

## Jeux Sérieux et Systmes Multi-Agents : contribution pour un apprentissage humain collectif pour la gestion de crise

M'hammed Ali Oulhaci<sup>1,2</sup>, Erwan Tranvouez<sup>1</sup>, Sébastien Fournier<sup>1</sup> et Bernard Espinasse<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Aix-Marseille Université (AMU), LSIS UMR CNRS 7296  
38, Av. Normandie-Niemen 13397 Marseille Cedex 20 FRANCE

<sup>2</sup> Groupe SII, Société d'Ingénieur et de Conseil en Technologies  
Route nationale 7 Le Tholonet 13100 FRANCE  
ali.oulhaci, erwan.tranvouez, sebastien.fournier,  
bernard.espinasse@lsis.org  
<http://www.lsis.org>, <http://www.groupe-sii.com>

**Résumé.** Ce papier présente rapidement quelques enjeux de l'Intelligence Artificielle Distribuée, et plus particulièrement des Systmes Multi-Agents pour améliorer les besoins des Jeux Sérieux (Serious Game) en termes d'apprentissage humain (individuellement et collectivement). Ces besoins peuvent aussi bien concerner des capacités de modélisation que des solutions architecturales permettant d'ajouter la dimension apprentissage à un Jeu Sérieux. Afin d'illustrer ces propos sur un cas concret, le projet SIMFOR est présenté ainsi que les contributions des SMA apportent à la prise en compte de l'apprentissage collectif.

**Mots-clé:** Jeux Sérieux, Intelligence Artificielle Distribuée, Systèmes Multi-Agents, Simulation Orientée Agent, Évaluation des apprenants

### 1 Introduction

Avec l'intérêt croissant des jeux sérieux, notamment dans le domaine de la formation, ces derniers ont vu naître une multitude de problématique (évaluation des joueurs [1], simulation de comportement [2]). Les professionnels du domaine définissent un jeu sérieux comme étant un jeu qui privilégie l'éducation (au sens large) plutôt que le divertissement [3]. Les jeux sérieux utilisent beaucoup de techniques issues du jeux vidéo, tel que l'environnement 3D, les mécanismes de jeux. Néanmoins, les jeux sérieux nécessite d'autre besoins notamment dans le domaine de la simulation. La simulation est utilisée pour simuler des phénomènes impossible à reproduire comme les catastrophes naturelles ou bien couteux. Certain jeux sérieux utilise la simulation pour simuler des comportements humains. Dans un jeu sérieux il peut y avoir plusieurs centaine d'acteurs, et certain d'entre eux sont gérés par ordinateur (appelés personnages non joueurs PNJ). Les PNJ sont souvent simulés par un système multi-agents [2], on parle alors de simulation multi-agents.

Dans un jeu sérieux, le but est d'apprendre une compétence. Pour valider l'apprentissage, un processus d'évaluation s'impose. L'évaluation des joueurs a toujours été une problématique majeure dans les jeux sérieux [1], certains travaux utilisent le concept de tuteur intelligent [4][5] qui permet de suivre les joueurs dans leur formation et leur fournit l'assistance nécessaire en cas de besoins. Ces travaux se basent essentiellement sur un système tutoriel intelligent (STI) [6]. Un STI est composé d'un modèle du domaine qui représente le domaine étudié, un modèle de l'apprenant qui représente les compétences acquises par le joueur (l'état mental du joueur), un module pédagogique qui joue le rôle d'un tuteur virtuel et enfin l'interface homme-machine qui représente le canal de communication entre le joueur et le système.

Dans ce papier nous présentons le projet SIMFOR, un jeu sérieux pour la formation des non professionnels à la gestion de crise, ainsi que les différentes problématiques liées à ce dernier. Nous montrons en quoi les systèmes multi-agents peuvent apporter des solutions aux différentes problématiques précisément dans le cadre de la simulation de comportements et de l'évaluation des joueurs.

Dans la section suivante (section 2), nous présentons le projet SIMFOR à l'origine de ce travail de recherche, en détaillant les enjeux d'évaluation qu'il pose et en les positionnant vis à vis de travaux existants. Les contributions proposées sont introduites dans les sections 3 et 4, qui présentent respectivement, la méthode d'évaluation proposée et les considérations architecturales qu'elle implique. Les dernières sections illustrent notre approche sur un scénario simplifié et concluent sur les résultats obtenus et le travail restant à faire.

