose le modèle d’IAS que nous utilisons, permet d’affecter des fonctions statutaires agents aux acteurs même si ces derniers n’en ont pas l’intention. Ainsi, par exemple, la règle constitutive 5 implique qu’un acteur devient *representative_pco* – recevant ainsi de nouvelles obligations – du fait d’une action réalisée par le maire.

5.7. Exemple 7 : renforcement de l'autonomie des systèmes

Dans cet exemple, nous illustrons comment la fonction du système de gestion de crises peut évoluer d'une fonction purement éducative, où les acteurs prennent en charge toutes les actions, en une fonction d'aide plus active et autonome avec automatisation de certaines actions (cf. Section 2).

Supposons que le *Maire* a été informé d'une inondation dans une zone donnée. Dans ce contexte, le *Maire* a pour obligation de réaliser la constitution de la fonction statutaire événement :

```
putTangible(_, tangibleObject1, X_zone, Y_zone, Actor)
  count-as ask_for_evacuation(Zone, logistic_cell)
  while Actor is mayor.
```

Ceci exprime le fait que le *Maire*, grâce à un objet tangible, devrait explicitement entreprendre les actions nécessaires. Dans un contexte où le système est plus autonome, au contraire, la tâche `ask_for_evacuation(Zone, logistic_cell)` serait entreprise par le système si la règle constitutive 5 est définie comme suit:

```
get_information(flood, Zone, Agent)
  count-as ask_for_evacuation(Zone, logistic_cell)
  while Agent is mayor.
```

6. Travaux liés et discussions

Ce papier a mis en avant l'utilisation des Institutions Artificielles Situées au sein d'un SMA normatif, hybride et mixte afin de réguler la collaboration d'humains dans le cadre de la gestion de crises. La conception proposée s'appuie sur l'analyse de différents domaines de recherche. Dans ce qui suit, nous rappelons brièvement les particularités de la collaboration humaine dans le cadre de la gestion de crises et dressons quelques réponses issues du domaine du *Computer Supported Collaborative Work* (CSCW). Nous montrons ensuite les liens avec des préoccupations centrales de la cognition distribuée, sociale et située. Nous terminons par une discussion sur les valeurs ajoutées des SMA normatifs et plus particulièrement des Institutions Artificielles Situées.

La gestion de crises est une activité collaborative complexe qui implique la participation de multiples acteurs et organisations souvent distribués spatialement et temporellement, avec des perceptions locales, des buts et des politiques qui peuvent être divergents (Oomes, 2004). Les participants doivent disposer de procédures claires pour se coordonner et agir dans ces environnements dégradés, exposés à des contraintes critiques. La non connaissance mutuelle de ces règles rend difficile la mise en place par les acteurs d'une réponse cohérente.

Les plateformes actuelles proposent souvent des outils de communication simple (e.g. Google Wave ou Wiki) donnant une réponse dans des contextes clairement définis

et fermés. Leur adaptation dans un cadre de gestion de crises est possible dans le cas de routines de secours bien définies et ne tolèrent souvent pas d'exceptions (Franke, Charoy, 2010). Dans les travaux du CSCW appliqués à cette problématique (Pipek *et al.*, 2014), une attention particulière a été accordée à la prise en compte du contexte avec un focus sur les politiques qui régulent le travail distribué (Robert, 2012), sur le partage d'un environnement physique commun (Shaer, Hornecker, 2009). Notre proposition s'appuie également sur un environnement physique partagé mais aussi sur un partage de normes liées à des organisations. L'utilisation de supports tangibles permet la mise en place d'une activité flexible et opportuniste. Bien que certains travaux existants utilisent la métaphore agent pour représenter des objets tangibles (Kubicki *et al.*, 2013 ; Lebrun *et al.*, 2010), nous considérons que les agents *jouent avec* ces objets puisque l'autonomie est sur l'acteur qui manipule l'objet tangible plus que sur l'objet tangible lui-même. Des retours virtuels mettent en avant les manques possibles, les incohérences entre politiques et favorisent la mise en place d'une conscience organisationnelle partagée (Thévin *et al.*, 2014). Une approche multi-agent normative, hybride et mixte est bien adaptée à la mise en place de tels principes. Nous avons également proposé différents espaces de modélisation pour prendre en compte la composante physique de production et de communication ainsi que la composante organisationnelle de coordination.

