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

Maiquel De Brito[a] maiquel.b@posgrad.ufsc.br
Lauren Thevin[b] lauren.thevin@imag.fr
Catherine Garbay[b] Catherine.Garbay@imag.fr
Olivier Boissier[c] olivier.boissier@emse.fr
Jomi F. Hübner[a] jomi.hubner@ufsc.br

[a]PPGEAS/Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, Brazil

[b]LIG/Université de Grenoble, Grenoble, France

[c]Laboratoire Hubert Curien UMR CNRS 5516, Institut Henri Fayol, Mines Saint-Etienne, Saint-Etienne, France

Résumé

Ce document propose l'utilisation d'une institution artificielle située (SAI) au sein d'un système multi-agent normatif, interactif, et hybride pour réguler la collaboration humaine dans une situation de gestion de crises. Les normes permettent de réguler les actions des acteurs humains en fonction de la dynamique de l'environnement dans lequel ils sont situés. Cette dynamique provient à la fois de l'évolution de l'environnement et de l'activité des acteurs. Notre objectif est de coupler les normes et les caractéristiques de l'environnement pour proposer une régulation de crises ancrée dans le contexte. En ajoutant un niveau constitutif entre l'environnement et les normes, l'utilisation de SAI permet la mise en place d'un couplage lâche entre ces deux éléments. Ainsi, les normes ne se réfèrent plus à des faits environnementaux, mais aux fonctions statutaires, c'est-à-dire à l'interprétation institutionnelle des faits environnementaux selon des règles constitutives. Nous montrons comment cette modélisation déclarative et distincte permet de gérer l'interprétation des événements, tout en tenant compte du contexte organisationnel.

Mots-clés : *Institutions artificielles situées, système normatif, Interaction tangible, gestion de crises*

Abstract

This paper highlights the use of Situated Artificial Institution (SAI) 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. This dynamics result both from environment evolution and actors' actions. Our objective is to couple norms to environment state to provide a context aware crisis regulation. Introducing a constitutive level between the environment state and the normative one, SAI provides a loosely coupling of norms with the environment. Norms are thus no more referring to environmental facts but to status functions, i.e. institutional interpretation of environmental facts through constitutive rules. We present how this declarative and distinct SAI modelling succeeds in managing the interpretation of the events while taking into account organizational context.

Keywords: *Situated Artificial Institutions, Normative System, Tangible Interaction, Crisis Management*

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 oeuvre une collaboration complexe et décentralisée entre de multiples acteurs et organisations (e.g. pompiers, policiers, citoyens). Tous se coordonnent dans un environnement fortement dynamique et incertain afin de prendre 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. Habités d'une même volonté, nous sommes actuellement impliqués dans le développement d'une plateforme s'appuyant sur des surfaces tangibles afin de médier les interactions opportunistes entre les différents acteurs distants impliqués. Afin de prendre en compte et mettre en oeuvre les politiques et normes de ges-

tion de crises utilisées pour coordonner les actions collectives des acteurs, nous avons proposé l'utilisation de systèmes multi-agents normatifs pour définir un système socio-technique [20] 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 par des normes et des organisations (i.e *système normatif*). Ces trois dimensions sont bien adaptées pour répondre aux verrous soulevés par les systèmes de gestion de crises tels que nous les avons décrits ci-dessus.

Ce papier aborde plus particulièrement une caractéristique supplémentaire et importante à considérer pour développer de tels systèmes. Elle concerne le couplage entre la régulation par les normes et l'environnement physique dans lequel la crise se déroule. Ancrer les normes et la régulation dans l'environnement doit être réalisé d'une manière flexible et facilement modifiable afin de faire face à des situations de crises changeantes et complexes. En fait, deux problèmes peuvent se produire : (*i*) divergences dans l'interprétation des événements issus de l'environnement, dépendant du contexte, du rôle de l'acteur ou de l'organisation à laquelle il appartient, (*ii*) incohérences dans les interventions humaines du fait de normes d'organisations différentes et donc sources possibles de conflits. C'est la raison pour laquelle, comme proposé dans [7], nous nous tournons vers les *Institutions Artificielles Situées* (SAI) qui offrent, comme nous l'expliquons et l'illustrons dans ce qui suit, des abstractions et primitives adaptées pour résoudre ce problème. Dans ce papier, nous ne présentons pas une version complète d'une application réalisée via une SAI. Nous nous sommes focalisés sur la production d'un prototype montrant ce que cette approche (ancrage des normes dans l'environnement au travers de règles constitutives) peut apporter au développement d'applications réelles de gestion de crises.

