



**HAL**  
open science

## Cognition, émotions et relations sociales pour la simulation multi-agent

Mathieu Bourgais, Patrick Taillandier, Laurent Vercouter

► **To cite this version:**

Mathieu Bourgais, Patrick Taillandier, Laurent Vercouter. Cognition, émotions et relations sociales pour la simulation multi-agent. Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents JFSMA, Jul 2017, Caen, France. hal-02733682

**HAL Id: hal-02733682**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02733682>**

Submitted on 2 Jun 2020

**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.

## Cognition, émotions et relations sociales pour la simulation multi-agent

M Bourgais, P Taillandier, Laurent Vercouter

► **To cite this version:**

M Bourgais, P Taillandier, Laurent Vercouter. Cognition, émotions et relations sociales pour la simulation multi-agent. JFSMA 2017, Jul 2017, Caen, France. hal-01759683

**HAL Id: hal-01759683**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01759683>**

Submitted on 5 Apr 2018

**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.

# Cognition, émotions et relations sociales pour la simulation multi-agent

M. Bourgais<sup>a,b</sup>  
mathieu.bourgais@insa-rouen.fr

P. Taillandier<sup>c</sup>  
patrick.taillandier@gmail.com

L. Vercouter<sup>a</sup>  
laurent.vercouter@insa-rouen.fr

<sup>a</sup>Normandie Univ, INSA Rouen, UNIHAVRE, UNIROUEN, LITIS  
76000 Rouen, France

<sup>b</sup>Normandie Univ, UNICAEN, UNIHAVRE, UNIROUEN, CNRS, IDEES  
76000 Rouen, France

<sup>c</sup>MIAT, INRA, 31000 Toulouse, France

## Résumé

*Les simulations sociales ont besoin d'agents au comportement réaliste pour être utilisées comme outil scientifique par les sciences sociales. La simulation d'une société humaine avec un comportement crédible implique l'utilisation de cognition, de liens sociaux entre les personnes ainsi que la prise en compte des émotions et des dynamiques entre ces composants. Cependant, développer un tel comportement est souvent trop complexe pour des chercheurs ayant peu de connaissances en programmation. Dans cet article, nous présentons un formalisme qui a pour but de représenter la cognition, les relations sociales et les émotions et qui est intégré dans une architecture d'agent pour donner un comportement émotionnel dynamique à des agents sociaux. Cette architecture est implémentée dans la plateforme multi-agent open-source GAMA. Un cas d'étude d'évacuation lors d'un incendie de brousse en Australie est utilisé pour montrer le potentiel de nos travaux.*

**Mots-clés :** *Simulations sociales, Émotions, Cognition, Architecture agent*

## Abstract

*Social Simulations need agents with a realistic behavior to be used as a scientific tool by social scientists. When simulating a human society, a realistic behavior implies the use of cognition, social relations between people but also to take into account emotions and the dynamic between these features. However, developing such a behavior is often too complex for people with little knowledge in programming. In this paper, we present a formalism to represent cognition, social relations and emotions, which is integrated in an agent architecture to give a dynamic emotional behavior to social agents. This architecture is implemented in the open-source multi-agent platform GAMA. A use case about eva-*

*uation during bush fires in Australia is used to show the possibilities of our work.*

**Keywords:** *Social Simulation, Emotions, Cognition, Agent Architecture*

## 1 Introduction

La simulation multi-agent est devenu un outil important, spécialement en sciences sociales où elle est utilisée pour étudier des systèmes complexes composés de centaines ou de milliers d'humains simulés. Pour augmenter la précision des résultats obtenus avec ces simulations sociales, il est important qu'elle soit aussi proche que possible des cas réels étudiés. Cette recherche du réalisme conduit à l'utilisation d'agent sociaux crédibles, c'est à dire des agents possédant de plus en plus de composantes sociales [35].

Prenons l'exemple des feux de brousses en Australie étudié grâce aux simulations multi-agents [2]. Dans cette étude, le but était de simuler l'évacuation d'une zone ouverte dans le contexte d'un incendie de brousse en Australie. Les auteurs ont utilisé une architecture BDI [8] pour la modélisation de la cognition des agents mais dans cette situation, une personne réagit aussi en fonction de ses émotions ainsi que de ses relations sociales.

Dans cet article, nous nous intéressons à ce problème en intégrant à une architecture d'agent cognitive la possibilité de définir des émotions et des relations sociales dynamiques. Le but principal est de fournir un formalisme pour la création d'émotions par la cognition ainsi que pour l'évolution des relations sociales en fonction des états mentaux d'un agent. Ce formalisme est ensuite intégré à une architecture d'agent. La facilité d'utilisation du mo-

dèle proposé est une considération majeure du travail décrit ici afin qu'il puisse être manipulé par des chercheurs venant des sciences sociales qui n'ont pas nécessairement des compétences avancées en programmation. Notre travail a été implémenté dans la plateforme open-source GAMA [14]. Le principal avantage de cette intégration est de bénéficier du langage de modélisation offert par GAMA qui a pour but de faciliter l'utilisation de la plateforme par des modélisateurs non expert en programmation.

Cet article est structuré comme suit. En section 2, nous discutons des travaux existants pour créer des agents sociaux possédant une cognition, des émotions ou des relations sociales. En Section 3, nous proposons un formalisme utilisé pour organiser les états mentaux de l'agent en termes de cognition, d'émotions et de relations sociales. L'architecture développée à partir du formalisme proposée est présentée en section 4. Dans la section 5, nous présentons un exemple pour illustrer la façon dont notre architecture peut être utilisée sur un modèle d'évacuation. Finalement, la Section 6 sert de conclusion.

