

# **BEN : Une architecture pour des agents cognitifs, affectifs et sociaux dans la simulation**

Mathieu Bourgais, Patrick Taillandier, Laurent Vercoüter

► **To cite this version:**

Mathieu Bourgais, Patrick Taillandier, Laurent Vercoüter. BEN : Une architecture pour des agents cognitifs, affectifs et sociaux dans la simulation. 28emes Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents (JFSMA), Jun 2020, Angers, France. hal-02940570

**HAL Id: hal-02940570**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02940570>**

Submitted on 16 Sep 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.

# BEN : Une architecture pour des agents cognitifs, affectifs et sociaux dans la simulation

M. Bourgeois<sup>1</sup>, P. Taillandier<sup>2</sup>, L. Vercouter<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Normandie Univ, INSA Rouen, UNIHAVRE, UNIROUEN, LITIS  
76000 Rouen, France

<sup>2</sup> MIAT, INRA, 31000 Toulouse, France

## Résumé

*La simulation sociale en tant qu'outil scientifique nécessite le développement de comportements crédibles pour les agents simulant le comportement d'acteurs humains. Une façon d'améliorer la crédibilité des simulations obtenues est d'intégrer des dimensions cognitive, affective et sociales dans la prise de décision des agents. Pour autant, développer des agents avec ces dimensions peut s'avérer compliqué si l'on veut rester accessible à des chercheurs qui ne sont pas experts en informatique. L'architecture BEN (Behavior with Emotions and Norms) intègre des dimensions affectives et sociales à une prise de décisions basée sur une architecture BDI pour la réalisation de simulations sociales. Cette architecture modulaire s'appuie sur une formalisation des dimensions cognitives, affectives et sociales. BEN est implémenté dans la plateforme de modélisation et de simulation multi-agent GAMA et est ici illustrée sur un cas d'évacuation d'urgence.*

## Mots-clés

*Simulation sociales, cognition, émotion, personnalité, normes*

## Abstract

*Social simulation as a scientific tool requires the development of credible behaviours for agents simulating the behaviour of human actors. One way to improve the credibility of the simulations obtained is to integrate cognitive, emotional and social dimensions into agents' decision-making. However, developing agents with these dimensions can be complicated for social science researchers who do not have expert knowledge of computer programming. The BEN architecture (Behavior with Emotions and Norms) integrates emotional and social dimensions into decision making based on a BDI architecture for an application in the field of social simulations. This modular architecture is based on a formalization of the cognitive, affective and social dimensions. BEN is implemented in the GAMA multi-agent modeling and simulation platform and used on an example case of nightclub evacuation.*

## Keywords

*Social Simulations, cognition, emotion, personality, norms*

## 1 Introduction

Les simulations à base d'agents sont utilisées pour étudier les systèmes complexes impliquant des acteurs humains ; il est désormais question, dans ce cas, de simulations sociales [18]. Le but principal est alors de reproduire par simulation des situations réelles où un très grand nombre d'acteurs humains prennent des décisions, influençant ainsi l'évolution globale du système. De cette façon, la situation reproduite peut être étudiée dans un cadre contrôlé.

Le défi consiste alors à développer un comportement de prise de décision crédible pour les agents simulant des acteurs humains. Pour se faire, il est nécessaire d'intégrer des processus cognitifs, affectifs et sociaux dans la prise de décision des agents [39], un point de vue soutenu par le principe EROS (Enhancing Realism of Simulation) [21] qui favorise des simulations à la modélisation proche du cas réel, contrairement aux principes KISS (Keep It Simple, Stupid) [6] et KIDS (Keep It Descriptive, Stupid) [17] qui favorisent des modèles simples, facilement compréhensibles.

Dans cette optique, l'architecture BEN (Behavior with Emotions and Norms), proposée dans cet article et s'appuyant sur de précédents travaux [9], intègre la cognition, les émotions, la personnalité, la contagion émotionnelle, les relations sociales et la définition d'un système normatif pour la prise de décisions en simulation sociale. Ces dimensions cognitives, affectives et sociales sont formalisées dans un même cadre pour pouvoir interagir entre-elles, tout en étant suffisamment indépendantes pour ne pas obliger l'utilisateur à toutes les utiliser si ce n'est pas nécessaire.

BEN a été implémenté dans la plateforme de modélisation et de simulation multi-agent GAMA [42], réputée pour être accessible à un public non expert en programmation informatique [34][26]. L'utilisation de BEN est illustrée par la simulation d'un cas réel d'évacuation de boîte de nuit pour montrer comment le comportement des agents peut être exprimé de manière crédible et explicable dans les termes de la psychologie naïve [29].

La section 2 de l'article propose un état de l'art sur la prise de décision en simulation sociale, la section 3 expose le formalisme utilisé pour définir les notions liées aux dimensions cognitives, affectives et sociales utilisée dans l'architecture BEN, qui est présentée dans la section 4. La section 5 présente une mise en application de BEN sur le cas

d'étude de l'évacuation du Kiss Nightclub au Brésil et la section 6 conclut l'article.

## 2 État de l'art

Le développement d'agents crédibles est un élément clé pour la simulation sociale qui a été étudié précédemment. Plusieurs travaux ont donc été menés pour créer des architectures agent en s'appuyant sur différentes théories issues de travaux en psychologie ou en sociologie.