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'application que nous développons. La section 3 définit une Institution Artificielles Située. La section 4 présente comment la notion de SAI a été utilisée et mise en place pour répondre aux besoins de la section 2. La section 5 décrit l'exécution d'un scénario sur l'implémentation réalisée. En section 6, avant de conclure, nous comparons notre proposition vis-à-vis des approches existantes.

2 Besoins et Démarche suivie

Afin de motiver la démarche suivie pour notre proposition, nous présentons une étude de cas extraite de l'application de gestion de crises envisagée. A partir des exigences et besoins ainsi illustrés, nous donnons les dimensions qui soutiennent notre démarche consistant en une approche située pour soutenir l'activité de collaboration médiée par la machine.

2.1 Etude de cas

Le fil conducteur retenu pour la présentation de notre proposition est un exemple simplifié d'évacuation de zone dans un contexte de crue. Les acteurs, dans cette activité, sont organisés en trois groupes : le *Poste de Commandement Communal (CCP)*, placé sous la responsabilité du *Maire*, la *cellule logistique (LC)* placée sous la responsabilité du *CCP*, et les *pompiers (FF)*. Ces acteurs interviennent au cours de deux phases successives – prévention et urgence – qui sont régies par des politiques spécifiques. En phase *préventive*, le *Maire* demande à *LC* d'évacuer les *zones sûres*. *FF* est au contraire responsable de l'organisation de l'évacuation lorsqu'une *situation risquée* survient, et durant la phase d'*urgence*, au cours de laquelle la zone est considérée comme *risquée*. Une zone *sûre* est viable au plan de la sécurité, car des personnels non professionnels (*Maire* et *LC*) peuvent effectuer l'évacuation. Les zones *risquées*, non viables au plan de la sécurité, impliquent l'intervention de professionnels comme *FF* pour réaliser l'évacuation.

Ces acteurs travaillent selon des politiques et des normes variées. Une de ces politiques spécifie notamment qu'il doit y avoir un seul groupe d'acteurs à un instant donné pour gérer l'évacuation. Selon la phase (*prévention* ou *urgence*), et selon le statut de la zone (*sûre*, *risquée*), un seul acteur, *LC* ou *FF*, sera en charge d'intervenir. Cependant, qualifier une zone de *sûre* ou *risquée* peut être source de conflit. Pour les membres du *CCP*, 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 membres du groupe *FF*, 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 consi-

dérer que c'est à *FF* d'intervenir, alors que *FF* va considérer le contraire : 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 va en résulter une évolution des politiques d'intervention. En conséquence, la validité de certains faits comme "demander l'*évacuation* d'une zone" va changer. Ceci illustre un enjeu supplémentaire lié à l'évolution possible des normes à considérer.

2.2 Dimensions de l'étude

Comme nous l'avons vu, la gestion de crises est une activité collaborative où les acteurs humains doivent intervenir de manière efficace 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 (MAS), montre qu'un système d'aide à la gestion de crises doit être conçu en répondant à trois dimensions fondamentales, comme *hybride*, *mixte* et *normatif*.

– **Système Hybride** : la 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 (e.g. information, sécurisation, ravitaillement, hébergement), au sein d'environnement hautement dynamiques et incertains. Etant donné le caractère distribué et décentralisé inhérent à la gestion de crises, une approche multi-agent apparaît bien adaptée : les acteurs humains et artificiels sont considérés comme des agents interagissant au sein d'un environnement partagé sous le contrôle de politiques de régulation et de coordination qui sont dépendantes des organisations et du contexte.

– **Système Mixte** : Pour faire face au caractère distribué de la gestion de crises, le système est déployé sur un réseau de tables TangiSense [13] 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 de simulations ainsi que des retours virtuels liés aux objets tangibles. Le choix de cette technologie est motivé par sa capacité à soutenir une activité flexible et opportuniste. Pour garantir le *partage des contextes organisationnels* [10], 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.

– **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 [8]. Des politiques cohérentes sont nécessaires pour réguler correctement ces activités. Les normes et les systèmes normatifs, tels que définis dans [2] apportent le niveau d'abstraction et les mécanismes appropriés pour exprimer ces politiques et réguler l'activité décentralisée d'agents oeuvrant 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. Il s'agit 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). Il est également nécessaire 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*). Ces trois types d'activités font référence aux espaces classiquement envisagés dans le domaine des collecticiels [12].