## 2 État de l'art

Créer des agents vraisemblables est un point crucial dans le domaine des simulations sociales. Dans cette section, nous présentons différents travaux traitant de l'intégration de la cognition, des émotions ou des relations sociales dans des agents pour améliorer le réalisme de simulations sociales.

### 2.1 Des agents sociaux cognitifs

Définir le comportement d'agents avec des notions relatives à la cognition humaine est une première étape dans l'optique d'augmenter le réalisme des simulations sociales [3]. Pour cela, des architectures cognitives ont été proposées parmi lesquelles l'architecture BDI [8] qui est la mieux adaptée au contexte de la simulation [3]. Le paradigme BDI utilise la logique modale [9] pour définir les concepts de croyances (Beliefs en anglais), désires (Desires en anglais) et d'intentions (Intentions en anglais) qui composent les états mentaux de l'agent. Ce paradigme fournit aussi des liens logiques entre ces concepts ainsi qu'une base de plans d'actions permettant de donner un comportement cognitif aux agents.

Pour faciliter son utilisation, l'architecture BDI a été implémentée dans différents frameworks.

Un framework classique est le Procedural Reasoning Systems (PRS) [21] qui est basé sur trois étapes : une perception de l'environnement pour mettre à jour la base des croyances, une délibération entre les désirs et l'état du monde et finalement la sélection d'une action à exécuter. PRS sert de base à d'autres frameworks comme JACK [15] ou Jadex [26].

Certains chercheurs ont tenté d'intégrer l'architecture BDI à des plateformes de modélisation et de simulation. Une extension à NetLogo [39] implémente une version simplifiée de l'architecture BDI à des fins éducatives [30]. Sing et Padgham [32] ont décidé de connecter une plateforme multi-agent avec un framework BDI existant (Jack ou Jadex par exemple) et, dans le même esprit, une application connectant la plateforme Matsim [4] avec le framework GORITE BDI [28] a été proposée.

### 2.2 Architectures émotionnelles

Différents travaux ont montré que l'ajout d'émotions dans des agents augmente la crédibilité de leur comportement [5] [22]. Cette amélioration de vraisemblance est utile dans le cas de simulations sociales dont le but est de produire des simulations aussi réalistes que possible.

En psychologie, il n'y a pas de consensus sur une unique théorie émotionnelle. La théorie la plus utilisée en intelligence artificielle est la théorie de l'évaluation cognitive des émotions [31] [33] et plus particulièrement la théorie OCC [25] qui a été spécialement développée pour intégrer des émotions en intelligence artificielle.

Le modèle OCC des émotions définit vingt-deux émotions distribuées en onze paires en fonction de l'appréciation cognitive d'une situation par un agent. Cette appréciation cognitive est réalisée selon trois aspects : les conséquences des événements, les actions des autres agents et l'aspect des objets.

Différentes implémentations de systèmes émotionnels pour des simulations multi-agent ont été proposées. Par exemple, DETT (Disposition, Emotion, Trigger, Tendency) [38] considère la perception d'une situation comme la condition de déclenchement du mécanisme de création d'émotions suivant la théorie OCC. Gratch et Marsella proposent une approche différente avec leur modèle EMA [13] qui prend en compte non seulement la création des émotions

en se basant sur l'appréciation d'une situation par le biais de variables d'appréciations mais aussi le comportement induit par l'émotion sur la cognition de l'agent. Finalement, eBDI [17] propose d'intégrer directement le modèle OCC dans une architecture BDI.

### 2.3 Des relations sociales en simulation multi-agent

Puisque les personnes créent des relations sociales en vivant avec d'autres personnes, il paraît logique de modéliser des relations sociales entre des agents simulant des humains. Dans [29], le comportement des agents est calculé à partir d'un modèle socio-physiologique comprenant une personnalité, des émotions et une attitude de l'agent envers son environnement. Dans un autre cas, Gratch [12] ajoute un niveau social à son architecture pour modifier le comportement d'un agent en fonction de l'état social du monde.

Dans ces modèles d'agents sociaux, les relations sociales sont représentées avec un nombre fini de variables, chacune définissant une dimension précise de la relation. Ces variables correspondent à celles présentes dans le modèle dimension des relations interpersonnelles de Svennevig [36] :

- Le degré d'**appréciation** envers un autre agent [16].
- Le degré de **dominance** qu'un agent a sur un autre [29]. Cela représente le niveau de puissance qu'un agent pense avoir sur un autre.
- Le degré de **solidarité** aussi connu comme la distance sociale [6]. Il indique les similarités en terme de désirs, croyances et valeurs entre deux agents.
- Le degré de **familiarité** qui caractérise le nombre et le type (privé ou public) d'informations qui peuvent être transmises à un autre agent [6].

Dans, les travaux cités précédemment les relations sociales sont étudiées comme des facteurs de changement comportemental, ils sont donc définis comme des variables statiques. Pourtant, de façon évidente, une relation sociale entre deux personnes peut évoluer dans le temps. Pour répondre à ce problème, Ochs [23] a proposé une architecture agent incluant la personnalité et utilisant les émotions pour donner une dynamique aux relations sociales de personnages non jouables dans des jeux vidéo.

### 2.4 Synthèse

Dans le contexte de la simulation sociale, qui pose des problèmes de passage à l'échelle et de simplicité de prise en main, ces trois notions, la cognition, les émotions et les relations sociales, non jamais été combinées pour fournir un comportement réaliste à des humains simulés. De plus, chacun de ces concepts n'a jamais été implémenté de sorte qu'il soit simple à utiliser pour des scientifiques venant des sciences sociales qui n'ont pas un niveau élevé en programmation.