Dans le contexte de la simulation sociale, l'ajout de cognition à la prise de décision est une première étape permettant aux agents de prendre des décisions plus complexes que la simple réponse réflexive à une perception [1][7]. Ainsi, la mise en place d'un moteur cognitif doit être la base d'une architecture pour la simulation sociale.

### 2.1 Prise de décision cognitive

Parmi les différentes plates-formes multi-agents [24], certaines comme JACK [20] ou Jadex [33] implémentent le paradigme BDI (Belief Desire Intention) [12], donnant un comportement cognitif aux agents, en s'appuyant sur un formalisme basé sur la logique modale [15]. Pour autant, ces plates-formes ne sont pas adaptées à la simulation de milliers d'agents.

Pour contourner ce problème, Sing et Padgham [37] proposent de connecter une plate-forme de simulation à un framework BDI existant (comme JACK ou Jadex) et, sur cette même idée [32], la plate-forme Matsim [8] a été liée au framework BDI GORITE [35]. Ces travaux exigent un haut niveau en informatique, ce qui rend difficile leur utilisation par des modélisateurs ayant de faibles compétences en programmation.

D'autre part, les plates-formes de simulation comme Netlogo [46] ou GAMA [42] sont des logiciels dédiés avec leur propre langage de programmation, leur propre interface et leur propre interpréteur et compilateur. Par défaut, ces plates-formes ne proposent pas d'architecture particulière pour le comportement de l'agent : les modélisateurs doivent définir ces comportements avec des règles "if-then-else". Cependant, il existe des plugins, pour NetLogo [36] et pour GAMA [41], pour utiliser des architectures agents basées sur le paradigme BDI afin de créer des simulations sociales avec un comportement plus complexe et plus crédible. Ils fournissent tous deux aux agents des concepts de haut niveau tels que les croyances et les intentions et le plugin de GAMA va au-delà, offrant un moteur de raisonnement, conduisant les agents à prendre des décisions basées sur la perception de son environnement.

### 2.2 Prise de décision affective et sociale

Une autre approche consiste à axer le raisonnement des agents autour de leurs émotions. Par exemple, EMA [19] est basé sur la théorie de l'évaluation cognitive des émotions [4] développée par Smith et Lazarus [38] tandis que DETT [45] est basé sur la théorie OCC [31] des émotions. Ces deux systèmes créent des émotions en évaluant les perceptions de l'environnement et en déduisant ensuite un comportement de l'état émotionnel de l'agent.

eBDI [22] s'appuie également sur la théorie OCC mais utilise une architecture BDI pour prendre des décisions. Cela signifie que les émotions sont créées par les perceptions et agissent ensuite sur les croyances, les désirs et les intentions. Enfin, ces états mentaux modifiés sont utilisés pour prendre une décision. Cette proposition n'a pas encore été intégrée à une plate-forme de simulation.

Enfin, certains chercheurs proposent de s'appuyer sur le contexte social de l'agent pour décrire son comportement : cela se fait avec des architectures normatives. EMIL-A [3] et NoA [23] décrivent le comportement de l'agent avec des normes, obligations et sanctions sociales. En d'autres termes, un agent prend une décision en fonction de l'état du système normatif au niveau d'une société d'agents.

BOID [13] et BRIDGE [16] proposent de combiner une architecture normative avec un paradigme BDI, conduisant l'agent à prendre en compte le système social dans sa décision. Cependant, contrairement à EMIL-A et NoA, l'agent a des croyances, des désirs et des intentions personnels, créant un comportement plus hétérogène et crédible. Mais, à notre connaissance, ces architectures n'ont pas été mises en œuvre en plate-forme de simulation pour traiter avec des milliers d'acteurs simulés.

### 2.3 Synthèse

Pour respecter le principe EROS, les modélisateurs ont besoin d'architectures proposant plusieurs dimensions psychologiques et sociales. Actuellement, comme le montre cette section, il n'existe pas d'architecture unique proposant à la fois des dimensions cognitives, affectives et sociales pour la simulation. Les seules tentatives, à notre connaissance, de combiner plus de deux traits ont utilisé la notion de personnalité, associant la cognition avec les émotions et la contagion émotionnelle [25] ou de combiner la cognition avec les émotions et les relations sociales [30].

Dans cet article, nous abordons cette question en proposant BEN (Behavior with Emotions and Norms), une architecture d'agent mettant en scène la cognition, les émotions, la personnalité, la contagion émotionnelle, les relations sociales et la gestion des normes. Pour le mettre en œuvre, nous avons basé notre travail sur l'architecture cognitive existante fournie par GAMA. Pour faciliter l'utilisation de BEN, nous l'avons implémenté en utilisant les principes de GAMA qui a prouvé sa facilité d'utilisation [26][34] grâce à son langage de modélisation GAML que nous avons étendu.

## 3 Formalisation des dimensions cognitives, affectives et sociales

L'architecture BEN se compose des notions telles que la cognition, la personnalité, les émotions, la contagion émotionnelle, les normes et les relations sociales pour décrire le comportement des agents dans le contexte d'une simulation sociale. Chacun de ces composants est représenté à l'aide d'un formalisme unifié pour assurer leur compatibilité. Ce formalisme est discuté plus en détails dans [10] et

présenté dans des travaux précédents [11].

