



**HAL**  
open science

## Modélisation multi-agent de la cohésion sociale en situation de crise

Carole Adam, Julie Dugdale, Catherine Garbay

► **To cite this version:**

Carole Adam, Julie Dugdale, Catherine Garbay. Modélisation multi-agent de la cohésion sociale en situation de crise. [Rapport de recherche] RR-LIG-53, Laboratoire d'informatique de Grenoble. 2017. halshs-01525173

**HAL Id: halshs-01525173**

**<https://shs.hal.science/halshs-01525173>**

Submitted on 19 May 2017

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

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

# Modélisation multi-agent de la cohésion sociale en situation de crise

Carole Adam  
carole.adam@imag.fr

Julie Dugdale  
julie.dugdale@imag.fr

Catherine Garbay  
catherine.garbay@imag.fr

Laboratoire d'Informatique de Grenoble,  
Université Grenoble-Alpes, France

## Résumé

*Nous abordons dans cet article la question de la cohésion sociale comme une dynamique résultant de l'entrelacement entre plusieurs facteurs : émotions, connaissances mutuelles, et règles institutionnelles. Nous nous plaçons dans le contexte particulier des situations de crise dans lesquelles les fondements de la cohésion sociale peuvent se trouver ébranlés ; des formes nouvelles, non prévues de cohésion peuvent émerger. Notre perspective est de concevoir un SMA intégrant ces facteurs afin d'étudier cette dynamique complexe. Leurs différences soulèvent des problèmes difficiles de modélisation, et leur combinaison a encore été peu abordée. C'est l'objectif de cet article, où nous tirons parti de travaux antérieurs et disjoints pour proposer une intégration de ces 3 facteurs de cohésion au sein d'un modèle unifié d'agent. Ce modèle pourra alors être intégré dans des outils de simulation, afin d'être support à la décision pour les gestionnaires de crise.*

**Mots-clés :** Cohésion sociale, émotions, connaissance mutuelle, normes, simulation multi-agent, situation de crise

## Abstract

*In this article we address the notion of social cohesion as being the dynamic result of interleaving several factors : emotions, mutual knowledge, and institutional rules. We focus on the particular context of crisis situations where the foundations of social cohesion are shaken and new, unforeseen forms of social cohesion can emerge. We aim to design a MAS that integrates these 3 factors in order to study this complex dynamic. Their differences raise difficult modeling problems, and their integration in a unified model has rarely been discussed. Drawing upon previous disjoint models, we combine these 3 factors of social cohesion into a single agent-based model. This model will be integrated into simulation tools in order to support decision-making for crisis managers.*

**Keywords:** Social cohesion, emotions, mutual knowledge, norms, agent-based simulation, crisis situation

## 1 Introduction

La cohésion sociale est un phénomène de plus en plus important à comprendre dans la situation politique et sociale actuelle. Mieux appréhender sa dynamique sociale permettrait d'en soutenir les dimensions positives (solidarité) tout en prévenant ses aspects négatifs (communautarisme). Les situations de crise offrent des contextes particulièrement pertinents pour observer la cohésion sociale, sa dynamique et son impact. Ce sont des situations où ses fondements peuvent se trouver ébranlés, et où peuvent surgir de manière émergente des formes nouvelles, non prévues, de cohésion, qu'elles soient positives (e.g. altruisme et solidarité pendant les attentats avec le phénomène "porte ouverte") ou négatives (e.g. racisme, manque de communication et d'ouverture entre équipes de secours, police, et autres organisations impliquées).

Ces situations mettent en jeu deux points de vue complémentaires : celui des victimes et celui des gestionnaires de la crise. Pour chacun d'eux, faire preuve de cohésion peut s'avérer bénéfique ou non. Ainsi pour les victimes, faire preuve de cohésion et d'altruisme permet de s'auto-organiser pour gérer la situation ; cependant trop de cohésion peut aussi être néfaste (cas par exemple d'un groupe refermé sur lui-même et excluant les autres, ralentissant les efforts d'évacuation). Du point de vue des gestionnaires, la cohésion peut favoriser la coordination et le travail collaboratif ; à l'inverse, cette cohésion peut entraîner un manque d'ouverture et des difficultés à gérer les divergences inter-institutionnelles et l'imprévu.

La modélisation et la simulation de ces phénomènes ont encore été peu abordés dans la littérature. Nous proposons dans cet article une première approche. Nous argumentons que trois facteurs peuvent influencer la cohésion et sa dynamique : les émotions, les connaissances mutuelles, et les règles institutionnelles. En effet, alors que les règles institutionnelles définissent

des comportements prescrits et peuvent faciliter la gestion des émotions difficiles (empathie au sein du groupe), les émotions peuvent inciter les individus à s'en écarter. La connaissance et la compréhension de situations dynamiques sont vitales pour décider comment agir et quelles règles appliquer, mais ces éléments ne sont pas toujours partagés et la perception des situations peut différer. Enfin les règles institutionnelles peuvent être mal connues, mal appropriées ou contradictoires. Si chacun de ces facteurs a déjà été étudié indépendamment, ce n'est pas le cas pour leur combinaison dans une dynamique de cohésion sociale.

La contribution de cet article est de proposer une combinaison de ces trois facteurs dans un modèle d'agent unifié rendant compte de leur impact sur la dynamique des croyances et des décisions de l'agent. Un tel modèle unifié pourra dans le futur être intégré dans des outils de simulation, afin d'être support à la décision pour les gestionnaires de crise.