Cet article a pour but de proposer une architecture pour les simulations sociales incluant la cognition, les émotions et les relations sociales et pouvant être utilisée par des modélisateurs ne possédant qu'un niveau basique en programmation. Cette architecture est développée de façon générique puis implémentée dans la plateforme de modélisation et de simulation multi-agent GAMA [14] qui a prouvé sa facilité de prise en main [20] [27] grâce à son langage de modélisation, le GAML, que nous avons étendu pour pouvoir utiliser notre architecture.

## 3 Création d'émotions et de relations sociales par la cognition

La principale contribution de cet article consiste à définir un formalisme pour représenter et pour articuler les états mentaux d'un agent social. Ces états mentaux sont composés d'un état cognitif, d'un état émotionnel et de relations sociales avec les autres agents.

### 3.1 Représenter les états mentaux des agents

**Représenter la cognition avec des prédicats.** La partie cognitive de notre architecture est basée sur le paradigme BDI [8], dans lequel les agents possèdent une base des croyances, une base des désirs ainsi qu'une base des intentions pour stocker les états cognitifs à propos du monde. Nous utilisons aussi une base des croyances incertaines attendues, appelée base des incertitudes, qui est utilisée lors de la création d'émotions à propos de faits attendus sans certitude.

Pour représenter cette connaissance, nous utilisons des prédicats. Un prédicat unifie la représentation des informations sur le monde ce qui signifie que cela peut représenter une situation,

un évènement ou une action. Puisque le but de ce travail est de créer des émotions à partir de la cognition sur des évènements ou sur la valeur des actions des autres agents, nous représentons une information  $P$  causée par un agent  $j$  avec une valeur d'appréciation morale  $pr$  par  $\mathbf{P}_{j,pr}$ . La valeur d'appréciation morale peut être positive (dans ce cas, l'information  $P$  est louable) ou négative (dans ce cas, l'information  $P$  est blâmable). Un prédicat  $\mathbf{P}_j$  représente une information causée par un agent  $j$  avec n'importe quelle valeur d'appréciation morale alors qu'un prédicat  $\mathbf{P}$  représente une information causée par n'importe quel agent avec n'importe quelle valeur d'appréciation morale. Nous représentons l'opposé d'un prédicat  $P$  par **non P**.

En fonction de la base dans laquelle il est stocké, un prédicat peut être considéré comme une croyance, une croyance incertaine ou un désir et cela est représenté de la façon suivante :

- **Croyance $_i(\mathbf{P})$**  : indique que le prédicat  $P$  appartient à la base des croyances de l'agent  $i$ .
- **Attendu $_i(\mathbf{P})$**  : indique que le prédicat  $P$  appartient à la base des incertitudes de l'agent  $i$ .
- **Desir $_i(\mathbf{P})$**  : indique que le prédicat  $P$  appartient à la base des désirs de l'agent  $i$ .

### Représentation formelle des émotions.

Pour la définition des émotions, nous basons notre travail sur la théorie des émotions OCC [25]. Selon cette théorie, une émotion est une réponse évaluée à l'appréciation d'une situation. Comme nous utilisons les émotions pour mettre à jour dynamiquement les relations sociales entre agent, notre définition des émotions a aussi besoin de contenir l'agent qui a causé l'émotion. Avec cette définition, nous représentons une émotion par  $\mathbf{E}_i(\mathbf{P},\mathbf{A},\mathbf{I},\mathbf{D})$  avec les éléments suivant :

- $\mathbf{E}_i$  : le nom de l'émotion ressentie par l'agent  $i$ .
- $\mathbf{P}$  : le prédicat représentant le fait à propos duquel l'émotion est ressentie.
- $\mathbf{A}$  : l'agent causant l'émotion.
- $\mathbf{I}$  : l'intensité de l'émotion.
- $\mathbf{D}$  : la valeur de décroissance de l'intensité de l'émotion dans le temps.

Par exemple, si un agent Alice ressent de la peur à propos d'une action  $P$  causée par l'agent Bob avec une intensité de 4.5 et une décroissance de 0.6, cela sera représenté par l'émotion  $\text{Peur}_{\text{Alice}}(\mathbf{P}_{\text{Bob}},\text{Bob},4.5,0.6)$ . Une émotion sans

intensité spécifique ou sans décroissance est représentée par  $\mathbf{E}_i(\mathbf{P},\mathbf{A})$  et une émotion ne possédant qu'un fait comme cause est représentée par  $\mathbf{E}_i(\mathbf{P})$ .

**Formalisation des relations sociales.** En se basant sur le travail de Svennevig [36] exposé en section 2, nous définissons un lien social avec un autre agent par le tuple <agent, appréciation, dominance, solidarité, familiarité> avec les éléments suivants :

- **Agent** : l'agent concerné par le lien, identifié par son nom.
- **Appréciation** : une valeur réelle comprise entre -1 et 1 représentant le degré d'appréciation avec l'agent concerné par le lien. Une valeur de -1 indique que l'agent concerné est détesté, une valeur de 1 indique que l'agent est adoré.
- **Dominance** : une valeur réelle comprise entre -1 et 1 représentant le degré de pouvoir exercé sur l'agent concerné par le lien. Une valeur de -1 indique que l'agent concerné est dominant, une valeur de 1 indique l'agent concerné est dominé.
- **Solidarité** : une valeur réelle comprise entre 0 et 1 représentant le degré de solidarité avec l'agent concerné par le lien. Une valeur de 0 indique qu'il n'y a aucune solidarité avec l'agent concerné, une valeur de 1 indique une totale solidarité avec l'agent concerné.
- **Familiarité** : une valeur réelle comprise entre 0 et 1 représentant le degré de familiarité avec l'agent concerné par le lien. Une valeur de 0 indique qu'il n'y a aucune familiarité, une valeur de 1 indique une totale familiarité avec l'agent concerné.