La partie principale de BEN est la cognition de l'agent. Un agent cognitif peut raisonner sur un ensemble de perceptions de son environnement et sur un ensemble de connaissances précédemment acquises. Dans BEN, cet environnement est représenté par le concept de prédicats.  $P_j(\mathbf{v})$  représente un prédicat de façon générale avec les éléments suivants :

- **P** : l'identifiant du prédicat.
- **j** : l'agent causant l'information.
- **v** : l'ensemble de valeurs stockées dans le prédicat.

En fonction du contexte, cette représentation générale peut évoluer.  $P_j$  représente une information sans valeur particulière attachée,  $P(\mathbf{v})$  représente une information qui n'est pas causée par un agent en particulier et **P** représente une information sans valeur particulière et sans qu'un agent en soit la cause.

Par exemple, l'information qu'il y a un incendie dans l'environnement est représentée par le prédicat **fire**. Si ce feu est causé par l'agent *Bob*, le prédicat devient **fire<sub>Bob</sub>**. Enfin, si cet incendie causé par Bob est à un endroit  $(x,y)$ , cette information est représentée par **fire<sub>Bob</sub>(location : (x,y))**.

### 3.1 Formalisme des notions cognitives

Avec BEN, un agent dispose d'états mentaux cognitifs sur lesquels il effectue son raisonnement.  $M_i(\mathbf{PMem}, \mathbf{Val}, \mathbf{Li})$  représente un état mental de façon générale de l'agent *i* avec les éléments suivants :

- **M** : la modalité indiquant le type de l'état mental cognitif (par exemple une croyance).
- **PMem** : l'objet sur lequel porte l'état mental cognitif, pouvant être un prédicat, un autre état mental cognitif ou une émotion.
- **Val** : une valeur réelle dont la signification dépend de la modalité. Permet de comparer deux états mentaux cognitifs de même modalité.
- **Li** : une durée de vie indiquant le temps que mettra l'agent pour oublier cet état mental.

Dans BEN, la cognition s'appuie sur le modèle BDI [12] qui indique que l'agent possède des croyances, des désirs et des intentions. Pour lier la cognition avec les dimensions affectives et sociales, l'architecture définit 6 modalités d'états mentaux cognitifs : **Belief<sub>i</sub>(P)**, **Uncertainty<sub>i</sub>(P)**, **Desire<sub>i</sub>(P)**, **Intention<sub>i</sub>(P)**, **Ideal<sub>i</sub>(P)** et **Obligation<sub>i</sub>(P)**.

Pour agir sur le monde selon ses intentions, un agent a besoin d'un plan d'actions, c'est-à-dire un ensemble de comportements exécutés dans un certain contexte en réponse à une intention.

### 3.2 Formalisme des dimensions affectives

La définition de traits de personnalité dans BEN suit le modèle OCEAN (Ouverture, Conscience, Extraversion, Agreabilité, Neurotisme) [27]. La personnalité d'un agent est représentée par un vecteur de 5 valeurs réelles comprises entre 0 et 1, avec la valeur neutre placée à 0.5.

Les émotions dans BEN sont basées sur la théorie OCC [31]; les émotions sont des réponses évaluées à l'évaluation cognitive d'une situation.  $Em_i(\mathbf{P}, \mathbf{Ag}, \mathbf{I}, \mathbf{De})$  représente une

émotion possédée par l'agent *i* avec les éléments suivants :

- **Em** : le nom de l'émotion.
- **P** : le prédicat à propos duquel l'émotion est ressentie.
- **Ag** : l'agent responsable de l'émotion.
- **I** : l'intensité de l'émotion. Cette valeur est positive ou nulle.
- **De** : la valeur de décroissance de l'intensité émotionnelle.

Cette représentation permet à l'agent d'avoir plusieurs émotions en même temps, toutes sur des prédicats différents. Aussi, cette représentation peut être adaptée, avec  $Em_i(\mathbf{P}, \mathbf{Ag})$  représentant une émotion sans intensité particulière ni valeur de déclin.

### 3.3 Formalisme des dimensions sociales

Chaque agent possède relations sociales avec d'autres agents simulant des acteurs humains en s'appuyant le travail de Svennevig [40] qui identifie quatre dimensions minimales pour décrire une relation sociale entre deux personnes. Dans BEN, la confiance est ajoutée comme cinquième dimension sociale.  $R_{i,j}(\mathbf{L}, \mathbf{D}, \mathbf{S}, \mathbf{F}, \mathbf{T})$  représente une relation sociale, de l'agent *i* vers agent *j*, avec les éléments suivants :

- **R** : l'identifiant de la relation sociale.
- **L** : une valeur réelle entre -1 et 1 représentant le degré d'appréciation avec l'agent concerné par le lien. Une valeur de -1 indique que l'agent *j* est détesté, une valeur de 1 indique que l'agent *j* est adoré.
- **D** : une valeur réelle 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 *j* domine la relation, une valeur de 1 indique que l'agent *j* est dominé dans la relation.
- **S** : une valeur réelle 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 envers l'agent *j*, une valeur de 1 indique une solidarité totale avec l'agent *j*.
- **F** : une valeur réelle 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 avec l'agent *j*, une valeur de 1 indique qu'il y a une familiarité totale avec l'agent *j*.
- **T** : une valeur réelle entre -1 et 1 représentant le degré de confiance avec l'agent concerné. Une valeur de -1 indique que l'agent *i* n'a aucune confiance envers l'agent *j*, une valeur de 1 indique une totale confiance envers l'agent *j*.