## 2 Présentation du projet SIMFOR

Le projet SIMFOR (figure 1) est un jeu sérieux développé par la société SII<sup>3</sup> en partenariat avec la société Pixxim<sup>4</sup> en réponse à l'appel à projet "Serious Gaming" lancé par le secrétaire d'état chargé de la Prospective et du Développement de l'économie numérique. SIMFOR permet une approche ludique de l'apprentissage de la gestion de crise sous forme d'un jeu sérieux. SIMFOR est adapté aux besoins des acteurs de la formation et permet aux apprenants de se former à la gestion de crise en intégrant l'aspect multi-intervenants. L'objectif de SIMFOR est de proposer aux utilisateurs un contexte de gestion de crise en temps réel proche de la réalité en termes d'environnement, de scénarios auto-évolutifs et d'acteurs. Comme la plupart des jeux sérieux, SIMFOR fait face à plusieurs problématiques. Les principales problématiques traitées dans ce papier sont:

- La simulation de comportement humain des acteurs non joués dans un scénario.
- L'accompagnement et l'évaluation des apprenants dans leur formation.

<sup>3</sup> <http://www.groupe-sii.com>

<sup>4</sup> <http://www.pixxim.fr>



**Fig. 1.** Captures d'écran du projet SIMFOR

SIMFOR est un jeu multi-acteurs permettant à plusieurs personnes d'acquérir une compétence (différente ou identique) dans une même partie, avec la particularité de ne pas cibler les spécialistes du domaine mais plutôt les non professionnels. La gestion d'une crise majeure peut mobiliser plusieurs centaines d'intervenants, passant du Préfet dans son bureau au pompier sur le terrain. Ces intervenants sont amenés à communiquer et à collaborer pour rétablir la situation à un état normal. Devant le nombre d'intervenants, le nombre d'absents à une session d'entraînement est non négligeable: il faut alors pouvoir remplacer les apprenants (joueur humain) par des joueurs virtuels. Si une approche de simulation orientée agent s'est rapidement imposée pour développer ces joueurs virtuels, l'approche agent est apparue également pertinente pour assurer l'évaluation des apprenants comme nous le verrons plus loin.

En tant que jeu sérieux, SIMFOR vise à immerger l'apprenant dans un monde virtuel qui lui permet d'agir comme il le ferait (et devraient le faire) dans une situation d'urgence. Les connaissances et les compétences impliquées dans une telle situation sont diverses dans leur nature et leur source. Ce dernier point relève de considérations en terme d'architecture logicielle (comment gérer l'intégration de source d'informations hétérogènes par ex.), nous étudions tout d'abord dans cette section la conséquence de cette hétérogénéité en terme d'évaluation. Ainsi, se pose la question de comment évaluer et de certifier (ou non) les connaissances et les compétences acquises par les joueurs. Afin de mieux comprendre l'aspect hétérogène des besoins d'évaluation, la section suivante s'appuie sur un exemple de mise en situation.

## 2.1 Problématique d'évaluation soulevée par le projet SIMFOR

Considérons le scénario suivant qui commence par un camion TDM (Transport des Matières Dangereuses) qui s'est renversé après un accident de la circulation.

Le réservoir est endommagé et de l'hydrocarbure se répand sur la chaussée. Un témoin de l'accident donne l'alerte en appelant le CODIS (Centre Départemental d'Incendie et de Secours) qui à son tour doit effectuer quatre missions pour répondre à l'alerte. Tout d'abord, le CODIS doit envoyer un pompier sur les lieux pour récupérer les informations sur le sinistre ("*Envoyer pompier*"). Une fois les informations sur le sinistre reçues (transmises par le pompier sur les lieux) et confirmant l'accident TDM, le CODIS doit donner ensuite des instructions à un officier (pompier) sur les mesures à prendre. Puis, en troisième lieu, le CODIS doit remplir une fiche de renseignements sur le sinistre et doit l'envoyer par fax au maire, au préfet et au sous-préfet (l'ordre d'envoi n'est pas important). Enfin, la dernière mission est d'informer l'officier du lieu du PCO (Poste de Commandement Opérationnel) une fois ce dernier établi et communiqué par le préfet.