Une contribution supplémentaire de notre travail est de situer ces différentes normes dans l'environnement physique, i.e. de coupler la sémantique de l'organisation et de ses normes avec les éléments de l'environnement physique (Aldewereld *et al.*, 2010). Dans (Dastani *et al.*, 2013), il est proposé de lier des faits environnementaux à la dynamique des éléments de régulation plutôt qu'à des concepts institutionnels. Bien que ceci puisse permettre de spécifier qu'une interaction tangible "counting as" par exemple une violation de norme, il n'est pas possible, comme nous le proposons ici, de spécifier qu'une telle interaction "counts as" une évacuation. Une telle approche limite la flexibilité souhaitée puisqu'il est nécessaire de lier toutes les normes de l'environnement (même celles faisant référence au même fait environnemental). Par exemple, les deux normes 3 et 4 de la Section 4.5 font référence à la même action *evacuate(Zone)*. Si ces faits environnementaux étaient liés à la dynamique de ces normes au lieu d'être liés au concept *evacuation*, il serait nécessaire de définir explicitement que le même fait environnemental conduit à la satisfaction de la norme 3 et à la violation de la norme 4. Une autre proposition (Campos *et al.*, 2009 ; Piunti *et al.*, 2010 ; De Brito *et al.*, 2013) consiste à traiter ce problème de positionnement dans l'environnement comme un problème d'interopérabilité entre l'environnement et l'institution. Ceci se limite à concevoir des interfaces permettant à l'environnement d'informer les éléments de régulation sur ce qui devrait se passer dans l'institution. La signification institutionnelle du fait environnemental est donnée par les éléments régulateurs lorsqu'ils acquièrent les informations issues des interfaces. Ceci limite la clarté de la coordination selon la perspective des acteurs puisque, pour connaître les conséquences des faits environnementaux, les acteurs doivent connaître comment la plateforme de régulation gère les informations reçues. Une troisième approche, proposée dans (Aldewereld *et al.*, 2010), en lien avec (Grossi *et al.*, 2006), relie les éléments

de l'environnement avec des concepts institutionnels mais pas à la sémantique de ces concepts. Dans ce cas, par exemple, alors qu'il est possible d'établir qu'un élément de l'environnement "counts as" une *évacuation*, il n'est dit nulle part si une *évacuation* est un événement, un agent ou autre chose. A la différence de cette approche, l'approche d'IAS donne une sémantique institutionnelle aux éléments de l'environnement et les relie également à la sémantique des normes.

7. Conclusion et perspectives

Comme nous l'avons montré dans les exemples de notre application en section 5, l'approche proposée répond à deux préoccupations rencontrées dans la conception d'un outil de gestion de crises : une expression claire de la coordination (Dugdale *et al.*, 2010) et une préservation de la flexibilité, exigences toutes deux nécessaires mais souvent non conciliables (Franke, Charoy, 2010). Notre proposition permet plus précisément de répondre aux questions de divergences d'interprétations, d'incohérences de normes, d'évolution de contexte et de niveau d'autonomie au sein du système. Ceci est mis en place facilement grâce à deux niveaux de modélisation distincts (Aldewereld *et al.*, 2010), exprimés de manière déclarative : le niveau constitutif, et le niveau normatif. Plus généralement, la modélisation que nous proposons rend le traitement des normes sensible au contexte, résolvant ainsi le compromis flexibilité-déclarativité : les changements dans l'environnement physique vont lancer le déclenchement de règles constitutives, activant à leur tour les normes correspondantes.

Nos travaux futurs concerneront la modélisation de l'ensemble des normes impliquées dans les activités de production et de communication permettant ainsi de mettre en place la totalité des interactions mixtes dans le SMA normatif, hybride et situé au centre duquel se place la conscience organisationnelle partagée.

Remerciements

Les auteurs remercient les membres de l'IRMa (Institut des Risques Majeurs de Grenoble) pour leur collaboration et également les soutiens accordés par CAPES (PDSE 4926145), CNPq (contrats 448462/2014-1 et 306301/2012-1) et l'ARC 6 Région Rhône-Alpes (ARC-13-009716-01, ARC- 13-01015201).