Pour agir sur l'environnement selon un système normatif, l'agent suit des normes, représentant dans BEN des séquences d'instructions auxquelles l'agent peut désobéir.

## 4 BEN : une architecture cognitive, affective et sociale

L'architecture BEN, représentée par la figure 1, est la principale contribution de cet article. Dans cette section,

nous expliquons comment un agent utilisant BEN prend une décision avec la cognition, les émotions, la contagion émotionnelle, la personnalité, les relations sociales et les normes. Avec ces dimensions, un agent simulant un acteur peut réagir à un changement dans l'environnement et expliquer son comportement avec des concepts de haut niveau dans le cadre d'une simulation sociale. Par manque de place, le fonctionnement de l'architecture BEN est ici résumé ; une présentation détaillée est disponible dans [10].

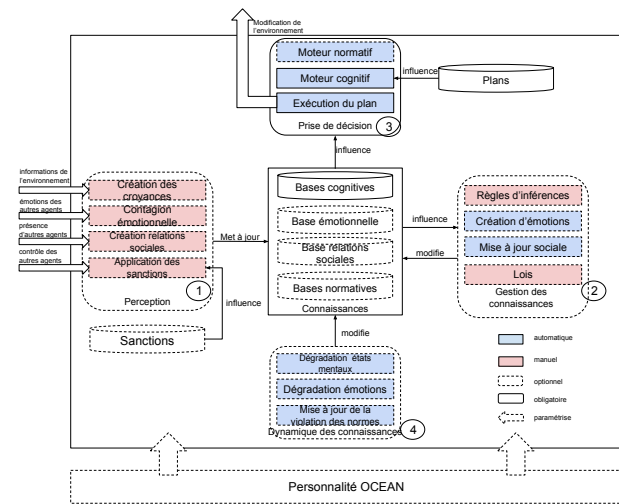


FIGURE 1 – L'architecture BEN

#### 4.1 Présentation globale de l'architecture

BEN est composé de quatre modules, chacun abritant plusieurs processus obligatoires (en lignes pleines) ou optionnels (en pointillés), gérés automatiquement (en bleu) ou devant être définis par l'utilisateur (en rose). Ces modules communiquent avec les bases de connaissances de l'agent et sont reliés à la personnalité de l'agent décrite par les cinq dimensions du modèle OCEAN [27].

Pour faciliter l'utilisation de BEN, ces traits de personnalité sont le seul paramètre auquel un modélisateur peut accéder ; ils sont utilisés pour calculer tous les autres paramètres nécessaires aux différents processus : probabilité de supprimer un plan ou une intention non réalisée dans la partie cognitive, charisme et réceptivité émotionnelle pour la contagion émotionnelle, intensité initiale et déclin des émotions créées par le moteur émotionnel, actualisation des valeurs des relations sociales obtenues avec le moteur social, et valeur d'obéissance utilisée par le moteur normatif.

La connaissance de l'agent est composée de bases cognitives, contenant des états mentaux cognitifs formalisés en section 3, une base émotionnelle, une base sociale et une base de normes. Cette connaissance peut évoluer à travers la simulation, ce qui n'est pas le cas des plans pour le moteur cognitif et des sanctions pour le moteur normatif, qui sont stockés dans des bases dédiées, hors de la connaissance de l'agent, comme le montre la figure 1.

### 4.2 Fonctionnement de l'architecture pour la prise de décision

Sur la figure 1, chaque module possède un numéro, indiquant son ordre d'exécution. Chaque fois qu'un agent est activé, il perçoit l'environnement, il gère ses connaissances en fonction des nouvelles perceptions, il prend une décision et enfin il donne une dynamique temporelle à ses connaissances.

#### 4.2.1 Perceptions

La première étape de BEN consiste à percevoir l'environnement. Cette étape permet de faire le lien entre l'environnement et les connaissances de l'agent, en créant des croyances et des incertitudes sur les informations de l'environnement, en définissant la contagion émotionnelle avec d'autres agents ou en créant de nouvelles relations sociales. Ces trois processus sont définis manuellement, ce qui signifie que le modélisateur doit indiquer quelle information est transformée en prédicat et quel état mental cognitif est construit sur ce prédicat, quelle émotion est soumise à une contagion émotionnelle et quelle est la valeur initiale pour chaque dimension d'une nouvelle relation sociale. Le dernier processus de ce module permet à un agent d'exécuter des sanctions sur les autres agents perçus.

#### 4.2.2 Gestion des connaissances

La deuxième étape de BEN permet à l'agent de gérer ses connaissances après la perception et avant la prise de décision. Dans cette phase, les modélisateurs peuvent définir des règles d'inférence, qui permettent de créer ou de supprimer tout état mental cognitif en fonction de l'état réel des connaissances de l'agent. Sur le même modèle, des lois peuvent être définies pour créer des obligations si la valeur d'obéissance de l'agent, calculée à partir de sa personnalité, est suffisamment grande.