2.3 Démarche

Selon les trois dimensions présentées précédemment, la gestion de crises sera soutenue par un système multi-agent hybride et normatif médiant et régulant des interactions mixtes entre acteurs humains et artificiels. Trois spécifications normatives doivent être considérées pour tenir compte des trois espaces d'activité concernés : espaces de *production*, de *coordination* et de *communication* [12]. Notre objectif est d'ancrer ces spécifications dans l'environnement tout en préservant leur indépendance vis-à-vis du monde physique. Dans ce but, nous introduisons un niveau intermédiaire formalisé

Espace/Niveau	*Faits*	*Règles d'interprétation*	*Faits interprétés*	*Normes*
Production	Entrée tangible	Règles de reconnaissance de pattern	Patron	Validités des Patrons
Coordination	Patron	Règles constitutives	Faits institutionnels	Validité des Faits institutionnels
Communication	Validité des Patrons et des faits institutionnels	Règles de virtualisation	Fait virtuel	Génération des retours virtuels

FIGURE 1 – Ancrage des normes de production, de coordination et de communication dans l'environnement

par des règles d'interprétation et des faits interprétés, associant les mondes physiques (i.e. *Faits*) et organisationnels (i.e. *Normes*). Nous aboutissons ainsi à la décomposition présentée dans le tableau de Fig. 1 pour chaque espace d'activité. La première étape (cf. Fig. 1 – ligne Production) consiste à interpréter les entrées tangibles comme des patrons d'activité qui peuvent être valides ou non au sens de la spécification de l'activité de production (e.g. cette entrée tangible est-elle une interaction valide ?). Ces patrons sont ensuite interprétés (cf. Fig. 1 – ligne Coordination) comme des faits interprétés qui peuvent être valides ou non au sens de la spécification de l'activité de coordination (e.g. cette activité est-elle conforme aux missions et rôles actuels de l'acteur ?). Enfin, à partir de ces deux interprétations, un fait virtuel est généré (cf. Fig. 1 – ligne Communication) 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. Fig. 1 – ligne Coordination) et considérons les divergences possibles entre l'interprétation par le *Maire* ou les *FF* de la notion de zone sûre. Ceci pourra être modélisé par le biais de deux règles d'inteprétation, exprimant des relations possibles entre des propriétés physiques de l'environnement et le fait interprété *zone sûre*, tout en préservant la possibilité d'une spécification normative indépendante et partagée par les deux acteurs, relative à la gestion des zones sûres. 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.

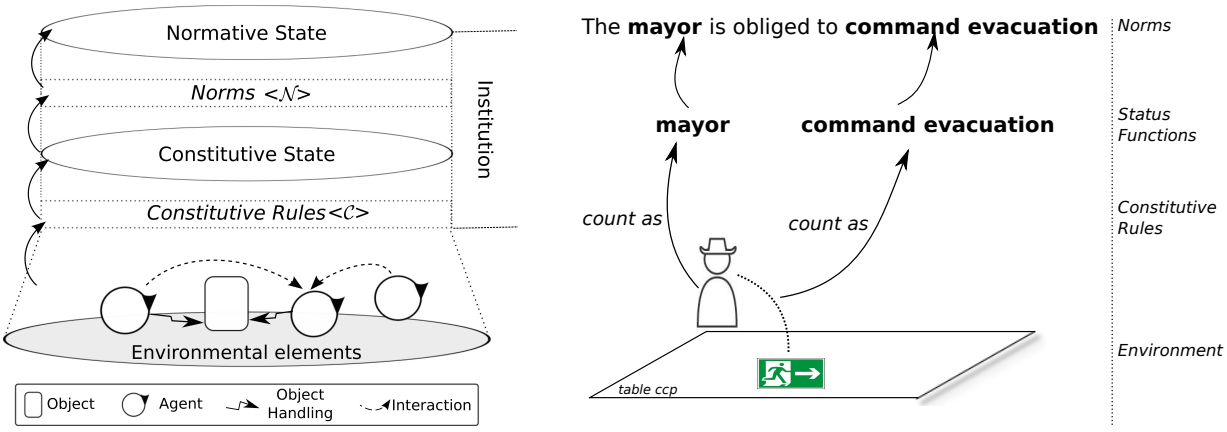
Nous examinons dans la section suivante comment formaliser et implémenter ces spécifications, en nous focalisant sur l'espace de *coordination*.