## 3.2 Créer du dynamisme dans les émotions et les relations sociales

**Création dynamique d'émotions.** Nous basons la création automatique des émotions par rapport aux états mentaux de l'agent sur le modèle OCC [25] et son formalisme logique [1] qui a été proposé pour intégrer le modèle OCC dans une architecture BDI.

Selon la théorie OCC, les émotions peuvent être divisées en trois groupes : les émotions liées aux évènements, les émotions liées aux personnes et aux actions commises par ces personnes et enfin les émotions liées aux objets. Dans ce travail,

comme nous nous focalisons sur les relations entre des agents sociaux, nous ne travaillons que sur les deux premiers groupes d'émotions (les émotions liées aux situations et les émotions liées aux personnes et à leurs actions) ce qui signifie que nous laissons de côté les émotions liées aux objets.

Les vingt émotions définies dans cet article peuvent être divisées en trois parties : huit émotions liées aux événements, quatre émotions en lien avec les autres agents et huit émotions liées aux actions des agents.

Les huit émotions en lien avec les événements ont la définition suivante :

- **Joie** $_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) = \text{Croyance}_i(\mathbf{P}_j) \ \& \ \text{Desir}_i(\mathbf{P})$
- **Tristesse** $_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) = \text{Croyance}_i(\mathbf{P}_j) \ \& \ \text{Desir}_i(\text{non } \mathbf{P})$
- **Espoir** $_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) = \text{Attendu}_i(\mathbf{P}_j) \ \& \ \text{Desir}_i(\mathbf{P})$
- **Peur** $_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) = \text{Attendu}_i(\mathbf{P}_j) \ \& \ \text{Desir}_i(\text{non } \mathbf{P})$
- **Satisfaction** $_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) = \text{Espoir}_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) \ \& \ \text{Croyance}_i(\mathbf{P}_j)$
- **Déception** $_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) = \text{Espoir}_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) \ \& \ \text{Croyance}_i(\text{non } \mathbf{P}_j)$
- **Soulagement** $_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) = \text{Peur}_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) \ \& \ \text{Croyance}_i(\text{non } \mathbf{P}_j)$
- **Peur Confirmée** $_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) = \text{Peur}_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) \ \& \ \text{Croyance}_i(\mathbf{P}_j)$

En plus de ces définitions, selon le formalisme logique [1], quatre règles peuvent être définies :

- La création de **peur confirmée** ou la création de **soulagement** remplace l'émotion de **peur**.
- La création de **satisfaction** ou la création de **déception** remplace l'émotion d'**espoir**.
- La création de **satisfaction** ou de **soulagement** mène à la création de **joie**.
- La création de **déception** ou de **peur confirmée** mène à la création de **tristesse**.

Les quatre émotions liées aux autres agents ont la définition suivante :

- **Content pour** $_i(\mathbf{P}, \mathbf{j}) = i \ \text{apprécie } j \ \& \ \text{Joie}_j(\mathbf{P})$
- **Désolé pour** $_i(\mathbf{P}, \mathbf{j}) = i \ \text{apprécie } j \ \& \ \text{Tristesse}_j(\mathbf{P})$
- **Resentiment** $_i(\mathbf{P}, \mathbf{j}) = i \ \text{n'apprécie pas } j \ \& \ \text{Joie}_j(\mathbf{P})$
- **Jubilation** $_i(\mathbf{P}, \mathbf{j}) = i \ \text{n'apprécie pas } j \ \& \ \text{Tristesse}_j(\mathbf{P})$

Les termes "i apprécie j" et "i n'apprécie pas j" ont la définition suivante :

- **i apprécie j** : l'agent  $i$  possède une relation sociale avec l'agent  $j$  avec une valeur d'appréciation positive.
- **i n'apprécie pas j** : l'agent  $i$  possède une relation sociale avec l'agent  $j$  avec une valeur d'appréciation négative.

Finalement, les huit émotions liées aux actions réalisées par des agents ont la définition suivante :

- **Fierté** $_i(\mathbf{P}_i, \mathbf{i}) = \text{Croyance}_i(\mathbf{P}_i) \ \& \ \mathbf{P}_i \ \text{louable}$
- **Honte** $_i(\mathbf{P}_i, \mathbf{i}) = \text{Croyance}_i(\mathbf{P}_i) \ \& \ \mathbf{P}_i \ \text{blâmable}$
- **Admiration** $_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) = \text{Croyance}_i(\mathbf{P}_j) \ \& \ \mathbf{P}_j \ \text{louable}$
- **Reproche** $_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) = \text{Croyance}_i(\mathbf{P}_j) \ \& \ \mathbf{P}_j \ \text{blâmable}$
- **Gratification** $_i(\mathbf{P}_i, \mathbf{i}) = \text{Fierté}_i(\mathbf{P}_i, \mathbf{i}) \ \& \ \text{Joie}_i(\mathbf{P}_i)$
- **Remords** $_i(\mathbf{P}_i, \mathbf{i}) = \text{Honte}_i(\mathbf{P}_i, \mathbf{i}) \ \& \ \text{Tristesse}_i(\mathbf{P}_i)$
- **Gratitude** $_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) = \text{Admiration}_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) \ \& \ \text{Joie}_i(\mathbf{P}_j)$
- **Colère** $_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) = \text{Reproche}_i(\mathbf{P}_j, \mathbf{j}) \ \& \ \text{Tristesse}_i(\mathbf{P}_i)$

Les termes "louable" et "blâmable" ont la définition suivante :

- **louable** : indique que le fait  $P$  a une valeur d'appréciation morale positive.
- **blâmable** : indique que le fait  $P$  a une valeur d'appréciation morale négative.