## 2 Facteurs influençant la cohésion

### 2.1 Emotions

L'influence des émotions sur le raisonnement n'est plus discutée et de nombreux modèles ont donc vu le jour en informatique pour doter des agents d'émotions. Ces modèles se basent généralement sur les théories psychologiques dites de l'évaluation cognitive, qui décrivent les émotions comme résultant d'une évaluation cognitive de la situation dans laquelle se trouve l'individu. Ils comportent en général 2 processus distincts : appraisal et coping. L'appraisal (évaluation) déclenche les émotions en réponse à l'évaluation personnelle de la situation, ce qui explique que deux individus différents puissent ressentir des émotions différentes dans une même situation, s'ils l'évaluent différemment. Le coping (gestion) tente de supprimer les émotions négatives via différentes stratégies, focalisées sur le problème (stratégies considérées plus rationnelles comme la planification ou l'action) si celui-ci est contrôlable, ou sur l'émotion (stratégies plus ou moins irrationnelles jouant sur les attitudes mentales de l'individu vis-à-vis du problème, par exemple essayer de voir le bon côté des choses, nier la réalité du problème et ignorer les preuves, se changer les idées...) dans le cas contraire.

Les émotions en tant qu'heuristiques de raisonnement sont d'autant plus pertinentes à étudier

en situation de crise. Des travaux montrent ainsi que le raisonnement est influencé par des biais cognitifs et des heuristiques affectives [16] ; ces biais ont été mis en évidence dans des désastres comme les incendies [5]. D'autres travaux montrent l'importance de l'attachement social lors de l'évacuation suite à un désastre naturel [8]. L'**attachement** à un objet (au sens large : objet, lieu, personne, groupe...) [18] est à la fois source d'émotions (*e.g.* inquiétude pour sa famille) et résultat des émotions partagées (on s'attache à un lieu dans lequel on a de bons souvenirs, à une personne avec qui on a partagé des expériences émotionnelles fortes). On observe par exemple une forte cohésion dans des groupes comme une unité de pompiers, qui partagent les mêmes émotions, se comprennent mutuellement et peuvent donc faire preuve d'empathie les uns envers les autres. Il a ainsi été montré que les émotions plutôt que la cognition déterminent le travail d'équipe en situation de stress [20].

A l'inverse, certaines émotions comme la peur peuvent gêner la cohésion. Les gestionnaires de crise sont ainsi entraînés à les supprimer et à ne pas les exprimer pour ne pas casser la cohésion du groupe. Par exemple les pompiers suppriment souvent les émotions négatives via l'humour. Ces compétences dites "non-techniques" sont définies comme des "savoir-être" associés aux comportements, à la communication et à la prise de décision en situations à risque. Elles ont été particulièrement étudiées dans le domaine aéronautique où elles ont pris depuis une vingtaine d'années une place essentielle dans les cursus de formation ; des environnements dédiés à leur apprentissage sont développés (*e.g.* dans le projet McCoy [10]).

### 2.2 Règles institutionnelles

La cohésion est ici abordée selon une perspective à la fois institutionnelle et collaborative (activité mettant en jeu plusieurs organisations dont les rôles et missions sont régis par des règles différentes). Il convient donc de distinguer la cohésion de l'activité individuelle, qui dépend de l'adhésion de l'individu aux règles qui régissent son organisation, et la cohésion de l'activité collective, qui dépend de la qualité de la coordination entre les acteurs.

En situation de crise, les règles institutionnelles diffèrent selon les intervenants et le contexte. Elles ne sont valides que dans des contextes précis de ressources pour agir. Elles sont par na-

ture incomplètes car il est impossible de répertorier toutes les situations de crise et toutes les réponses possibles. Leur appropriation par les acteurs, leur maîtrise, peut être partielles. Leur application peut être source d'erreur, en raison des difficultés à percevoir les situations dans leur globalité et leur dynamique. Au niveau inter-organisationnel enfin, on ne peut pas faire l'hypothèse que l'ensemble des règles est cohérent et non contradictoire.

Il convient enfin de distinguer entre activité "réelle" et activité "prescrite" : l'activité prescrite est l'activité décrite par les systèmes de normes, sa cohésion dépend de la cohérence du système des normes "métier" (e.g. de la gestion de crise) ; l'activité réelle est l'activité effectuée par les acteurs humains, elle peut ne pas se révéler en adéquation avec les normes métier, soit "à tort" par méconnaissance de ces normes, soit "à raison" lorsque la situation rencontrée (non prévue par les normes) l'exige : des normes de "bon sens" sont appliquées dans ce cas. La simulation a alors une vocation participative et fournit un retour "évaluatif" relatif au suivi des normes modélisées. Elle poursuit plusieurs objectifs : améliorer la complétude et la cohésion du système de normes intra et inter-organisationnel ; et améliorer la "cohésion" du comportement des acteurs vis-à-vis de ces normes, i.e. améliorer l'appropriation et la conscience mutuelle de ces normes [28].

Les systèmes multi-agents normatifs fournissent des outils pour la modélisation de ces notions. Le rôle des normes dans un tel SMA est de définir un principe d'action "correcte" unissant les membres d'un groupe [9]. Elles sont alors vues comme des incitations externes à l'action : les acteurs agissent de manière autonome, mais dans les limites des normes acceptées par la société. Ces normes sont exprimées séparément et de manière explicite. Les agents souscrivent/déposent les normes qu'ils s'engagent à suivre, selon leur rôle et des facteurs contextuels. Des règles déontiques expriment des permissions ou obligations quant à la façon d'appliquer les normes.

Dans le cas plus particulier d'un système ouvert faisant intervenir différentes organisations, les **SMA normatifs** permettent de répondre, par leur flexibilité, à la problématique de guider les agents tout en préservant leur autonomie [7]. Il est alors possible de définir des processus de régulation pour obtenir un comportement global cohérent en présence de plusieurs acteurs ayant chacun des objectifs différents [4]. Les SMA

normatifs sont déjà utilisés pour la régulation de systèmes socio-techniques complexes [21]. Selon Karacapilidis [15], avoir un focus organisationnel fort est un enjeu important pour les systèmes de support à l'e-collaboration.