3 Institution artificielle située

Le modèle d'institution artificielle située (SAI) est constitué d'*éléments environnementaux*, de *fonctions statutaires*, de *règles constitutives* et de *normes*, visant à permettre une régulation d'un SMA à partir de faits issus de l'environnement (cf. Fig. 2(a)) [7]. Comme dans la dimension "système normatif", les normes définissent les obligations, permissions et interdictions des agents. Elles font référence ici à un niveau abstrait qui ne fait pas directement référence à l'environnement. Par exemple, une norme qui stipule 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. La réalisation effective d'une norme dépend de sa connexion à l'environnement puisque sa dynamique (activation, satisfaction, etc) est le résultat de faits qui s'y produisent. Nous verrons ci-dessous comment SAI aborde ces aspects.

Eléments environnementaux Les éléments environnementaux sont représentés par $\mathcal{X} = \{\mathcal{A}_\mathcal{X}, \mathcal{E}_\mathcal{X}, \mathcal{S}_\mathcal{X}\}$ tels que (*i*) $\mathcal{A}_\mathcal{X}$ est l'ensemble des agents qui peuvent agir dans le système, (*ii*) $\mathcal{E}_\mathcal{X}$ est l'ensemble des événements qui peuvent se produire dans l'environnement et (*iii*) $\mathcal{S}_\mathcal{X}$ est l'ensemble des propriétés utilisées pour décrire les états possibles de l'environnement.

Fonctions statutaires Les fonctions statutaires d'une SAI sont formellement représentées par $\mathcal{F} = \mathcal{A}_\mathcal{F} \cup \mathcal{E}_\mathcal{F} \cup \mathcal{S}_\mathcal{F}$, où (*i*) $\mathcal{A}_\mathcal{F}$ est l'ensemble des fonctions statutaires agents (i.e. qui peuvent être affectées à des agents), (*ii*) $\mathcal{E}_\mathcal{F}$ est l'ensemble des fonctions statutaires événements (i.e. qui peuvent être affectées à des événements), et (*iii*) $\mathcal{S}_\mathcal{F}$ est l'ensemble des fonctions statutaires états (i.e. qui peuvent être affectées à des états).
Les fonctions statutaires sont des fonctions que des éléments de l'environnement (agents, événements, états) remplissent selon une perspective institutionnelle [18]. Un agent devient le maire si l'institution le considère comme tel



(a) Vision générale abstraite

(b) Vision générale appliquée à la gestion de crises

FIGURE 2 – Vision générale de SAI

(ceci ne dépend pas uniquement des compétences de l'agent). De manière similaire, l'institution peut considérer l'événement issu d'un agent "signal d'alarme" comme étant un "ordre d'évacuation" ou une "alerte incendie" dans 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 signifier, dans l'institution, que la zone est à haut risque en cas de crise).

Règles constitutives Une règle constitutive $c \in \mathcal{C}$ est un n-uplet $\langle x, y, t, m \rangle$ signifiant que $x \in \mathcal{F} \cup \mathcal{X} \cup \{\varepsilon\}$ "counts as" [1] (i.e. a la fonction statutaire) $y \in \mathcal{F}$ quand l'événement $t \in \mathcal{E}_{\mathcal{F}} \cup \mathcal{E}_{\mathcal{X}} \cup \top$ a eu lieu et tant que l'état m est vrai dans l'environnement ou dans l'institution. [2] Si une fonction statutaire y est affectée à x, nous disons que x *constitue* y.

Normes Les normes dans une SAI sont des n-uplet de la forme $\langle c, a, d, i, o, \rho \rangle$ où (*i*) c est la condition d'activation de la norme, exprimée par des fonctions statutaires événements ou états ; (*ii*) a est la fonction statutaire agent pointant sur les agents ciblés par la norme ; (*iii*) $d \in \{obliged, prohibited, permitted\}$ est l'opérateur déontique de la norme ; (*iv*) i est l'objet de la norme exprimé par une fonction statutaire soit événement, soit état ; (*v*) o est une fonction statutaire événement ou état, optionnelle, qui est constituée comme conséquence de la non conformité d'une norme et (*vi*) ρ est une fonction statutaire optionnelle événement ou état pointant sur la date limite de la satisfaction de la norme.

4 SAI pour la gestion de crises

L'étude de cas décrite dans la section 2 est réalisée avec le SMA normatif hybride déployé sur un réseau de tables tangibles soutenant les interactions mixtes [3]. L'environnement dans lequel les agents interagissent correspond donc à des événements et états produits par les actions des acteurs humains sur les tables. Étant donné que l'action des agents sur l'environnement n'a pas en soi un sens dans la gestion de crises, les règles constitutives d'une SAI permettent d'*institutionnaliser* des faits survenus dans l'environnement, et de leur donner leur propre sens 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 du scénario qui est, en définitive, la régulation des activités des agents dans l'environnement (cf. Fig. 2(b)). La section 4.1 décrit les aspects pertinents de l'environnement dans le cas d'étude proposé. Les sections 4.2 à 4.4 donnent la spécification de SAI pour notre cas d'étude (cf. Fig. 3). Ces éléments exprimés avec le langage de définition de SAI proposé dans [7], permettent de donner du sens aux interactions tangibles et de les réguler.