**Mettre à jour automatiquement les relations sociales.** Comme expliqué dans la section 2, certains travaux ont montré que les relations sociales sont faites pour être dynamiques. En se basant sur les précédents travaux de Ochs [23], nous intégrons dans notre architecture un moteur social qui met à jour les liens sociaux d'un agent en fonction de sa cognition et de son état émotionnel.

Par la suite, nous étudions la mise à jour du lien social  $\langle j, \text{Appréciation}, \text{Dominance}, \text{Solidarité}, \text{Familiarité} \rangle$  possédé par l'agent  $i$ . Chaque variable de ce lien social évolue selon sa propre règle.

- **Appréciation** : selon Ortony [24], le degré d'appréciation entre deux agents dépend de la valence (positive ou négative) de l'émotion causée par l'agent concerné

par le lien. Dans notre modèle, *joie* et *espoir* sont considérées comme des émotions positives (*satisfaction* et *soulagement* créent automatiquement de la *joie* dans notre moteur) tandis que *tristesse* et *peur* sont considérées comme des émotions négatives (*peur confirmée* et *déception* créent automatiquement de la *tristesse* dans notre moteur). Cette évolution est réalisée par un niveau fixe pour chaque émotion positive ou négative impliquée. Ainsi, cette évolution ne dépend pas de l'intensité de l'émotion concernée puisque notre moteur crée des émotions sans intensité.

De plus, certains travaux ont montré que le degré d'appréciation est influencé par la valeur de solidarité [34]. La règle de calcul de mise à jour de l'appréciation peut être formalisée comme suit avec  $nbPE(t)$  le nombre d'émotions positives causées par l'agent  $j$  à l'agent  $i$  au temps  $t$ ,  $nbNE(t)$  le nombre d'émotions négatives causées par l'agent  $j$  à l'agent  $i$  au temps  $t$  et  $\alpha$  le coefficient d'évolution compris entre 0 et 1 :

$$\begin{aligned} appreciation(t+1) &= appreciation(t) * \\ & * (1 + solidarite(t)) + \\ & + \alpha * (nbPE(t+1) - nbNE(t+1)) \end{aligned}$$

- **Dominance** : Keltner et Haid [18] expliquent qu'une émotion de peur ou de tristesse causée par un autre agent représente un statut inférieur. Mais Knutson [19] explique que percevoir de la peur ou de la tristesse chez les autres augmente le sentiment de pouvoir sur ces personnes. La règle de calcul peut être formalisée comme suit avec  $nbONE(t)$  le nombre d'émotions négatives causées par l'agent  $i$  sur l'agent  $j$  au temps  $t$  et  $nbSNE(t)$  le nombre d'émotions négatives causées par l'agent  $j$  à l'agent  $i$  au temps  $t$  :

$$\begin{aligned} dominance(t+1) &= dominance(t) + \\ & + \alpha * (nbONE(t+1) - nbSNE(t+1)) \end{aligned}$$

- **Solidarité** : comme expliqué en section 2, la solidarité représente le degré de similarité des désirs, croyances et attentes entre deux agents. Dans notre travail, l'évolution de la valeur de solidarité dépend du ratio de similarité en terme de désirs, croyances et attentes entre l'agent  $i$  et l'agent  $j$ . Nous comparons les bases

de désirs, de croyances et d'incertitudes des deux agents et nous cherchons les similarités (lorsque les prédicats sont égaux) et les différences (lorsque les prédicats sont de valeur de vérité opposée mais égaux sur le reste). De plus selon de Riviera et Grinkis [11], les émotions négatives ont tendance à réduire la valeur de solidarité entre deux personnes. La règle de calcul peut être formalisée comme suit avec  $nbS(t)$  le nombre de similarités au temps  $t$  et  $nbD(t)$  le nombre de différences au temps  $t$  :

$$\begin{aligned} solidarite(t+1) &= solidarite(t) + \\ & + \alpha (nbS(t+1) - nbD(t+1) - nbNE(t+1)) \end{aligned}$$

- **Familiarité** : En psychologie, les émotions et la cognition ne semblent pas avoir d'impact sur la familiarité. Cependant, Collins et Miller [10] expliquent que les personnes ont tendance à être plus familier avec les autres personnes qu'elles apprécient. Nous modélisons cette notion en basant l'évolution de la valeur de familiarité sur la valeur d'appréciation entre deux agents. La règle de calcul peut être formalisée comme suit :

$$\begin{aligned} familiarite(t+1) &= familiarite(t) * \\ & * (1 + appreciation(t+1)) \end{aligned}$$

## 4 Une architecture agent mêlant cognition, émotions et relations sociales

Le formalisme proposé dans cet article a été utilisé pour améliorer une architecture agent existante [7] dans le but de faciliter la définition d'agents sociaux avec des comportements prenant en compte la cognition, les émotions et les relations sociales. La nouvelle architecture obtenue est représentée par le schéma en figure 1.