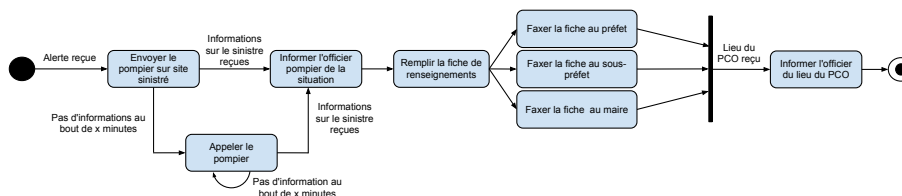


Fig. 2. Diagramme d'activité UML

Ce scénario implique plusieurs acteurs (CODIS, pompier, ...), chacun avec des procédures et des connaissances différentes à évaluer ainsi que l'orchestration des interactions qui doit être respectée. Comme ces données diffèrent dans leur nature ainsi que dans leur provenance (source), chacune nécessite une représentation spécifique afin de produire une évaluation fiable. La figure 2 illustre un diagramme d'activité UML représentant de manière simplifiée les connaissances procédurales de l'acteur jouant le rôle du CODIS, et cela sous forme de mission à réaliser. En outre, les interactions peuvent être évaluées par le temps écoulé entre la détection du sinistre et sa résolution ainsi que la zone impactée (par ex. zone détruite par l'incident). Chaque connaissance nécessaire à l'évaluation peut utiliser un modèle de représentation différent, ainsi qu'un calcul d'évaluation spécifique pour produire un score d'apprentissage pour valider ou non l'objectif d'apprentissage d'un scénario.

Ainsi, l'évaluation des apprenants nécessite la collecte de données provenant de différentes sources en fonction du rôle incarné par l'apprenant dans le scénario. Par exemple, pour évaluer la première action de l'acteur CODIS (téléphoner), nous avons besoin de données de l'environnement pédagogique (environnement 3D accessible via l'interface homme-machine- IHM). Nous avons également besoin de l'historique des actions de l'apprenant pour ensuite les comparer avec la séquence d'actions prévue dans le modèle du domaine (défini par un expert du domaine, figure 2). Les informations nécessaires pour l'évaluation varient donc

dans leur type ainsi que leur nature (selon le rôle joué par l'acteur), et devront être acquises auprès de sources de données ou de connaissances distribuées sur des composants logiciels variés.

## 2.2 Travaux existants

L'accompagnement des apprenants et leur évaluation est un sujet déjà traité dans la littérature [7] [4]. Les besoins d'évaluation des jeux sérieux ciblent plus particulièrement l'évaluation durant l'apprentissage (aide en temps réel de l'apprenant) et après l'apprentissage (diagnostic sur les compétences apprises) impliquant éventuellement un "débriefing" après la formation entre l'apprenant et le moniteur. L'évaluation dans les jeux sérieux est une problématique en soit [1][8], à laquelle peut répondre les Systèmes Tutoriels Intelligents (STI), pour qui l'évaluation des apprenants constitue un enjeu majeur théorique et expérimental. En combinant les possibilités d'évaluation d'un STI avec un jeu sérieux, nous pouvons ainsi améliorer les résultats de formation utilisant un jeu sérieux.

Dans ce contexte, les Systèmes Multi-agents (SMA) interviennent principalement dans la simulation de comportement d'acteurs virtuels (*Non Player Character*) [2] et dans une moindre mesure dans le processus d'évaluation. Ainsi les travaux de Lourdeaux et al. [4] proposent un outil basé sur un STI pour la formation des conducteurs de TGV avec le concept de HAL (Help Agent for Learning). L'environnement de formation de HAL est basé sur la réalité virtuelle avec la reproduction d'un cockpit de TGV ainsi qu'un écran géant pour afficher l'environnement 3D. Par définition HAL est mono-apprenant et ne permet pas une évaluation finale afin de diagnostiquer l'apprenant.

Dans le domaine de la gestion des risques, le projet PEGASE (PEdagogical Generic and Adaptive SystEm) est un STI pour la gestion des risques à bord des porte-avions, mobilisant néanmoins un nombre de rôles joués limité (uniquement les membres d'équipage) et n'aborde pas l'évaluation collective. Toujours dans la gestion des risques, Amokrane [9] propose un outils de formation pour les sites SEVESO. HERA (Helpful agent for safEty leaRning in virtuAl environment) traite l'évaluation des apprenants, par contre HERA est mono-apprenant et ne traite pas non plus le problème de l'évaluation collective (procédures collaboratives).