### 2.3 Connaissances mutuelles

Les connaissances mutuelles sont des connaissances que les interactants partagent et qu'ils savent qu'ils partagent [17]. Ce concept est aussi souvent qualifié de bases communes ("common ground") car il fait partie intégrante des actions de coordination et de la prise de décision collaborative [12].

Cette notion peut être analysée depuis le point de vue des victimes ou des gestionnaires de crise. Du point de vue des victimes, des travaux précédents ont montré que la première action des individus en situation de crise n'est pas forcément de chercher un abri, mais de chercher de l'information [6]. Cette recherche d'information peut se faire via des médias traditionnels (e.g. radio, télévision) ou nouveaux (Facebook, Twitter, SMS), ou par des interactions directes avec d'autres individus se trouvant dans la même situation. Cette recherche est entreprise dans le but de développer une compréhension de la situation (*situation awareness*) par l'individu, puis si nécessaire de construire une réponse coordonnée (e.g. une décision collective de fuir). L'action de chercher de l'information à travers des interactions sociales (qu'elles soient physiques ou digitales) permet aux victimes d'améliorer leurs connaissances mutuelles de la situation. Par ailleurs, l'activité d'échanger des connaissances augmente le lien social et favorise la cohésion sociale.

D'un point de vue théorique, l'émergence de la connaissance mutuelle au sein d'un groupe peut être expliquée comme un phénomène de percolation, et est nécessaire pour une coopération et coordination efficace des tâches dans un collectif [13]. Néanmoins, un aspect qui différencie la contribution de la connaissance mutuelle à l'efficacité d'un groupe de victimes en situation de crise par rapport à d'autres situations est la temporalité. Lors du travail collaboratif dans la vie de tous les jours, la connaissance mutuelle peut être acquise au fil du temps. Au contraire, quand des victimes se rencontrent en situation de crise, leurs échanges sont souvent brefs et transitoires par nature, et l'acquisition de connaissance mutuelle est donc sévèrement contrainte dans le temps et souvent imparfaite.

Néanmoins, la connaissance mutuelle peut s'établir par plusieurs mécanismes : connaissances directes, dynamique interactionnelle, et appartenance à une catégorie [17]. Les connaissances directes sont créées lors d'expériences vécues, où l'expérience partagée d'un désastre immédiat permet aux individus de former un jugement informé sur ce que savent les autres. Quand des individus se rencontrent, la dynamique interactionnelle focalise d'abord la discussion sur ce qui est considéré comme savoir partagé [26]. Enfin, l'appartenance à une catégorie facilite la connaissance mutuelle ; en situation de crise les frontières des catégories sociales habituelles sont brisées et une nouvelle catégorie de victime émerge, ce qui renforce la cohésion sociale.

Du point de vue des questionnaires de crise, la connaissance mutuelle joue un rôle tellement essentiel dans la coordination des actions et les décisions collaboratives, que la présence des membres du groupe dans un même espace physique est la configuration de travail fréquemment choisie dans beaucoup de centres de contrôle (*e.g.* contrôle aérien, missions spatiales, centres d'appel d'urgence). Ainsi l'information peut être échangée et facilement partagée avec un minimum de perturbations des processus cognitifs des individus. Ce partage d'information facilite l'émergence de connaissances mutuelles et peut résulter en une robustesse exceptionnelle du système [24, 12]. Malheureusement, à cause de la nature fragile des processus sous-jacents, cette situation n'est pas garantie et dans certaines circonstances l'émergence de connaissance mutuelle échoue à se produire, et l'efficacité du système se détériore rapidement.

## 2.4 Interactions entre ces 3 facteurs

Nos travaux antérieurs nous incitent à penser plusieurs formes d'interactions entre gravité des situations, émotions, connaissances mutuelles et normes.

Les émotions sont liées aux normes institutionnelles de plusieurs manières. Les normes interviennent dans le déclenchement de certaines émotions ; elles spécifient quelles émotions peuvent ou pas être exprimées selon le contexte ; elles fournissent un guide de comportement quand le niveau de stress réduit la capacité à prendre des décisions. Les émotions morales ou sociales (*e.g.* honte et culpabilité, fierté, admiration...) ressenties vis-à-vis d'un groupe proviennent du respect ou de la violation de

valeurs morales et culturelles partagées par ce groupe. Ces émotions peuvent influencer la cohésion du groupe, en poussant à respecter les normes ou à réparer les violations (actions de réparation, excuses) pour continuer à être accepté dans ce groupe. Le besoin de respecter les normes peut entrer en contradiction avec les buts individuels et conduire à des dilemmes (choix de l'action morale vs l'action égoïste). D'après von Scheve [29], les relations entre émotions et normes sociales, plus précisément la place de l'émotion dans les SMA normatifs, n'ont pas encore été étudiés de manière très intensive, malgré quelques travaux pionniers. On a pu montrer combien l'émotion est essentielle pour maintenir les normes sociales, et en particulier imposer des sanctions en cas de non suivi de ces normes, et combien inversement les normes sociales, sources d'émotions, peuvent déterminer les processus de coping et de régulation des émotions. Caire [11] se concentre sur l'articulation entre normes institutionnelles (plutôt formelles) et normes "de convivialité" (plutôt implicites) et sur l'impact d'une violation de ces 2 types de normes. Il note que la convivialité apparaît plutôt comme une norme "positive", mais possède aussi un versant négatif quand elle intervient pour fonder des relations de pouvoir. Il insiste sur l'importance de la convivialité pour améliorer la communication, augmenter l'efficacité de la coopération en réduisant les conflits, renforcer la cohésion sociale en mettant en avant ses valeurs. Elle est mise en jeu via l'expression de sentiments (éloge et encouragement des personnes se conformant aux normes, ressentiment et colère vis-à-vis de ceux qui ne le font pas). Elle est à la fois condition de l'interaction sociale et instrument de la régulation interne des systèmes sociaux.