Dans cette architecture, les bases cognitives de l'agent (croyances, incertitudes, désirs, intentions) contiennent des prédicats décrits en section 3, la base des émotions et la base des relations sociales contiennent respectivement des émotions et des relations sociales selon le formalisme décrit en section 3.

La première étape du cycle de raisonnement de l'agent avec notre architecture est la perception de l'environnement (étape 1 sur la figure 1). Les perceptions permettent de mettre à jour les



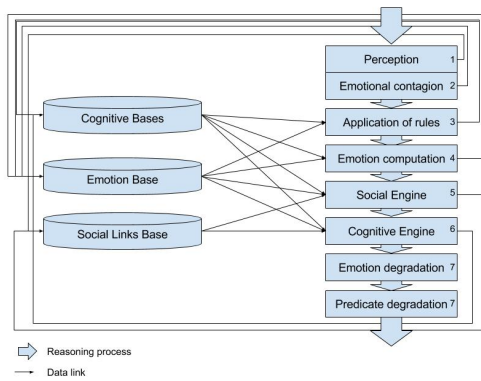


FIGURE 1 – Schéma de l'architecture cognitive, émotionnelle et sociale

croances de l'agent et de créer des liens sociaux avec les autres agents rencontrés. Cette perception peut être paramétrée, avec une distance de perception par exemple. Une contagion émotionnelle est réalisée (étape 2) mais nous ne détaillons pas le processus car ce n'est pas l'objet de cet article.

Ensuite, l'agent applique des règles d'inférence (étape 3), définies par le modélisateur, pour modifier ses bases de croyances et de désirs en fonction de ses perceptions. Cette étape donne de la dynamique au comportement global car l'agent peut agir en fonction d'une modification de l'environnement. Ces règles d'inférence peuvent être influencées par des émotions ou des relations sociales.

Le module de calcul émotionnel (étape 4) est un moteur qui crée automatiquement, sans intervention du modélisateur, des émotions en fonctions des règles définies dans la section 3.2.

Le moteur social (étape 5) est utilisé pour mettre à jour dynamiquement les relations sociales de l'agent en fonction des règles énoncées en section 3.2.

Le moteur cognitif (étape 6) est basé sur le paradigme BDI et sélectionne un désir pour en faire une intention. Il sélectionne ensuite un plan décrit par le modélisateur pour répondre à l'intention courante. Ce processus est influencé par les bases cognitives mais aussi par les émotions et les relations sociales et peut, par l'exécution de plan, modifier ces mêmes bases. Le moteur cognitif est décrit en détail dans [37].

L'étape finale du cycle de raisonnement est la dégradation de la connaissance de l'agent (étape 7). Les prédicats stockés voient leur durée de vie

baïsser et l'intensité des émotions est réduite en fonction de la valeur de décroissance. Ce mécanisme offre une dynamique temporelle au comportement de l'agent.

Cette architecture (avec sa nouvelle extension) a été implémentée dans la plateforme GAMA [14]. Les modélisateurs peuvent déjà l'utiliser - avec simplement quelques lignes de code - à travers le langage de modélisation de GAMA.

## 5 Cas d'exemple

L'architecture exposée en section 4 a été utilisée sur le cas d'exemple de l'évacuation d'une grande zone ouverte subissant un feu de brousse en Australie.

### 5.1 Feux de brousse en Australie

Les feux de brousse sont une préoccupation importante en Australie car ils tuent des gens et détruisent des propriétés chaque année. Une étude a été menée pour simuler l'évacuation d'une zone pendant un incendie de brousse en utilisant une architecture BDI pour gérer le comportement des agents [2]. Si le modèle BDI proposé montre des résultats intéressants sur la réplification de situation réelle, il montre quelques limites puisqu'il ne prend pas en compte le comportement induit par les émotions ou les relations sociales.

Le but de cet exemple, dans notre travail, n'est pas de proposer un modèle réaliste pour simuler l'évacuation d'une zone pendant un incendie mais de montrer comment utiliser les émotions et les relations sociales fournies par notre architecture. Nous prenons comme base le modèle développé par [2] et nous expliquons comment ajouter des émotions et des relations sociales et comment prendre en compte ces composants dans le comportement des agents.

### 5.2 Description du modèle de base

Le modèle de base est fait d'un environnement composé de bâtiments, d'abris et d'incendies et définit des agents civils qui essaient de survivre. Les abris sont des endroits sûrs qui ne peuvent pas être endommagés par le feu tandis que les bâtiments peuvent brûler. Les feux sont placés aléatoirement dans l'environnement et, au cours de la simulation, ils peuvent grossir, se propager, brûler des bâtiments et des gens et, enfin, disparaître.

Les agents civils ont deux comportements principaux : soit ils restent dans leur habitation et ils combattent l'incendie ou alors ils fuient vers l'abri connu le plus proche. En fonction de leurs motivations ils choisissent l'intention de rester ou de fuir. Si la motivation de fuir devient plus grande que la motivation de rester, l'agent peut décider d'abandonner le combat contre l'incendie et essayer de fuir vers un abri.

### 5.3 Implémentation de l'exemple utilisant l'architecture développée

#### Ajout de relations sociales entre agents.

Nous proposons d'améliorer le comportement des agents en terme de réalisme en leur donnant des relations sociales. Les liens sociaux entre les agents peuvent être inclus au démarrage de la simulation ou peuvent apparaître dynamiquement au cours de la simulation.

Un exemple de relation sociale qui peut exister au début de la simulation est la relation familiale. Dans le contexte des incendies de brousse, on peut aisément imaginer que deux membres d'une même famille vont essayer de s'aider entre eux pour survivre à la catastrophe.