La gestion des connaissance passe aussi par l'utilisation d'un moteur émotionnel et d'un moteur de relations sociales. Ils permettent, respectivement, de créer automatiquement des émotions en fonction des connaissances de l'agent, et de mettre à jour les relations sociales avec les autres agents sans que l'utilisateur n'ait besoin d'intervenir dans ces processus.

#### 4.2.3 Prise de décision

La troisième étape de BEN est la seule partie obligatoire. Ce module permet à l'agent de prendre des décisions puis d'exécuter une action, le tout au travers d'un moteur cognitif sur lequel un moteur normatif peut être ajouté. Il s'exécute automatiquement, sans intervention du modéleur.

L'architecture cognitive est basée sur le modèle BDI [12] : l'agent a des intentions basées sur ses désirs et une des intentions comme intention courante. Le modélisateur définit des plans d'action qui indiquent ce qu'un agent doit faire pour une intention courante particulière dans un contexte donné ; le plan choisi est conservé comme le plan courant. Le moteur normatif fonctionne de la même manière que le moteur cognitif, avec des obligations comme désirs et des normes comme plans. La seule différence est une valeur

d'obéissance qui peut être ajoutée aux normes et obligations.

#### 4.2.4 Dynamisme temporel

La dernière partie de l'architecture donne une dynamique temporelle au comportement de l'agent. Ceci se fait automatiquement en dégradant les états mentaux cognitifs et les émotions et en mettant à jour l'état de chaque norme.

## 5 Application à l'évacuation d'une boîte de nuit

L'architecture définie dans la section 4 a été implémentée dans la plateforme de modélisation et de simulation GAMA [42], étendant le langage de programmation GAML pour aider les modélisateurs à définir des agents sociaux aux dimensions cognitives, affectives et sociales. Cette implémentation est utilisée dans le cas d'exemple d'une évacuation d'une boîte de nuit en feu détaillé dans cette section.

### 5.1 Présentation du cas d'exemple

Le 27 janvier 2013, le Kiss Nightclub de Santa Maria, Rio Grande do Sul (Brésil), a pris feu à la fin d'un spectacle dirigé par un groupe de musique local. Le plafond s'est enflammé à cause des feux d'artifice, émettant des fumées toxiques qui ont causé la mort de 242 personnes. L'enquête officielle a mis en lumière différents facteurs qui ont aggravé la tragédie : il y avait entre 1200 et 1400 personnes dans le bâtiment qui pouvaient normalement accueillir 641 personnes, il n'y avait qu'une seule porte d'entrée/sortie, il n'y avait ni détecteur de fumée ni alarme et enfin, les panneaux de sortie montraient la direction des toilettes. L'enquête montre également que la plupart des décès sont dus à l'asphyxie, près des toilettes [5].

Notre but ici est de reproduire le comportement des personnes prises dans cette tragédie de la manière la plus crédible possible. En d'autres termes, nous utilisons l'architecture BEN pour créer les comportements des agents afin d'obtenir un résultat aussi proche que possible de ce qui s'est passé dans cette boîte de nuit pendant l'incendie.

### 5.2 Modélisation du cas avec BEN

Les connaissances initiales de l'agent, au lancement de la simulation, peuvent être divisées en trois types : les croyances sur le monde, les désirs initiaux et les relations sociales. De plus, chaque agent dispose d'une personnalité décrite par une valeur dans chacune des dimensions du modèle OCEAN. Quelques exemples de ces connaissances initiales ainsi que leur formalisation avec BEN sont données ci-dessous :

- Une croyance sur la localisation exacte de la porte de sortie avec une durée de vie fixée ->  $Belief_i(exitDoor, lifetime1)$
- Le désir qu'il n'y ait pas de feu ->  $Desire_i(notFire, 1.0)$
- Une relation d'amitié avec un agent  $j$  ->  $R_{i,j}(L, D, S, F, T)$

Le premier processus de BEN est la perception de l'environnement, qui sera réduite en fonction de la fumée entourant l'agent. Il faut donc indiquer ce que l'agent perçoit et comment ces perceptions influencent ses connaissances, ce qui est montré dans un cas pratique par le bloc de code 1 :

- Percevoir la porte de sortie met à jour les croyances liées à celle-ci.
- Percevoir le feu ajoute la croyance qu'il y a un feu.
- Percevoir la fumée ajoute une croyance liée au niveau de fumée détectée.
- Percevoir les autres agents permet la création de relations sociales avec eux. Une contagion émotionnelle portant sur la peur de l'incendie est aussi définie.

```
perceive target:exit
  in:perceived_area{
    focus id:"exitLocation"
    lifetime: 20;
  }

perceive target:fire
  in:perceived_area{
    focus id:"fire";
  }
```

**Code 1:** Exemple de définition de perceptions dans le cas du Kiss Nightclub

Une fois que les connaissances de l'agent sont à jour avec son environnement, elles vont réagir à ce qui a été perçu. Cela se fait avec la définition des règles d'inférence et des lois, dont le bloc de code 2 montre une implémentation pratique :