Les émotions sont liées aux connaissances mutuelles de plusieurs manières : les croyances sur autrui permettent de déclencher des émotions d'empathie positive (*e.g.* compassion) ou négatives (*e.g.* ressentiment, jalousie, envie...) ; par un processus de *reverse appraisal*, les émotions exprimées par autrui peuvent être analysées pour construire des connaissances sur les attitudes mentales qui ont pu causer cette émotion ; la connaissance mutuelle favorise la compréhension des émotions des autres agents et donc la cohésion du groupe. Le terme de connaissance émotionnelle a été introduit par Shaver *et al.* [25] et implique le partage et la description de réactions émotionnelles à des événements présents ou passés. Cette connaissance émotionnelle mutuelle augmente avantageusement l'ef-

efficacité du groupe social [23]. En situation de crise, cela peut conduire à des groupes de victimes coordonnant leurs actions de réponse ou d'évacuation.

Enfin, les relations entre connaissances mutuelle et normes s'expriment de plusieurs manières : l'application correcte des normes implique une connaissance partagée et cohérente des situations, des disjonctions dans la perception des situations conduiront à des conduites inappropriées ; la conscience mutuelle des normes est un pré-requis important, mais ne se réduit pas au partage d'une connaissance formelle, en impliquant le partage des croyances et des intentions au fil des situations rencontrées. Rauwolf *et al.* [22] ont discuté l'importance de la notion de "normative awareness", insistant sur la nécessité de la distinguer de la notion plus commune de "situation awareness". Ils proposent trois niveaux de définition (perception, compréhension, capacité à anticiper l'impact des normes d'autrui). Selon eux c'est le niveau 3, c'est-à-dire la conscience que les autres agents sont guidés par leurs propres croyances et leurs propres intentions, qui est le plus important à considérer. L'absence d'études et de modèles sur les questions de partage d'intentionnalité conduit selon eux à faire l'hypothèse simplificatrice, présente dans la plupart des travaux, d'une conscience générale de toutes les normes.

### 3 Modèle de la cohésion

Nous avons mis en évidence ci-dessus les interactions de ces trois concepts entre eux ainsi qu'avec la cohésion, et montré que ces liens ne sont pas suffisamment pris en compte dans la littérature. C'est pourquoi dans cette section nous proposons un modèle de la cohésion sociale prenant en compte ces trois facteurs et les liens entre eux. Notre but à terme est de l'implémenter dans un simulateur GAMA [27] qui permettra d'explorer de manière réaliste la dynamique de la cohésion sociale en situation de crise.

#### 3.1 Travaux précédents

Nous résumons ici nos travaux précédents de modélisation des 3 facteurs de cohésion auxquels nous nous intéressons : les émotions, les normes, et les connaissances mutuelles.

**Emotions.** Dans des travaux précédents, nous avons fourni une formalisation logique et une implémentation des émotions pour des agents

BDI. Dans [1] nous fournissons les définitions logiques des conditions de déclenchement de 20 émotions du modèle OCC (processus d'*appraisal*) ; Nous avons ultérieurement formalisé plus précisément les émotions morales de honte et de culpabilité [2]. Nous avons aussi formalisé séparément le processus de gestion des émotions (ou *coping*) par lequel celles-ci influencent les attitudes mentales et le comportement d'un agent BDI [3], dans le but de renforcer les émotions positives et diminuer les émotions négatives. Enfin nous avons aussi implémenté ces deux processus en Prolog dans l'agent PLEIAD [3], ainsi que dans une simulation d'évacuation pendant un incendie [19].

Ces deux processus (*appraisal* et *coping*) manipulent les attitudes mentales de l'individu (croyances, désirs, buts, idéaux, intentions...) et se formalisent donc bien en termes des opérateurs de la logique BDI. Par exemple la peur est exprimée comme la croyance qu'un événement indésirable a une certaine probabilité de se produire. La honte (face à un groupe) est exprimée comme la croyance d'avoir réalisé une action contraire aux normes en vigueur dans ce groupe, et la croyance que cette violation est connue du groupe. Des émotions d'empathie découlent des croyances concernant les autres agents et leur ressenti, par exemple se sentir désolé pour quelqu'un qui traverse une épreuve.

Les stratégies de coping peuvent affecter les intentions (reconsidération de son intention si elle a des risques de conduire à un effet indésirable), les croyances (déli d'un événement créant une émotion négative trop forte, optimisme / idéalisme), ou les désirs (réinterprétation positive pour voir le bon côté d'une situation indésirable). Elles peuvent aussi affecter directement les actions de l'agent en planifiant une solution au problème source de l'émotion négative (quand c'est possible), ou en cherchant du soutien (matériel ou émotionnel) auprès d'autrui. Dans tous les cas, le rapport de l'agent à la situation change via ce processus, et une nouvelle évaluation conduit alors à une nouvelle émotion, et éventuellement à un retour à un état d'équilibre émotionnel.

**Connaissance mutuelle.** Nous avons précédemment analysé l'émergence et la diffusion de connaissance mutuelle d'un point de vue à la fois théorique et pratique [14, 13]. Grâce à la simulation à base d'agents nous voulions mieux comprendre le processus de connaissance mutuelle, sa construction et les facteurs condui-

sant à son déclin. Une partie de notre travail concernait la modélisation et la simulation des communications et activités des membres d'un centre d'appel d'urgence (SAMU 15-18) au sud de Paris. Le centre d'appel d'urgence est composé de différentes professions comme les pompiers, médecins, dont le rôle est d'envoyer les ambulances et les véhicules pompiers, notifier le médecin de garde, ou donner un avis médical par téléphone. Cela implique une coopération et une communication avec d'autres membres de l'équipe. Pour réduire le temps passé à gérer une urgence, tous les travailleurs de santé doivent être conscients des événements en cours, c'est-à-dire qu'ils doivent développer une connaissance mutuelle de la situation.