Du point de vue de l'implémentation, le modélisateur a simplement besoin d'ajouter un lien familial lors de la phase d'initialisation des agents. Cette relation peut être représentée par un lien social envers le membre de la famille avec une valeur de familiarité à 1.0 comme montré en figure 2.

```
do add_social_link(  
  new_social_link(familyMember) set_familiarity 1.0  
);
```

FIGURE 2 – Définition d'un lien familial

Les relations sociales peuvent aussi être utilisées dynamiquement lorsque les agents s'échappent vers des abris sans en connaître la localisation précise. En rencontrant un autre agent qui s'échappe, un lien social est créé. Si la valeur de solidarité du lien est assez élevée, les deux agents vont s'entraider pour aller vers un abri.

Après avoir créé dynamiquement une relation sociale comme montrée dans la figure 3, le modélisateur a simplement besoin de modifier le plan pour s'échapper afin de suivre un agent avec lequel un lien social avec une valeur de solidarité de 1.0 existe si l'emplacement de l'abri n'est pas connu.

```
perceive target: pedestrianBDI{  
  socialize;  
}
```

FIGURE 3 – Définition d'une création dynamique de lien social

**Créer des émotions pour changer le comportement des agents.** Pour ajouter des émotions aux agents civils, nous utilisons le module émotionnel de notre architecture qui crée automatiquement des émotions en fonction des états mentaux de l'agent.

La simulation se lance une première fois sans émotion en tant que session d'entraînement pour les agents civils. Un agent qui a décidé de fuir après avoir combattu l'incendie est fier d'avoir fui s'il est vivant et si sa maison est détruite à la fin de la session d'entraînement. Cette émotion de fierté augmente sa motivation à fuir dans le cas d'un futur incendie car il saura que sa maison ne peut pas être protégée des flammes. S'il est vivant mais que sa maison n'est pas détruite, il aura honte de s'être échappé et cette émotion va réduire sa motivation à fuir pour un futur cas. D'autres règles de ce genre peuvent être définies par le modélisateur, permettant de créer des émotions à la suite d'une session d'entraînement.

L'implémentation consiste à ajouter la croyance que l'agent est mort ou vivant, a essayé de fuir ou non ou encore si sa maison est détruite ou non à la fin de l'entraînement comme montré par la figure 4

Ensuite, le modélisateur peut définir des règles pour modifier les motivations de l'agent en fonction de ses émotions comme expliqué en figure 5. Les émotions générées lors de l'entraînement pourront alors servir dans une deuxième phase de la simulation qui reproduirait véritablement un incendie de brousse. Les agents auront alors un comportement différent de celui qu'ils ont eu en entraînement.

```
do add_belief(flee with_praiseworthiness -1.0);
```

FIGURE 4 – Ajout de la croyance correspondant à l'état de l'agent à la fin de la session d'entraînement

Le modèle complet se trouve à l'adresse suivante :

<https://github.com/mathieuBourgais/ExampleModels>

```

if(has_emotion(shameFlee)){
    if(escape_motivation>0.0){
        escape_motivation <-
            escape_motivation*(1.0-0.2);
    }
}

```

FIGURE 5 – Utilisation d’une émotion de honte pour mettre à jour la motivation de fuite

## 5.4 Discussion

L’implémentation de l’exemple nous montre qu’un modélisateur peut simplement améliorer le comportement de ses agents en écrivant quelques ligne de code en GAML, le langage de programmation de la plateforme GAMA. Comme montré par [20] ou [27], ce langage de programmation est plutôt simple à apprendre et à utiliser par des scientifiques qui ne sont pas expert en programmation.

De plus, des modélisateurs avec plus de connaissances en programmation et en intelligence artificielle peuvent utiliser plus en profondeur notre architecture pour créer des comportements complexes. Par exemple, un expert en théories émotionnelles peut redéfinir manuellement certaines émotions grâce à la définition de règles d’inférences ou alors utiliser plusieurs émotions avec différentes intensités et différents liens sociaux pour créer des agents crédibles pour leurs simulations sociales.

## 6 Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté un formalisme pour utiliser des émotions et des relations sociales dans la modélisation d’agents cognitifs sociaux. Ce formalisme a été intégré dans une architecture agent et implémenté dans une plateforme de simulation multi-agent pour montrer sa facilité d’utilisation du pour des modélisateurs n’ayant que des connaissances basiques en programmation. L’exemple des incendies de brousse en Australie indique une façon d’utiliser notre travail sur la simulation de l’évacuation d’un grand espace ouvert.

Dans l’avenir, nous projetons de mener des expérimentations avec des modélisateurs pour tester la facilité d’utilisation de notre architecture. Nous voulons aussi améliorer notre travail en ajoutant une personnalité ainsi qu’une gestion des normes sociales pour créer des agents sociaux de plus en plus réalistes tout en conservant à l’esprit la contrainte de facilité de prise

en main pour des personnes non expert en programmation.

## Remerciements

Ce travail est réalisé dans le cadre de l’ANR ACTEUR (Agents Cognitifs Territorialisés pour l’Étude des dynamiques Urbaines et des Risques).