- Une loi crée l'obligation de suivre les panneaux de sortie s'il y a un doute raisonnable (modélisé par la valeur d'obéissance attachée à la loi et la quantité de fumée perçue) de catastrophe.
- Une règle d'inférence ajoute le désir de fuir si l'agent a la croyance qu'il y a un incendie.
- Une règle d'inférence ajoute une incertitude qu'il y a un incendie si l'agent a la croyance qu'il y a de la fumée.
- Une règle d'inférence ajoute le désir de fuir si l'agent a une émotion de peur portant sur l'incendie si son intensité est supérieure à un seuil donné.

```
rule belief: fireSaw
  new_desire:fleeing
  remove_intention:wandering
  remove_desire:wandering ;
rule belief: smokeSaw
  new_uncertainty:fireSaw
  strength: smokeQuantity/100
  when: not has_belief(fireSaw);
```

**Code 2:** Exemple de définition de lois et de règles d'inférence dans le cas du Kiss Nightclub

Avec l'exécution des règles d'inférence et des lois, chaque agent crée des émotions par le biais du moteur émotionnel. Dans ce cas d'exemple, la présence d'une incertitude sur l'incendie (ajoutée par la règle d'inférence concernant la croyance sur la fumée) avec le désir initial qu'il n'y a pas de feu produit une émotion de peur, dont l'intensité est calculée en fonction de la quantité de fumée perçue.

Une fois que l'agent a le désir de fuir (parce qu'il a perçu l'incendie ou sa peur d'un incendie est d'une intensité assez grande), il a besoin de plans d'action et de normes qui lui indiquent comment agir. La définition de quelques plans d'action et normes pour répondre à l'intention de fuir est donnée ci-dessous, avec le contexte de déclenchement et le résultat de l'action :

- l'agent a une bonne visibilité et possède une croyance sur la position exacte de la sortie -> un plan indique à l'agent de courir vers la porte de sortie en suivant le plus court chemin.
- l'agent a une bonne visibilité mais aucune croyance sur l'emplacement de la sortie -> une norme amène l'agent à suivre les agents autour de lui en qui il a confiance.
- l'agent a une mauvaise visibilité et possède l'obligation de suivre les panneaux de sortie -> une norme indique à l'agent de suivre les panneaux de sortie, ce qui l'amène dans ce cas vers les toilettes.
- l'agent a une mauvaise visibilité et la croyance que les panneaux de sortie sont erronés -> un plan amène l'agent à se déplacer au hasard.
- l'agent perçoit un ami perdu dans la fumée -> un plan indique à l'agent d'aller trouver son ami pour l'amener vers la sortie.

Au fur et à mesure que la situation évolue au cours de la simulation, un agent peut modifier son plan en cours. Par exemple, si un agent quitte la zone enfumée alors qu'il fuit vers les toilettes, il peut percevoir la sortie et s'y rendre au lieu de continuer à suivre les panneaux.

### 5.3 Résultats et discussion

Au début de la simulation, les agents sont placés au hasard dans le Kiss Nightclub recréé avec une personnalité initialisée par une distribution gaussienne centrée sur 0,5 et avec un écart type de 0,12 pour chaque dimension. La propagation de la fumée est modélisée selon un rapport officiel du gouvernement français [14]; un agent est considéré mort après 50 secondes dans la fumée dense.

La figure 2 montre un résultat visuel de la simulation où les lignes noires représentent les murs de la discothèque, les carrés gris représentent la fumée et les triangles représentent les acteurs simulés, la couleur de chaque triangle indique le plan suivi. Une vidéo de la simulation ainsi que le modèle complet se trouvent à l'adresse suivante :

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

Comme le nombre exact de personnes dans la boîte de nuit n'est pas connu, nous avons testé trois cas : 1200 personnes au début, 1300 personnes au début et 1400 personnes au début. Les résultats statistiques obtenus dans le tableau 1 sont calculés à partir de 10 simulations pour chaque scénario.

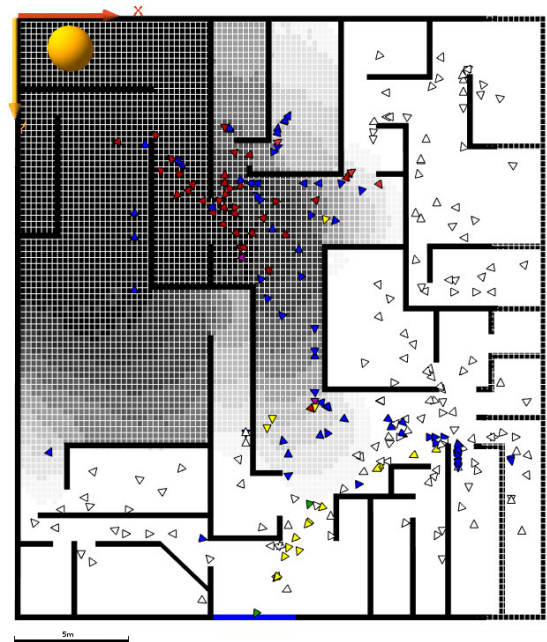


FIGURE 2 – Simulation de l'évacuation du Kiss Nightclub

TABLE 1 – Nombre d'agents décédés dans la simulation de l'incendie du Kiss Nightclub

Nombre d'agents	1200	1300	1400
moyenne	230.2	237.7	249.4
écart type	20.1	15.6	32.6

Les résultats statistiques indiquent que notre modèle est bien calibré pour reproduire le cas réel où 242 personnes sont décédées. Cependant, le principal résultat concerne l'explicabilité et l'expressivité du modèle. La vidéo de la simulation montre différents types de comportement qui peuvent être exprimés avec des concepts de haut niveau grâce à BEN.