Notre modèle basé agent prend en compte les tâches explicites réalisées par les professionnels de santé (*e.g.* envoyer des véhicules ou créer et mettre à jour des rapports écrits), et les facteurs cognitifs (*e.g.* capacité à entendre des conversations autour de soi ou à mémoriser qui s'occupe d'un incident particulier) et environnementaux (*e.g.* niveau de bruit dans la pièce, position des travailleurs). Nous nous sommes concentrés sur l'évaluation des relations entre le niveau de connaissance mutuelle, les facteurs environnementaux, et la capacité à surprendre des conversations. Par ailleurs, nous voulions évaluer comment ces facteurs affectent le temps de gestion des urgences, et quels changements ils impliquent dans les stratégies de coopération et de communication.

Malgré de bons soutiens technologiques au partage d'information dans le centre d'urgence, en situation normale les travailleurs mettent à jour leur connaissance mutuelle en entendant les conversations autour d'eux (*overhearing*). Cependant, ce processus devient moins efficace quand la charge de travail augmente, ce qui cause une chute du niveau de connaissance mutuelle. La capacité à entendre les conversations autour de soi est influencée par plusieurs facteurs : d'abord la distance entre les individus ; le niveau de bruit dans la pièce ; l'intensité sonore de la conversation ; et enfin le degré d'implication de la personne dans sa tâche. Ces aspects ont été modélisés dans la plateforme SWARM.

Une fois validé, nous avons pu montrer comment la connaissance mutuelle d'une urgence augmentait ou diminuait, et surtout comment cela affectait l'efficacité du centre de réponse. De nouvelles expérimentations ont finalement permis d'aider à redessiner le centre d'appel d'urgence réel, en suggérant les positions opti-

males pour certains groupes spécifiques de travailleurs, etc. Même s'il est difficile d'attribuer l'amélioration de 20% de l'efficacité du centre uniquement à notre intervention, les retours des gestionnaires du centre ont confirmé l'utilité du simulateur dans cette réorganisation.

**Normes sociales.** Nous avons travaillé en étroite collaboration avec l'IRMA, Institut des Risques Majeurs à Grenoble, à la conception d'une plateforme de simulation participative pour la préparation à la gestion de risques naturels [28]. La gestion de crises implique une collaboration complexe et décentralisée entre de multiples organisations (*e.g.* commune, pompiers, policiers). Tous se coordonnent dans un environnement dynamique et incertain afin de mener des actions efficaces et cohérentes en lien avec les multiples missions qui leur incombent (secours et sauvegarde, information, sécurité, logistique, logement).

La plateforme que nous avons conçue intègre des dispositifs d'interaction tangible et virtuelle, qui lui confèrent une dimension de "suivi évaluatif" : des feedbacks virtuels sont transmis aux participants, afin d'assurer la conscience mutuelle de l'activité (qui peut se dérouler sur des tables distantes) mais aussi dans le but de transmettre des retours "évaluatifs" concernant le déroulé de leur activité. Ces retours peuvent faire état de "violations" (non suivi des normes régissant l'activité) ou d'"exceptions" (incohérences apparues alors que les normes ont été suivies, *e.g.* impossibilité d'effectuer une action). L'apparition d'une exception signifie que les normes sont défailtantes ou incohérentes entre elles.

Nous avons ajouté la notion de "règle de sens commun" afin de tenir compte de situations de violation de normes "à bon escient", lorsque le suivi des normes conduit par exemple à des défauts de coordination (duplication d'efforts) ou de gestion des ressources (conflit d'accès). À l'inverse, le respect des normes peut conduire à des violations des règles de sens commun. On peut conclure dans ces 2 cas que les normes ne soient pas appropriées ou incorrectes. Alors que les normes ne sont pas nécessairement partagées par les communautés métier, les règles de bon sens le sont en général.

En arrière-plan de ces notions se dessine une vision de la cohésion comme découlant de l'application à bon escient des normes et des règles de bon sens, mais aussi comme dépendant dynamiquement des conditions d'exécution des actions, de leur possibilité de mise en oeuvre.