1. Par la suite nous préférons utiliser l'expression "count-as" dans sa version originelle plutôt que sa traduction.

2. ε exprime le fait que l'élément n'est pas présent dans la règle constitutive. Dans ce cas, la règle constitutive réalise un assignement libre (*freestanding assignment*) [18, 7]. Lorsque $t = \top$, l'affectation ne dépend d'aucun événement.

3. La plateforme logicielle utilisée est une version de JaCaMo [3], étendue à SAI et aux surfaces tangibles.

4.1 Environnement

L'environnement est composé de l'ensemble (éventuellement distribué) des équipements tangibles impliqués dans l'application. Du point de vue de la SAI, les agents appartiennent également à l'environnement. En dépit de la possible complexité de l'environnement, les éléments pertinents sont dans notre cas les événements survenus et les états reposant sur ces événements.

Parmi tous les événements qui peuvent se produire dans l'environnement, ceux qui sont pertinents ici sont (*i*) `checkin(AgentID, TableID)`, déclenché lorsque l'agent `AgentID` s'identifie sur la table `TableID`, et (*ii*) `putTangible(TableID, TangiID, X, Y, AgentID)`, déclenché lorsque l'agent `AgentID` met un tangible `TangiID` sur les coordonnées (X, Y) de `TableID`.

Les propriétés environnementales pertinentes qui composent l'état de l'environnement, fournies par des bases de données, GIS, etc., 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 $Phase \in \{preventive, emergency\}$.

4.2 Fonctions statutaires

Les dynamiques environnementales décrites en section 4.1 animent la dynamique institutionnelle en faisant appel à la constitution des fonctions statutaires. La spécification en Fig. 3 spécifie les fonctions statutaires pertinentes du cas d'étude 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 CCP (`ccp_member`), (*iii*) membre du LC (`logistic_cell`) et (*iv*) `firefighter`.
– Les **fonctions statutaires événements** définissent que les événements survenant dans l'environnement peuvent signifier dans l'institution (*i*) de demander à un `Evacuator` d'évacuer une `Zone` (`ask_for_evacuation(Zone,Evacuator)`), et (*ii*) l'évacuation d'une `Zone` (`evacuate(Zone)`).
– 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)`), et

```
status_functions:
  agents: mayor, ccp_member, logistic_cell, firefighter.
  events: ask_for_evacuation(Zone,Evacuator), evacuate(Zone).
  states: secure(Zone), insecure(Zone), electric_risky(Zone).
norms:
/*The mayor is prohibited to ask Logistic Cell to evacuate insecure zones*/
1: insecure(Zone): mayor prohibited ask_for_evacuation(Zone,logistic_cell).
/*The mayor is permitted to ask Logistic Cell to evacuate secure zones*/
2: secure(Zone): mayor permitted ask_for_evacuation(Zone,logistic_cell).
/*The firefighter is obliged to evacuate insecure zones*/
3: insecure(Zone): firefighters obliged evacuate(Zone).
/*Firefighters are prohibited to evacuate secure zones*/
4: secure(Zone): firefighter prohibited evacuate(Zone).
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 firefighter when checkin(table_fire_brigade,Agent).
4: mayor count-as ccp_member.
/*** Event-Status Functions constitutive rules ***/
/*Mayor putting tangibleObject1 on (15,20) means asking to LC to evacuate
   the downtown*/
5: putTangible(_,tangibleObject1,15,20,Actor)
   count-as ask_for_evacuation(downtown,logistic_cell) while Actor is mayor.
/*LC putting tangibleObject2 on (15,20) means LC is evacuating the downtown*/
6: putTangible(_,tangibleObject2,15,20,Actor)
   count-as evacuate(downtown) while Actor is logistic_cell.
/*FF putting tangibleObject3 on (15,20) means FF is evacuating the downtown*/
7: putTangible(_,tangibleObject3,15,20,Actor)
   count-as evacuate(downtown) while Actor is firefighter.
/*** State-Status Functions constitutive rules ***/
/*A zone in preventive phase is secure if it does not pose electrical risks
   and it has at most 500 inhabitants*/.
8: security_phase(Zone,preventive) count-as secure(Zone)
   while not(electric_risky(Zone)) &
         ((nbInhabit(Zone,X)& X<=500) |
          (phase(Zone,preventive) is secure(Zone)))
/*A zone in preventive phase is insecure if it poses electrical risks*/.
9: security_phase(Zone,preventive)
   count-as insecure(Zone) while electric_risky(Zone).
/*A zone in emergency phase insecure*/
10: security_phase(Zone,emergency) count-as insecure(Zone).
/*The downtown is electric risky if the firefighter puts the tangible
   tangibleObject4 on (15,20)*/
11: count-as electric_risky(downtown)
    when putTangiNote(_,tangibleObject4,15,20,Actor)
    while Actor is firefighter.
```