Par exemple, beaucoup d'agents quittent le club au début de la simulation parce qu'ils ont directement perçu l'incendie. Ce comportement semble correspondre à un cas réel où les gens qui voient un incendie dans une boîte de nuit s'enfuient. Par contre, les agents qui ne perçoivent pas la fumée ou l'incendie fuient plus tard. Pendant ce temps, ils ont oublié l'emplacement de la sortie et ont dû suivre les panneaux de sortie officiels, ce qui les a conduit, dans ce cas, aux toilettes.

Grâce à l'architecture BEN, nous avons pu traduire un comportement exprimé en langage commun en un comportement réel pour des acteurs simulés. A tout moment, il est possible de mettre en pause la simulation pour inspecter le comportement d'un agent ; ce comportement sera exprimé en termes d'états mentaux cognitifs, d'émotions, de relations sociales, de normes et de plans qui sont, de notre point de vue, plus faciles à lire et à comprendre que des équations abstraites. Ce point est soutenu par le fait que le BEN et sa partie cognitive reposent sur la psychologie populaire [29].

## 6 Conclusion

Cet article présente BEN, une architecture comportementale et modulaire pour la prise de décision d'agents sociaux dans la simulation. Cette architecture s'appuie sur une formalisation des notions de cognition, d'émotions, de personnalité, de contagion émotionnelle, de relations sociales et de systèmes normatifs leur permettant d'interagir entre elles dans un processus de prise de décision amenant à des résultats crédibles en simulation de situations impliquant des acteurs humains. Cette architecture a été implémentée dans la plateforme de modélisation et de simulation multi-agent GAMA [42] et mise en œuvre sur le cas d'étude de l'évacuation d'une discothèque en feu au Brésil, permettant de reproduire de façon crédible une situation réelle, tout en utilisant les mêmes composants de haut niveau utilisés pour décrire le comportement d'acteurs humains.

BEN a déjà été utilisé, tout ou en partie, sur d'autres projets par d'autres chercheurs : l'étude de l'évacuation d'une discothèque aux États-Unis [44], l'étude d'évacuation de zones ouvertes lors d'incendies de brousse en Australe [2], l'étude de comportements de foyers sur leur consommation d'énergie [28] ou encore l'étude de fermiers vietnamiens dans le delta du Mekong [43]. Ces différents travaux montrent que la modularité de BEN lui permet de s'adapter à différents cas d'étude et d'être utilisé par des chercheurs spécialistes de leur domaine n'ayant pas pour autant des compétences expertes en programmation.

## Références

- [1] Carole Adam and Benoit Gaudou. Bdi agents in social simulations : a survey. *The Knowledge Engineering Review*, 2016.
- [2] Carole Adam, Patrick Taillandier, Julie Dugdale, and Benoit Gaudou. Bdi vs fsm agents in social simulations for raising awareness in disasters : A case study in melbourne bushfires. *International Journal of Information Systems for Crisis Response and Management (IJISCRAM)*, 9(1) :27–44, 2017.
- [3] Giulia Andrighetto, Rosaria Conte, Paolo Turrini, and Mario Paolucci. Emergence in the loop : Simulating the two way dynamics of norm innovation. In *Dagstuhl Seminar Proceedings*. Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum für Informatik, 2007.
- [4] Magda B Arnold. *Emotion and personality*. Columbia University Press, 1960.
- [5] B Atiyeh. Brazilian kiss nightclub disaster. *Annals of burns and fire disasters*, 26(1) :3, 2013.
- [6] Robert Axelrod. Advancing the art of simulation in the social sciences. In *Simulating social phenomena*, pages 21–40. Springer, 1997.
- [7] Tina Balke and Nigel Gilbert. How do agents make decisions ? a survey. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 17(4) :13, 2014.
- [8] 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.
- [9] M Bourgeois, P Taillandier, and Laurent Vercoouter. Cognition, émotions et relations sociales pour la simulation multi-agent. In *JFSMA 2017*, Caen, France, July 2017.
- [10] Mathieu Bourgeois. *Vers des agents cognitifs, affectifs et sociaux pour la simulation*. Theses, Normandie Université, 2018.
- [11] Mathieu Bourgeois, Patrick Taillandier, and Laurent Vercoouter. Ben : An agent architecture for explainable and expressive behavior in social simulation. In *International Workshop on Explainable, Transparent Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, pages 147–163. Springer, 2019.
- [12] M Bratman. *Intentions, plans, and practical reason*. Harvard Univ. Press, 1987.
- [13] Jan Broersen, Mehdi Dastani, Joris Hulstijn, Zisheng Huang, and Leendert van der Torre. The boid architecture : conflicts between beliefs, obligations, intentions and desires. In *Proceedings of the fifth international conference on Autonomous agents*, pages 9–16. ACM, 2001.
- [14] C. Chivas and J. Cescon. Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (dra-35) - toxicité et dispersion des fumées d'incendie phénoménologie et modélisation des effets. Technical report, INERIS, 2005.
- [15] Philip R Cohen and Hector J Levesque. Intention is choice with commitment. *Artificial intelligence*, 42(2-3) :213–261, 1990.
- [16] Frank Dignum, Virginia Dignum, and Catholijn M Jonker. Towards agents for policy making. In *International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation*, pages 141–153. Springer, 2008.
- [17] Bruce Edmonds and Scott Moss. From kiss to kids—an 'anti-simplistic' modelling approach. In *International workshop on multi-agent systems and agent-based simulation*, pages 130–144. Springer, 2004.
- [18] Nigel Gilbert and Klaus Troitzsch. *Simulation for the social scientist*. McGraw-Hill Education (UK), 2005.
- [19] Jonathan Gratch and Stacy Marsella. A domain-independent framework for modeling emotion. *Cognitive Systems Research*, 2004.
- [20] 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.
- [21] Wander Jager. Enhancing the realism of simulation (eros) : On implementing and developing psychological theory in social simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 20(3) :14, 2017.