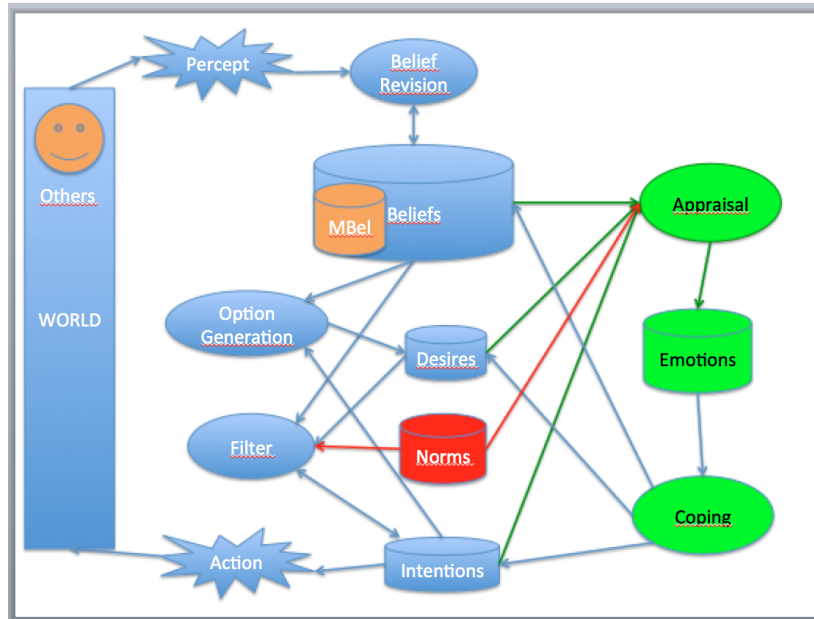


FIGURE 1 – Architecture d’un agent BDI étendu avec notre modèle

### 3.2 Vers un modèle unifié

La logique BDI permet donc de capturer (et a déjà été utilisée pour capturer) ces trois éléments. Il existe des opérateurs de normes, des opérateurs de croyance mutuelle, et des modèles des émotions en termes des attitudes mentales (croyances individuelles et mutuelles, désirs, normes, etc). En particulier nous avons déjà fourni des modèles BDI des émotions [1], des normes [28], et de la connaissance mutuelle [14], que nous avons décrits ci-dessus. Nous proposons maintenant d’enrichir l’architecture BDI classique avec les trois concepts discutés ci-dessus, afin de permettre à un agent de raisonner sur la cohésion et sa dynamique. La figure 1 présente cette architecture étendue.

Le processus de comportement d’un agent avec cette architecture suit donc un cycle standard de perception-décision-action, dans lequel nous mettons en valeur l’influence des croyances mutuelles, des normes, et des émotions. L’agent **perçoit** d’abord le monde (*percept*), y compris les actions des autres agents, et **met à jour** sa base de croyances (qui contient en particulier les croyances mutuelles, *Mbel*, concernant les autres agents) et ses désirs en conséquence. Les désirs sont ensuite **filtrés** selon les croyances (ce qui est possible dans le contexte) et les normes (ce qui est permis) pour **décider** des intentions de l’agent. En parallèle, les attitudes mentales de l’agent (croyances, désirs, intentions) ainsi

que les normes peuvent générer des **émotions** via un processus d’*appraisal*. Ces émotions influencent alors ces mêmes attitudes mentales via le processus de *coping*. Finalement, l’agent planifie sa prochaine **action** en fonction de son intention courante. Plus formellement, le cycle de contrôle de l’agent BDI suit donc l’algorithme figuré ci-dessous (B = Belief, D = Desire, I = Intention, E = Emotion N = Normes).

```

B = B0, I = I0, N = N0
while (true) do
  get next percept p
  B = belief-revision(B,p)
  D = options(B, I)
  E = appraisal(B,D,N)
  I = filter(B,D,I,N)
  B,D,I = coping(E,B,D,N)
  pi = plan(B,I,N)
  execute(pi)
end

```

### 4 Scénario d’exemple

Dans cette section nous proposons de modéliser un scénario de réponse à une inondation en termes de l’algorithme de raisonnement ci-dessus. Ce scénario nous permet aussi d’illustrer la dynamique de la cohésion en lien avec les attitudes mentales et émotions, et fournit des pistes pour l’analyse de cette cohésion. Il sert donc de preuve de concept avant l’implémentation de notre architecture d’agent, que nous laissons pour des travaux futurs.



## 4.1 Contexte

Ce scénario met en jeu l'organisation communale et les pompiers dans le contexte d'une situation d'inondation. Le plan communal de sauvegarde (PCS), qui édicte les règles de gestion des risques au plan communal, définit les rôles et missions de la commune. Celle-ci est chargée de mettre en place entre autres deux cellules supports : la cellule soutien (CS) et la cellule logistique (CL), chargées de se coordonner pour organiser l'évacuation et assurer l'hébergement. Le PCS caractérise les zones susceptibles d'être touchées par le scénario d'inondation : la **zone 1** est une zone prioritaire (présence d'une école) mais située à l'écart des zones inondables ; la **zone 2** est une zone pavillonnaire située dans un secteur à risque ; la **zone 3** est une zone HLM sur une colline comportant une forte densité d'immeubles à plusieurs étages.

Le PCS distingue également deux types d'évacuations possibles : verticale et horizontale. L'évacuation **horizontale** vise à ce que les individus se mettent à l'abri du danger en quittant la zone à risque par leurs propres moyens ; les personnes ainsi évacuées sont alors relogées dans des hébergements collectifs provisoires (hôtels, salles polyvalentes, gymnases...); cette stratégie est limitée aux zones prioritaires en cas de manque de ressources. L'évacuation **verticale** peut être définie comme le déplacement, à l'intérieur de la zone inondée ou susceptible de l'être, des personnes vers un ou des lieux situés au-dessus des plus hautes eaux attendues (point haut, coteau, bâtiment disposant d'étages...) en vue de s'y mettre à l'abri.

La commune et les pompiers se répartissent le travail de l'évacuation. La Commune organise son évacuation en fonction de sa perception de la situation, des croyances sur ses propres missions (normes) et de ses croyances sur les tâches des pompiers. Inversement les pompiers organisent leur évacuation en fonction des informations en provenance de la commune (les pompiers attendent que le Maire leur transmette régulièrement, toutes les 15 minutes, des informations sur la situation de crise), des croyances sur leurs propres missions (normes) et de leur représentation des tâches de la Commune.

## 4.2 Formalisation du scénario

Ce scénario est formalisé dans les tableaux ci-dessous. Le point de vue de la commune qui réagit à l'inondation est illustré dans le Tableau 1.

Le point de vue des pompiers qui parviennent sur les lieux est illustré dans le Tableau 2. Les points de vue des habitants de la zone 2 (pavillonnaire) et de la zone 3 (HLM) sont illustrés par les Tableau 3 et Tableau 4. Ces différents points de vue illustrent le manque de cohésion. Finalement devant l'augmentation du risque, mairie et pompiers se concertent pour faire face à la situation (Tableau 5).