FIGURE 3 – Spécification normative et constitutive de l'étude de cas

(*iii*) une `Zone` présente un risque électrique (`electrical_risky(Zone)`).

4.3 Règles constitutives

Comme pour les fonctions statutaires, trois ensembles de règles constitutives sont considérés :
- Règles constitutives des fonctions statutaires agents Les règles 1 à 3 (cf. Fig. 3) précisent que les fonctions statutaires agents de `mayor`, `logistic_cell` et *firefighter* sont constituées par les agents qui se sont inscrits 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 4 postule que l'agent portant la fonction statutaire de `mayor` porte également la fonction statutaire de membre du (`ccp_member`).
- Règles constitutives des fonctions statutaires événements Les règles 5 à 7 (cf. Fig. 3) définissent que certaines interactions tangibles signifient, d'un point de vue institutionnel, une

demande d'évacuation et une évacuation. Ce sens est conditionné par l'objet tangible utilisé durant l'interaction et ainsi que par l'acteur qui exécute l'interaction.

- Règles constitutives des fonctions statutaires états Selon la règle 8 (cf. Fig. 3), la propriété `security_phase(Zone,preventive)` définit les cas où la zone est assez sécuritaire 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 sure) 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 sure 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 9 et 10 définissent une zone `insecure(zone)` du point de vue institutionnel. La règle 11 définit ce qui constitue une zone à risque électrique. Elle réalise un assignement libre puisqu'il n'y a pas d'élément concret dans l'environnement pour porter les fonctions statutaires.

4.4 Normes

Les normes décrites en Fig. 3 définissent des autorisations, 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 au contraire, à des fonctions statutaires. Par exemple, la norme 2 permet à tout agent porteur de la fonction statutaire de *maire* d'exécuter des actions dont la signification dans l'institution correspond à un événement de demande à la *LC* d'effectuer une évacuation.

5 Contributions de la régulation avec SAI gestion de crises

Pour illustrer l'utilisation pratique de SAI dans notre application de gestion de crises, nous nous plaçons dans un système composé de trois tables tangibles : `ccp`, `logistic_cell`, et `fire_brigade`, éventuellement distibuées, utilisées respectivement par le *CCP*, la *cellule logistique*, et les *pompiers*. Sauf indication contraire, les règles de régulation de l'application suivent les spécifications illustrées en Fig. 3.

Les acteurs humains représentant le `mayor`, `logistic_cell`, et `firefighter` se sont identifiés dans le système, mettant alors en œuvre les fonctions statutaires agents appropriées selon les règles constitutives 1 à 4. Ils collaborent sur une zone contenant 300 habitants. Lors du démarrage, ils sont en phase préventive. Les exemples suivants illustrent comment l'utilisation de SAI permet une régulation située, tout en gérant des divergences de règles constitutives, des incohérences de normes, des évolutions environnementales.

5.1 Exemple 1 : Modification des règles constitutives (sans modifier les normes)

Dans le scénario de gestion de crise présenté, alors que les différents acteurs et les organisations peuvent avoir des visions différentes sur le même fait institutionnel, ils ont besoin d'avoir la même interprétation de chaque situation pour distribuer efficacement leurs efforts. Supposons que, pour le *Maire*,une zone est sûre chaque fois qu'elle est en phase préventive et son nombre d'habitants est inférieur à un certain seuil. 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. Alors, une zone *sûre* est constituée différemment selon les perspectives du *Maire* et des *Pompiers* :

```
/* Mayor's view */
security_phase(Zone,Phase) count-as secure(Zone)
while Zone is preventive & ((nbInhabit(Zone,X)& X<500) |
(security_phase(Zone,Phase) is secure(Zone))).
/* Firefighters' view  */
security_phase(Zone,Phase) count-as secure(Zone)
while not(electric_risky(Zone)) & Zone is preventive &
(security_phase(Zone,Phase) is secure(Zone))).
```

Dans cet exemple, comme les conditions des règles constitutives de "Mayor's view" et de "Firefighters' view" `nbInhabit(Zone, X)& X<500)` et `not(electric_risky(Zone))` ne se recoupent pas entièrement, les incohérences d'interprétation se produiront, car l'un considérera la zone comme `secure(zone)` et l'autre comme `insecure(zone)`. Cela va entraîner des incohérences d'action car la même action peut être simultanément autorisée et interdite (normes 1 et 2) selon le point de vue des acteurs. Ces incohérences peuvent être résolues en

agrégeant ces deux règles constitutives, générant ainsi la règle constitutive 8.