- [22] Hong Jiang, Jose M Vidal, and Michael N Huhns. EbdI : an architecture for emotional agents. In *Proceedings of the 6th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, 2007.
- [23] Martin Josef Kollingbaum. *Norm-governed practical reasoning agents*. PhD thesis, University of Aberdeen, 2005.
- [24] Kalliopi Kravari and Nick Bassiliades. A survey of agent platforms. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 18(1) :11, 2015.
- [25] Margaux Lhommet, Domitile Lourdeaux, and Jean-Paul Barthès. Never alone in the crowd : A microscopic crowd model based on emotional contagion. In *Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT), 2011 IEEE/WIC/ACM International Conference on*, volume 2, pages 89–92. IEEE, 2011.
- [26] 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.
- [27] Robert R McCrae and Oliver P John. An introduction to the five-factor model and its applications. *Journal of personality*, 1992.
- [28] Alice Micolier, Franck Taillandier, Patrick Taillandier, and Frédéric Bos. Li-bim, an agent-based approach to simulate occupant-building interaction from the building-information modelling. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 82 :44–59, 2019.
- [29] Emma Norling. Folk psychology for human modelling : Extending the bdi paradigm. In *Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 1*, pages 202–209, 2004.
- [30] Magalie Ochs, Nicolas Sabouret, and Vincent Coruble. Simulation of the dynamics of nonplayer characters’ emotions and social relations in games. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 1(4) :281–297, 2009.
- [31] Andrew Ortony, Gerald L Clore, and Allan Collins. *The cognitive structure of emotions*. Cambridge university press, 1990.
- [32] Lin Padgham, Kai Nagel, Dharendra Singh, and Qingyu Chen. Integrating bdi agents into a matsim simulation. In *Proceedings of the Twenty-first European Conference on Artificial Intelligence*, 2014.
- [33] Alexander Pokahr, Lars Braubach, and Winfried Lamersdorf. Jadex : A bdi reasoning engine. In *Multi-agent programming*. Springer, 2005.
- [34] Nur Raihan Ramli, Szalinsyah Razali, and Mashanum Osman. An overview of simulation software for non-experts to perform multi-robot experiments. In *ISAMSR*. IEEE, 2015.
- [35] Ralph Rönquist. The goal oriented teams (gorite) framework. In *International Workshop on Programming Multi-Agent Systems*. Springer, 2007.
- [36] Ilias Sakellariou, Petros Kefalas, and Ioanna Stamatopoulou. Enhancing netlogo to simulate bdi communicating agents. In *Hellenic Conference on Artificial Intelligence*. Springer, 2008.
- [37] Dharendra Singh and Lin Padgham. Opensim : A framework for integrating agent-based models and simulation components. In *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications-Volume 263 : ECAI*, 2014.
- [38] Craig A Smith, Richard S Lazarus, et al. Emotion and adaptation. *Handbook of personality : Theory and research*, pages 609–637, 1990.
- [39] Ron Sun. *Cognition and multi-agent interaction : From cognitive modeling to social simulation*. Cambridge Univ. Press, 2006.
- [40] Jan Svennevig. *Getting acquainted in conversation : a study of initial interactions*. John Benjamins Publishing, 2000.
- [41] 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*, 2016.
- [42] Patrick Taillandier, Benoit Gaudou, Arnaud Grignard, Quang-Nghi Huynh, Nicolas Marilleau, Philippe Caillou, Damien Philippon, and Alexis Drogoul. Building, composing and experimenting complex spatial models with the gama platform. *Geoinformatica*, Dec 2018.
- [43] Quang Chi Truong, Patrick Taillandier, Benoit Gaudou, Minh Quang Vo, Trung Hieu Nguyen, and Alexis Drogoul. Exploring agent architectures for farmer behavior in land-use change. a case study in coastal area of the vietnamese mekong delta. In *International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation*, pages 146–158. Springer, 2015.
- [44] Marion Valette, Benoit Gaudou, Dominique Longin, and Patrick Taillandier. Modeling a real-case situation of egress using bdi agents with emotions and social skills. In *International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems*, pages 3–18. Springer, 2018.
- [45] H. Van Dyke Parunak, Robert Bisson, Sven Brueckner, Robert Matthews, and John Sauter. A model of emotions for situated agents. In *Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, 2006.
- [46] Uri Wilensky and I Evanston. Netlogo : Center for connected learning and computer-based modeling. *Northwestern Univ., Evanston, IL*, 1999.