Au cours de ce scénario, on voit donc bien comment la cohésion évolue au sein des différents groupes et entre les groupes, en fonction des différents facteurs modélisés dans cet article. La panique de certains habitants et le non respect des normes entraîne un manque de cohésion au sein de la population conduisant à des embouteillages. Le manque de connaissance mutuelle et le non respect de certaines normes diminue la cohésion entre pompiers et mairie ; finalement la concertation entre eux permet de résoudre ces problèmes et rétablir la cohésion nécessaire à une réponse coordonnée.

## 5 Conclusion

Nous avons défendu dans cet article une vision de la cohésion sociale comme une dynamique résultant de l'entrelacement entre plusieurs facteurs : émotions, connaissances mutuelles, et règles institutionnelles. Nous avons proposé un modèle d'agent BDI permettant d'intégrer ces 3 facteurs, en vue d'une implémentation dans la plateforme GAMA. Notre but à long terme est en effet de développer un jeu sérieux simulant une situation de crise afin de tester l'influence de différents aspects (qualité des plans de gestion et réglementations, coordination des gestionnaires) sur l'émergence des phénomènes de cohésion. Un travail important reste à faire au plan de la modélisation, en particulier pour prendre en compte la dynamique des normes, leur caractère émergent, ou pour intégrer d'autres facteurs de cohésion. Comment analyser la cohésion, son évolution, comment évaluer son influence comme négative ou positive, demeurent des champs de recherche ouverts.

## Remerciements

Ce travail est soutenu par le Laboratoire d'Informatique de Grenoble via le projet SNICS de l'appel Emergence 2017.

## Références

- [1] C. Adam, A. Herzig, and D. Longin. A logical formalization of the OCC theory of emotions. *Synthese*, 168(2) :201–248, 2009.

<b>Perception</b>	L'inondation progresse lentement
<b>Normes</b>	Mairie : privilégier si possible évacuation horizontale, mettre en place CL et CS, informer pompiers et habitants des mesures prises Pompiers : gérer évacuation verticale (plus risquée) Habitants : ne pas chercher enfants à l'école, respecter mesures d'évacuation
<b>Croyances</b>	Pas d'urgence pour la zone 2, pompiers évacueront zones 1 et 3 Perception et normes sont partagées par les pompiers et les habitants
<b>Emotions</b>	Pas d'émotion pertinente
<b>Intention</b>	Réaliser l'évacuation horizontale de la zone pavillonnaire (zone 2)
<b>Actions</b>	Mise en place CS chargée de l'évacuation et dotée de 2 de ses 3 véhicules Information des habitants de la zone 3 de se réfugier dans les étages Omission d'informer les habitants de ne pas se déplacer vers les écoles Omission d'informer les habitants de la zone 2 d'attendre leur évacuation Aucune action d'évacuation des zones 1 et 3 (laissées aux pompiers) Omet de prévenir les pompiers, certaine d'une connaissance mutuelle
<b>Cohésion</b>	Violation des normes d'information des pompiers et des habitants

TABLE 1 – Point de vue de la mairie

<b>Perception</b>	L'inondation progresse rapidement, atteint zone pavillonnaire
<b>Croyances</b>	Situation d'urgence en zone 2 Méconnaissance de l'action de la mairie
<b>Normes</b>	Pompiers : sauvegarder des vies humaines (bon sens)
<b>Emotions</b>	Stress (urgence, manque d'information)
<b>Intention</b>	Décision dans l'urgence d'évacuer la zone pavillonnaire (zone 2)
<b>Cohésion</b>	Manque de connaissances partagées Duplication d'efforts avec la mairie

TABLE 2 – Point de vue des pompiers

<b>Perceptions</b>	Infos transmises par radio, téléphone, réseaux sociaux ; pas d'infos de la mairie
<b>Croyances</b>	Danger pour soi et ses enfants
<b>Normes</b>	Pas reçu de consigne (attendre évacuation, laisser enfants à l'école)
<b>Emotions</b>	Attachement familial, crainte pour la sécurité des enfants prévalant sur sécurité propre
<b>Intention</b>	Certains habitants : aller chercher enfants à l'école pour les mettre à l'abri
<b>Action</b>	Preennent la voiture, se retrouvent bloqués dans les embouteillages
<b>Cohésion</b>	Violation des normes (méconnaissance des consignes) Création d'embouteillages (mauvais partage des ressources limitées) Manque de confiance en l'école pour s'occuper des enfants

TABLE 3 – Point de vue des habitants de la zone 2 pavillonnaire

<b>Perceptions</b>	Informations de la mairie (aller dans les étages)
<b>Croyances</b>	Secours tardifs, danger
<b>Normes</b>	Respecter consignes mairie (monter dans les étages)
<b>Emotions</b>	Certains habitants paniquent
<b>Intention</b>	Certains habitants : fuir le danger
<b>Action</b>	Preennent leur voiture pour traverser la zone 2, créant un embouteillage
<b>Cohésion</b>	Violation des normes (non respect consignes) Création d'embouteillages (mauvais partage des ressources limitées) Manque de confiance en l'arrivée des secours

TABLE 4 – Point de vue des habitants de la zone 3 HLM

- [2] C. Adam and D. Longin. Shame, when reasoning and emotions are linked. In *EUMAS*, 2013.
- [3] C. Adam and E. Lorini. A BDI emotional reasoning engine for an artificial companion. In *A-Health @ PAAMS*, pages 66–78. Springer, 2014.
- [4] J. Arcos, M. Esteva, P. Noriega, J. Rodríguez-

Aguilar, and C. Sierra. Engineering open environments with electronic institutions. *Engineering Applications of AI*, 18 :191–204, 2005.

- [5] M. Arnaud, C. Adam, and J. Dugdale. The role of cognitive biases in reactions to bushfires. In *Context'17*, Paris, June 2017.