5.2 Exemple 2 : Modifier les normes (sans changer les règles constitutives)

Le contraire 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 : Contextualiser l'évolution des normes actives

Cet exemple montre comment les normes peuvent évoluer automatiquement, en fonction du contexte, ainsi fournir un règlement situé. Comme déjà mentionné, en phase préventive, le *Maire* est *autorisé* à demander l'*évacuation*. Lorsque la phase change en phase d'*urgence*, le *Maire* a *interdiction* de s'occuper de l'*évacuation* et il est *obligatoire* pour les *pompiers* le faire. Cela est exprimé comme suit :

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 8. En conséquence, la norme 2 devient active. Lors d'une évolution en phase d'*urgence*, la fonction statutaire précédente est modifiée en `security_phase(Zone, emergency)`. La fonction statutaire `secure(Zone)` n'est plus constituée. Ainsi, la norme 2 est désactivée tandis que la norme 1 est activée. Comme on le voit, en changeant le contexte (de *préventif* à *urgence*), même si les faits sont interprétés avec le même ensemble de règles de comportement, les normes actives changent.

5.4 Exemple 4 : Renforcer la proactivité dans la gestion de crises

Comme mentionné dans la section Section 2, le rôle du système peut changer entre un rôle purement éducatif, où les acteurs prennent en charge toutes les actions, jusqu'à une aide plus active du système en gestion de crise, où le système peut être plus autonome et automatiser certaines actions. 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

Dans ce qui suit, nous rappelons brièvement les particularités de la collaboration humaine dans le cadre de la gestion de crise 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 crise 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 [14]. 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 [9]. Dans les travaux du CSCW appliqués à cette problématique [15], une attention particulière a été accordée à la prise en compte du contexte avec un focus sur les politiques qui régulent le travail distribué [17], sur le partage d'un environnement physique commun [19].
Comme ces travaux, 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. Des retours virtuels mettent en avant les manques possibles, les incohérences entre politiques et favorisent la mise en place d'une conscience organisationnelle partagée [20]. Une approche multi-agent normative, hybride et mixte est bien adaptée à la mise en place de telles dimensions. Les différents espaces de modélisation que nous proposons prennent en compte la dimension physique de production et de communication ainsi que la dimension 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 [1]. Dans [6], 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 "count as" une évacuation. Une autre proposition [5, 16, 4] 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. Une troisième approche, proposée dans [1], en lien avec [11], 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 SAI donne une sémantique institutionnelle aux éléments de l'environnement et les relie également à la sémantique des normes.

7 Conclusions

Ce papier a mis en avant l'utilisation des Institutions Artificielles Situées (SAI) au sein d'un SMA normatif, hybride et mixte afin de réguler la collaboration d'humains dans le cadre de la gestion de crise. La conception proposée s'appuie sur l'analyse de différents domaines de recherche. Une première version démonstratrice de notre approche est en cours de mise en place sur une version de la plateforme JaCaMo [3] étendue à SAI et les tables tangibles.
Comme nous l'avons montré dans les exemples de notre application, l'approche proposée répond à deux préoccupations rencontrées dans la conception d'un outil de gestion de crises : une expression claire de la coordination [8] et une préservation de la flexibilité, exigences toutes deux nécessaires mais souvent non conciliables [9]. 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 [1], 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, CNPq (contrats

448462/2014-1 et 306301/2012-1) et l'ARC 6 Région Rhône-Alpes (ARC-13-009716-01 et ARC-13-010152-01).

Références

[1] Huib Aldewereld, Sergio Álvarez Napagao, Frank Dignum, and Javier Vázquez-Salceda. Making norms concrete. In Wiebe van der Hoek, Gal A. Kaminka, Yves Lespérance, Michael Luck, and Sandip Sen, editors, *AAMAS 2010*, pages 807–814, 2010.

[2] Guido Boella, Leendert van der Torre, and Harko Verhagen. Introduction to the special issue on normative multiagent systems. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 17(1) :1–10, 2008.