Ainsi SIMFOR présente des besoins spécifiques du fait de son caractère multi-acteurs qui requiert deux types d'évaluation: une évaluation individuelle et une évaluation collective (globale). La résolution d'une crise (incendie, pollution...) passe par la résolution de toutes les procédures des intervenants : dès lors l'évaluation individuelle peut avoir une influence sur l'évaluation collective, et réciproquement. Considérons, par exemple, un apprenant qui a bien effectué ses procédures, mais dont le but global n'a pas été atteint (e.g. perte matérielle et humaine). Cet apprenant doit être évalué sur sa performance individuelle et collective pour déduire la raison de l'échec (manque de communication, procédure manquante d'un autre apprenant, ...). La section suivante décrit comment nous entendons répondre à ces besoins.

### 3 Amélioration de l'évaluation dans les jeux sérieux : Le concept d'espace d'évaluation

Cette section développe une contribution de modélisation qui propose d'intégrer l'évaluation des apprenants dans un jeu sérieux en prenant en compte la nature et les origines diverses des éléments nécessaires à la production de cette évaluation. Cette évaluation est illustrée dans le projet SIMFOR. Nous présentons aussi les différents types d'indicateurs permettant de couvrir les différents types d'évaluation.

#### 3.1 Le concept d'espace d'évaluation

Comme vu dans la section précédente, intégrer l'évaluation dans un jeu sérieux implique l'utilisation de connaissances, d'informations ou de données, produites ou transformées en permanence jusqu'à la fin du déroulement du scénario de jeu. Chaque élément d'information nécessite une manipulation spécifique afin d'en extraire une évaluation. Une façon naturelle de faire face à la complexité de la gestion de ces informations (au sens large) est de diviser et d'organiser ces informations en groupes homogènes dans lesquels des primitives dédiées peuvent être utilisées pour produire une évaluation. La notion *d'espace d'évaluation* s'inscrit dans cette démarche en englobant tous les éléments nécessaires pour produire des évaluations, en considérant un scénario de jeu à travers des vues différentes, chacune correspondant à un objectif d'évaluation particulier. .

L'idée Un *"espace d'évaluation"* rassemble ainsi des informations (homogènes) ainsi que des primitives de manipulation de ces dernières dans le but de produire une évaluation. Un espace est défini par les éléments suivant:

$$Space = \{Kw, I, M, AM\} \quad (1)$$

- *Représentation des connaissances (KW)*: Comme expliqué dans la section 2.1, différents types de connaissances sont impliqués et chacun est basé sur un paradigme de modélisation spécifique (modélisation de données, base de règles, réseau Bayésien, ...). Pour assurer l'homogénéité de l'évaluation, un espace est associé à un ensemble de modèles de représentation des connaissances similaires.
- *Indicateurs (I)*: Un indicateur est généralement défini comme une information associée à un phénomène pour observer ses variations périodiques. Par conséquent, un indicateur représente une donnée quantitative qui caractérise une situation en évolution (une action ou les conséquences d'une action) afin d'évaluer et de comparer leur état. L'usage d'indicateurs pour l'évaluation se retrouve dans d'autres travaux sur les jeux sérieux [8].
- *Métriques (M)*: Les métriques représentent les méthodes et les unités de mesure utilisées pour comparer les résultats attendus (comportements, décision, ...) des acteurs et leurs actions réelles. La métrique est utilisée pour quantifier l'indicateur, en d'autre terme, donner une valeur à l'indicateur pour calculer une évaluation.

- *Modèle d'évaluation*: Il y a différents modèles d'évaluation en fonction de l'espace et sa représentation de connaissances. L'évaluation peut porter sur une action, sur une procédure ou bien globalement sur une session d'entraînement (nous verrons les différents types d'évaluation dans la section 3.3). Le calcul d'indicateurs repose sur un modèle d'évaluation spécifique ainsi que sa métrique.

Pour montrer comment ce concept peut être instancié dans un cas réel, la section suivante expose son application dans le projet SIMFOR.