<b>Perception</b>	Augmentation du risque
<b>Croyances</b>	Ressources individuelles insuffisantes Besoin de concertation mairie-pompiers
<b>Emotions</b>	Non pertinentes
<b>Normes</b>	Nécessité de collaborer
<b>Intention</b>	Répartition du travail, pompiers gèrent zone 1 prioritaire, mairie gère zones 2 et 3
<b>Actions</b>	Pompiers : se dirigent assez rapidement vers la zone prioritaire à contre sens de la circulation Mairie : réquisitionne véhicules supplémentaires Augmente le nombre de membres de CS au détriment CL
<b>Cohésion</b>	Connaissances partagées, pas de violation de norme

TABLE 5 – Point de vue des habitants de la zone 3 HLM

- [6] J. Averill, D. Mileti, R. Peacock, E. Kuligowski, N. Groner, G. Proulx, P. Reneke, and H. Nelson. Occupant behavior, egress, and emergency communications, federal building and fire safety investigation of the world trade center disaster. NCSA report, NIST, 2005.
- [7] T. Balke, C. da Costa Pereira, F. Dignum, E. Lorini, A. Rotolo, W. Vasconcelos, and S. Villata. Normative MAS. *Dagstuhl Follow-Ups*, 4, 2013.
- [8] J. Bangate, J. Dugdale, C. Adam, and E. Beck. A review on the influence of social attachment on human mobility during crises. In *submitted paper*, 2017.
- [9] G. Boella and L. van der Torre. Substantive and procedural norms in normative multiagent systems. *Journal of Applied Logic*, 6 :152–171, 2008.
- [10] J.-M. Burkhardt, V. Corneloup, C. Garbay, Y. Bourrier, F. Jambon, V. Luengo, A. Job, P. Cabon, A. Benabbou, and D. Lourdeaux. Simulation and virtual reality-based learning of non-technical skills in driving : critical situations, diagnostic and adaptation. *IFAC-PapersOnLine*, 49(32) :66–71, 2016.
- [11] P. Caire. A normative multi-agent systems approach to the use of conviviality for digital cities. In *COIN*, volume III, pages 245–260, 2007.
- [12] C. Cramton. The mutual knowledge problem and its consequences for dispersed collaboration. *Organization Science*, 12(3) :346–371, 2001.
- [13] J. Dugdale, N. Bellamine, F. Zouai, and B. Pavard. Coupling agent based simulation with dynamic networks analysis to study the emergence of mutual knowledge as a percolation phenomenon. *J. Systems Science and Complexity*, 29(5) :1358–1381, 2016.
- [14] J. Dugdale, B. Pavard, and J. L. Soubie. A pragmatic development of a computer simulation of an emergency call centre. In Rose Dieng et al., editor, *Designing Cooperative Systems. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. IOS Press, 2000.
- [15] N. I. Karacapilidis. E-collaboration support systems : Issues to be addressed. In *Encyclopedia of Information Science and Technology*, volume 2, pages 939–945. IGI Global, 2005.
- [16] M. T. Kinatader, E. D. Kuligowski, P. A. Reneke, and R. D. Peacock. A Review of Risk Perception in Building Fire Evacuation. NIST Technical Note 1840, NIST, 2014.
- [17] R. M. Krauss and S. R. Fussell. Mutual knowledge and communicative effectiveness. In J. Galegher, R. Kraut, and C. Egido, editors, *Intellectual Teamwork : Social and Technical Bases of Collaborative Work*. Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1990.
- [18] A. R. Mawson. *Mass panic and social attachment : the dynamics of human behavior*. Ashgate, 2007.
- [19] L. V. Minh, C. Adam, B. Gaudou, H. T. Vinh, and P. Taillandier. Simulation of emotion dynamics in a group of agents in an evacuation situation. In *Principles and Practice of MAS (PRACSYS)*, volume 7057 of *LNAI*, pages 604–619. Springer, 2011.
- [20] R. Nair, M. Tambe, and S. Marsella. The role of emotions in multiagent teamwork. In J.-M. Fellous and M. Arbib, editors, *Who needs emotions : the brain meets the robot*, pages 311–329. Oxford University Press, 2005.
- [21] P. Noriega, A. K. Chopra, N. Fornara, H. Lopes Cardoso, and M. Singh. Regulated MAS : Social perspective. *Normative MAS*, 4 :93–133, 2013.
- [22] P. Rauwolf, T. Balke, and M. De Vos. Modelling normative awareness : First considerations. In *Social Coord. : Principles, Artefacts & Theories*, 2013.
- [23] S. Rhee. Shared emotions and group effectiveness : the role of broadening-and-building interactions. *Academy of management Proceedings*, 2006(1) :B1–B6, August 2006.
- [24] L. Rognin, P. Salembier, and M. Zouinar. Cooperation, interactions and socio-technical reliability : the case of air-traffic control. comparing french and irish settings. In *Eur. Conf. Cog. Ergonomics*, 1998.
- [25] P. Shaver, J. Schwartz, D. Kirson, and C. O’connor. Emotion knowledge : further exploration of a prototype approach. *Journal of personality and social psychology*, 52(6) :1061, 1987.
- [26] G. Stasser and W. Titus. Effects of information load and percentage of shared information on the dissemination of unshared information during group discussion. *Journal of personality and social psychology*, 53(1) :81, 1987.
- [27] P. Taillandier, M. Bourgeois, P. Caillou, C. Adam, and B. Gaudou. A situated BDI agent architecture for the gama modelling and simulation platform. In *MABS @ AAMAS*. MABS, 2016.
- [28] L. Thévin, J. Dugdale, O. Boissier, and C. Garbay. Evaluating plans and human response using a normative multi-agent system. In *ISCRAM*, 2016.
- [29] C. von Scheve, D. Moldt, J. Fix, and R. von Luede. My agents love to conform : Norms and emotion in the micro-macro link. *Comput Math Organiz Theory*, 12 :81–100, 2006.