[3] Olivier Boissier, Rafael H. Bordini, Jomi Fred Hübner, Alessandro Ricci, and Andrea Santi. Multi-agent oriented programming with jacamo. *Sci. Comput. Program.*, 78(6) :747–761, 2013.

[4] Maiquel Brito, Jomi F. Hübner, and Rafael H. Bordini. Programming institutional facts in multi-agent systems. In Huib Aldewereld and Jaime S. Sichman, editors, *COIN VIII*, volume 7756 of *LNCS*, pages 158–173. 2013.

[5] Jordi Campos, Maite López-Sánchez, Juan Rodríguez-Aguilar, and Marc Esteva. Formalising Situatedness and Adaptation in Electronic Institutions. In Jomi Hübner, Eric Matson, Olivier Boissier, and Virginia Dignum, editors, *COIN IV*, volume 5428 of *LNCS*, pages 126–139. 2009.

[6] Mehdi Dastani, Leendert Torre, and Neil Yorke-Smith. Monitoring interaction in organisations. In Huib Aldewereld and Jaime S. Sichman, editors, *COIN VIII*, volume 7756 of *LNCS*, pages 17–34. 2013.

[7] Maiquel de Brito, Jomi Fred Hübner, and Olivier Boissier. A conceptual model for situated artificial institutions. In Nils Bulling, Leendert van der Torre, Serena Villata, Wojtek Jamroga, and Wamberto Vasconcelos, editors, *CLIMA XV*, volume 8624 of *LNCS*. 2014.

[8] Julie Dugdale, Nargès Bellamine-Ben Saoud, Bernard Pavard, and Nico Pallamin. Simulation and Emergency Management. In B. Van de Walle, M. Turoff, and S. R. Hiltz, editors, *Information Systems for Emergency Management*, volume 16 of *Advances in Management Information Systems*. M.E. Sharpe, 2010. Part IV. Systems Design and Technology (Chap. 10).

[9] J. Franke and F. Charoy. Design of a collaborative disaster response process management system. In *9th International conference on the design of Cooperative Systems*, 2010.

[10] Catherine Garbay, Fabien Badeig, and Jean Caelen. Normative multi-agent approach to support collaborative work in distributed tangible environments. In Steven E. Poltrock, Carla Simone, Jonathan Grudin, Gloria Mark, and John Riedl, editors, *CSCW 12*, pages 83–86. ACM, 2012.

[11] Davide Grossi, Huib Aldewereld, Javier Vázquez-Salceda, and Frank Dignum. Ontological aspects of the implementation of norms in agent-based electronic institutions. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 12(2-3) :251–275, 2006.

[12] Yann Laurillau and Laurence Nigay. Clover architecture for groupware. In *CSCW 2002, Proceeding on the ACM 2002 Conference on Computer Supported Cooperative Work, New Orleans, Louisiana, USA, November 16-20, 2002*, pages 236–245, 2002.

[13] Yoann Lebrun, Emmanuel Adam, Sébastien Kubicki, and René Mandiau. A multi-agent system approach for interactive table using RFID. In *Advances in Practical Applications of Agents and Multiagent Systems, 8th International Conference on Practical Applications of Agents and Multiagent Systems, PAAMS 2010, Salamanca, Spain, 26-28 April 2010, Yves Demazeau, Frank Dignum, Juan M. Corchado, Javier Bajo editors*, pages 125–134, 2010.

[14] A. H. J Oomes. Oragnization awareness in crisis management. In *ISCRAM*, 2004.

[15] Volkmar Pipek, SophiaB. Liu, and Andruid Kerne. Crisis informatics and collaboration : A brief introduction. *CSCW*, 23(4-6) :339–345, 2014.

[16] Michele Piunti, Olivier Boissier, Jomi Fred Hübner, and Alessandro Ricci. Embodied organizations : a unifying perspective in programming agents, organizations and environments. In *(MALLOW 2010)*, volume 627 of *CEUR*, 2010.

[17] J. M. Robert. Cognition située, cognition distribuée et cognition socialement partagée. Cours, 2012.

[18] John Searle. *Making the Social World :The Structure of Human Civilization*. Oxford University Press, 2009.

[19] Orit Shaer and Eva Hornecker. Tangible user interfaces : Past, present, and future directions. *HCI*, 3 :1–137, 2010.

[20] Lauren Thévin, Fabien Badeig, Julie Dugdale, Olivier Boissier, and Catherine Garbay. Un système multi-agent normatif pour la collaboration et l'interaction mixte. In *JFSMA 18*, pages 1–10, 2014.