### 3.2 Illustration du concept d'espace d'évaluation avec le projet SIMFOR

La section 2.1 montre le caractère hétérogène de l'évaluation dans un scénario de jeu SIMFOR. Pour faire face à cette hétérogénéité, nous avons défini trois différents *espaces d'évaluation*:

- *L'espace des comportements*: cet espace comprend les actions et les connaissances des acteurs, ainsi que les différentes informations sur les compétences et procédures à apprendre. Ce type de données correspond au modèle du domaine et au modèle de l'apprenant dans un système tutoriel intelligent. Le modèle du domaine est statique (composé par exemple d'une ontologie et de plans<sup>5</sup> [8] qui n'évoluent pas au cours du jeu) et est défini par un expert du domaine. Le modèle de l'apprenant est dynamique (évolue durant l'expérience de jeu de l'apprenant) et est alimenté par les actions réalisées par l'apprenant ainsi que les connaissances acquises. L'évaluation nécessite donc des capacités de raisonnement sur les modèles de connaissance composant le modèle du domaine.
- *L'espace physique*: L'espace physique représente le monde virtuel, avec les avatars des acteurs, les moyens mis à disposition des joueurs (voitures, téléphone, fax, ...) et l'environnement (bâtiment, route, arbres, ...). Ces données peuvent évoluer dans le temps comme l'état d'un sinistre, la position d'un acteur, ... . Le monde virtuel est représenté par l'interface 3D du jeu sérieux. Le traitement et la manipulation de ces données est effectués durant la partie par la simulation du jeu ainsi que par les différents mécanismes du moteur de jeu (interaction, animation, ...). L'évaluation consiste en l'agrégation de ces données via des expressions mathématiques.
- *L'espace social*: L'espace social représente l'interaction sociale entre les différents acteurs. Nous représentons l'espace social avec un graphe qui enregistre chaque interaction entre les acteurs et calcule une force d'interaction entre chaque acteur ainsi que le degré d'intégration des acteurs du réseau. L'évaluation sera basée sur ces mesures. On retrouve ici les considérations de [2] sur la représentation et l'exploitation des interactions pour l'évaluation des apprenants.

<sup>5</sup> eux mêmes décrits par des réseaux de Petri ou des diagrammes d'activité UML.

La figure 3 résume les différents espaces utilisés dans le projet SIMFOR avec leur représentation des connaissances, les sources de données et quelques exemples d'indicateurs.

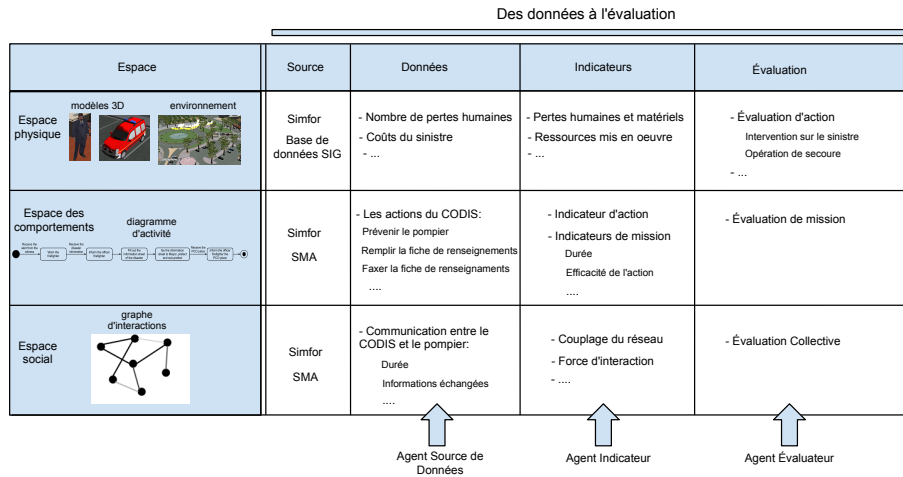


Fig. 3. Des données à l'évaluation

### 3.3 L'évaluation dans SIMFOR

Pour couvrir tous les types d'évaluation (en temps réel, finale et collective), nous avons défini différents types d'indicateurs. L'acquisition des données ou connaissance et le calcul des évaluations sera pris en charge par des agents (cf. figure 3).