Bibliographie

- Aldewereld H., Napagao S. Álvarez, Dignum F., Vázquez-Salceda J. (2010). Making norms concrete. In W. van der Hoek, G. A. Kaminka, Y. Lespérance, M. Luck, S. Sen (Eds.), *9th international conference on autonomous agents and multiagent systems (aamas 2010), toronto, canada, may 10-14, 2010, volume 1-3. ifaamas*, p. 807–814.
- Boella G., Torre L. van der, Verhagen H. (2008). Introduction to the special issue on normative multiagent systems. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, vol. 17, n° 1, p. 1-10. <http://dx.doi.org/10.1007/s10458-008-9047-8>

- Campos J., López-Sánchez M., Rodríguez-Aguilar J. A., Esteva M. (2009). Coordination, organizations, institutions and norms in agent systems iv : Coin 2008 international workshops, coin@aamas 2008, estoril, portugal, may 12, 2008. coin@aaai 2008, chicago, usa, july 14, 2008. revised selected papers. In J. F. Hübner, E. Matson, O. Boissier, V. Dignum (Eds.), p. 126–139. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-00443-8_9
- Dastani M., Torre L., Yorke-Smith N. (2013). Coordination, organizations, institutions, and norms in agent systems viii: 14th international workshop, coin 2012, held co-located with aamas 2012, valencia, spain, june 5, 2012, revised selected papers. In H. Aldewereld, J. S. Sichman (Eds.), p. 17–34. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-37756-3_2
- De Brito M., Hübner J. F., Boissier O. (2014). Computational logic in multi-agent systems: 15th international workshop, clima xv, prague, czech republic, august 18-19, 2014. proceedings. In N. Bulling, L. Torre, S. Villata, W. Jamroga, W. Vasconcelos (Eds.), p. 35–51. Cham, Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-09764-0_3
- De Brito M., Hübner J. F., Boissier O. (2015). Progress in artificial intelligence: 17th portuguese conference on artificial intelligence, epia 2015, coimbra, portugal, september 8-11, 2015. proceedings. In F. Pereira, P. Machado, E. Costa, A. Cardoso (Eds.), p. 624–637. Cham, Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-23485-4_63
- De Brito M., Hübner J. F., Bordini R. H. (2013). Coordination, organizations, institutions, and norms in agent systems viii: 14th international workshop, coin 2012, held co-located with aamas 2012, valencia, spain, june 5, 2012, revised selected papers. In H. Aldewereld, J. S. Sichman (Eds.), p. 158–173. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-37756-3_10
- Dugdale J., Bellamine-Ben Saoud N., Pavard B., Pallamin N. (2010). Simulation and Emergency Management. In B. Van de Walle, M. Turoff, S. R. Hiltz (Eds.), *Information Systems for Emergency Management*, vol. 16. M.E. Sharpe. <https://hal.inria.fr/hal-00952168> (Part IV. Systems Design and Technology (Chap. 10))
- Franke J., Charoy F. (2010). Design of a collaborative disaster response process management system. In *9th international conference on the design of cooperative systems (coop'2010)*.
- Garbay C., Badeig F., Caelen J. (2012). Normative multi-agent approach to support collaborative work in distributed tangible environments. In S. E. Poltrock, C. Simone, J. Grudin, G. Mark, J. Riedl (Eds.), *CSCW 12*, p. 83–86. ACM. <http://doi.acm.org/10.1145/2141512.2141548>
- Grossi D., Aldewereld H., Vázquez-Salceda J., Dignum F. (2006). Ontological aspects of the implementation of norms in agent-based electronic institutions. *Computational & Mathematical Organization Theory*, vol. 12, n° 2-3, p. 251–275. <http://dx.doi.org/10.1007/s10588-006-9546-6>
- Kubicki S., Lebrun Y., Lepreux S., Adam E., Kolski C., Mandiau R. (2013). Simulation in contexts involving an interactive table and tangible objects. *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 31, p. 116 - 131.
- Kubicki S., Lepreux S., Kolski C. (2012). Rfid-driven situation awareness on tangisense, a table interacting with tangible objects. *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 16, n° 8, p. 1079-1094.