## Références

- [1] Carole Adam. Emotions : from psychological theories to logical formalization and implementation in a bdi agent, 2007.
- [2] Carole Adam and Julie Dugdale. Comparing agent architectures in social simulation : Bdi agents versus finite-state machines. In *HICSS*, 2016.
- [3] Carole Adam and Benoit Gaudou. Bdi agents in social simulations : a survey. *The Knowledge Engineering Review*, 2016.
- [4] Michael Balmer, Marcel Rieser, Konrad Meister, David Charypar, Nicolas LeFebvre, Kai Nagel, and K Axhausen. Matsim-t : Architecture and simulation times. *Multi-agent systems for traffic and transportation engineering*, 2009.
- [5] Joseph Bates. The role of emotion in believable agents. *Communications of the ACM*, 1994.
- [6] Timothy Bickmore and Justine Cassell. Relational agents : a model and implementation of building user trust. In *Proceedings of SIGCHI*. ACM, 2001.
- [7] M. Bourgais, P. Taillandier, and L. Vercouter. An agent architecture coupling cognition and emotions for simulation of complex systems. In *SSC*, 2016.
- [8] M Bratman. Intentions, plans, and practical reason. 1987.
- [9] P. R. Cohen and H. J. Levesque. Intention is choice with commitment. 1990.
- [10] Nancy L Collins and Lynn Carol Miller. Self-disclosure and liking : a meta-analytic review. *Psychological bulletin*, 1994.
- [11] Joseph de Rivera and Carmen Grinkis. Emotions as social relationships. *Motivation and emotion*, 1986.
- [12] Jonathan Gratch. Socially situated planning. In *Socially Intelligent Agents*. Springer, 2002.

- [13] Jonathan Gratch and Stacy Marsella. A domain-independent framework for modeling emotion. *Cognitive Systems Research*, 2004.
- [14] Arnaud Grignard, Patrick Taillandier, Benoit Gaudou, Duc An Vo, Nghi Quang Huynh, and Alexis Drogoul. *GAMA 1.6 : Advancing the Art of Complex Agent-Based Modeling and Simulation*. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [15] Nick Howden, Ralph Rönquist, Andrew Hodgson, and Andrew Lucas. Jack intelligent agents-summary of an agent infrastructure. In *5th International conference on autonomous agents*, 2001.
- [16] Katherine Isbister. *Better game characters by design : A psychological approach*. Elsevier San Francisco, 2006.
- [17] Hong Jiang, Jose M Vidal, and Michael N Huhns. Ebdi : an architecture for emotional agents. In *AAMAS*. ACM, 2007.
- [18] Dacher Keltner and Jonathan Haidt. Social functions of emotions. 2001.
- [19] Brian Knutson. Facial expressions of emotion influence interpersonal trait inferences. *Journal of Nonverbal Behavior*, 1996.
- [20] EG Macatulad and AC Blanco. 3dgis-based multi-agent geosimulation and visualization of building evacuation using gama platform. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2014.
- [21] Karen L Myers. User guide for the procedural reasoning system. *SRI International AI Center Technical Report.*, 1997.
- [22] Ranjit Nair, Milind Tambe, and Stacy Marsella. The role of emotions in multiagent teamwork. *Who Needs Emotions*, 2005.
- [23] Magalie Ochs, Nicolas Sabouret, and Vincent Corruble. Simulation of the dynamics of nonplayer characters' emotions and social relations in games.
- [24] Andrew Ortony. Memories, thoughts, and emotions : Essays in honor of george mandler, chapter value and emotion, 1991.
- [25] Andrew Ortony, Gerald L Clore, and Allan Collins. *The cognitive structure of emotions*. Cambridge university press, 1990.
- [26] Alexander Pokahr, Lars Braubach, and Winfried Lamersdorf. Jadex : A bdi reasoning engine. In *Multi-agent programming*. Springer, 2005.
- [27] Nur Raihan Ramli, Sazalinsyah Razali, and Mashanum Osman. An overview of simulation software for non-experts to perform multi-robot experiments. In *ISAMSR*. IEEE, 2015.
- [28] Ralph Rönquist. The goal oriented teams (gorite) framework. In *International Workshop on Programming Multi-Agent Systems*. Springer, 2007.
- [29] Daniel Rousseau and Barbara Hayes-Roth. A social-psychological model for synthetic actors. In *Proceedings of the second international conference on Autonomous agents*. ACM, 1998.
- [30] Ilias Sakellariou, Petros Kefalas, and Ioanna Stamatopoulou. Enhancing netlogo to simulate bdi communicating agents. In *Hellenic Conference on Artificial Intelligence*. Springer, 2008.
- [31] Klaus R Scherer and Paul Ekman. On the nature and function of emotion : A component process approach. *Approaches to emotion*, 2293 :317, 1984.
- [32] Dharendra Singh and Lin Padgham. Optimism : A framework for integrating agent-based models and simulation components. In *ECAI*. IOS Press, 2014.
- [33] Craig A. Smith and Richard S. Lazarus. Emotion and adaptation. 1990.
- [34] Eliot R Smith, Diane M Mackie, and Heather M Claypool. *Social psychology*. Psychology Press, 2014.
- [35] Ron Sun. *Cognition and multi-agent interaction : From cognitive modeling to social simulation*. Cambridge University Press, 2006.
- [36] Jan Svennevig. *Getting acquainted in conversation : a study of initial interactions*. John Benjamins Publishing, 2000.
- [37] Patrick Taillandier, Mathieu Bourgeois, Philippe Caillou, Carole Adam, and Benoit Gaudou. A bdi agent architecture for the gama modeling and simulation platform. In *MABS 2016*.
- [38] H. Van Dyke Parunak, Robert Bisson, Sven Brueckner, Robert Matthews, and John Sauter. A model of emotions for situated agents. In *Proceedings of AAMAS*. ACM, 2006.
- [39] Uri Wilensky and I Evanston. Netlogo : Center for connected learning and computer-based modeling. *Northwestern Univ., Evanston, IL*, 1999.