**évaluation en temps réel.** Cette évaluation porte sur un diagnostic évoluant tout au long de la partie (scénario de jeu). L'évaluation en temps réel recouvre l'évaluation d'une action ou d'une mission. Pour évaluer une action l'agent évaluateur calcule un score en se basant sur les indicateurs correspondant (*indicateur d'action*). Par exemple, pour l'action "Fax" (figure 2), l'évaluation consiste à vérifier qu'aucun interlocuteur n'a été oublié. Pour évaluer une mission, l'agent évaluateur se base sur différents indicateur (dépendant de mission à réaliser, temps, pré-conditions, ordre des actions, ...). Le score de la mission est la moyenne des différents scores produits par ces indicateurs. Les indicateurs sont calculés de manière régulière (temps ou événement) et sont basés sur des variables qui peuvent elles-mêmes exiger un calcul spécifique.

**évaluation finale.** L'évaluation finale individuelle correspond à une évaluation sommative qui évalue et certifie l'apprentissage de l'apprenant à la fin du scénario



de jeu. Cette évaluation compare l'état final du modèle de l'apprenant (actions de l'apprenant ainsi que ses connaissances) avec le modèle du domaine et établit un diagnostic sur les compétences acquises et les compétences qui restent à apprendre.

**évaluation collective.** Utilisant l'espace social, un graphe d'interaction est construit, représentant les différentes communications et les interactions entre les différents acteurs (les apprenants ainsi que les acteurs simulés). Avec ce graphe, nous savons qui a contacté qui, quand, et pour combien de temps, ainsi que les informations échangées. Combinant les informations provenant des différents espaces, nous avons la possibilité de déduire un lien de causalité entre les missions des différents acteurs (l'acteur A a échoué dans sa mission parce que l'acteur B n'a pas envoyé les bonnes informations) et ainsi obtenir une évaluation complète et précise de tous les acteurs.

*L'évaluation globale*, qui ne peut être déterminé qu'à la fin d'une session de jeu, va intégrer l'évaluation à la fois individuelle et collective. La certification d'une compétence ou des connaissances de l'apprenant peut être obtenue par négociation comme dans [10].

#### 4 Un système multi-agents pour l'évaluation des apprenants

Les sections précédentes ont présenté en détail les besoins en termes d'information (au sens large) nécessaires pour produire une évaluation complète et précise dans le jeu sérieux SIMFOR. Afin de faire évoluer SIMFOR en un jeu sérieux orienté STI (pour prendre en compte l'aspect suivi et évaluation des apprenants), l'architecture logiciel doit s'adapter aux différents composants logiciels (environnement 3D, simulation multi-agents, simulation des interactions humaines, outils de base de données, etc) tout en respectant l'hétérogénéité des connaissances nécessaires à l'évaluation des apprenants.

L'aspect distribué et hétérogène du problème nous a conduit à opter pour une architecture multi-agents pour la mise en œuvre de la solution. Les systèmes multi-agents permettent une architecture logicielle décentralisée et distribuée d'autant plus que les agents possèdent des capacités sociales [11] (communication entre les agents). Ils peuvent ainsi également intervenir à un niveau d'intégration logicielle [12]. Notre objectif est de combiner les différentes technologies des jeux sérieux (3D, mécanisme de jeu, animation, ...) et un STI (représentation des connaissances, pédagogie, ...) pour obtenir un outil d'apprentissage optimal. Les agents composant le système multi-agents ont pour mission de collecter les données liées aux apprenants, de traiter et d'évaluer ces données et fournir un support aux apprenants. Pour réaliser ces missions, nous avons défini cinq types d'agent:

- *Agent Source de Données (AgSD)*: ce type d'agent est responsable de la collecte des données.

- *Agent Indicateur (AgI)*: ce type d’agent agrège/transforme les données en indicateurs pour l’évaluation des apprenants.
- *Agent évaluateur (AgE)*: ce type d’agent calcule l’évaluation d’un apprenant
- *Agent Pédagogique (AgP)*: cet agent analyse la situation pédagogique, et sélectionne la stratégie adaptée pour aider l’apprenant.
- *Agent Apprenant (AgA)*: ce type d’agent est responsable de la mise à jour du modèle de l’apprenant.

En plus des agents défini si dessus, pour simuler les acteurs qui ne sont pas joués par un apprenant, nous avons ajouté un SMA qui simule le comportement humain. Pour chaque "personnage non joué" (PNJ), nous devons associer un agent (appelé Agent de Jeu) qui reproduit le comportement de l’acteur simulé (rôle incarné). Les agents de jeux sont basés sur l’architecture BDI [13] avec quelques modification pour fournir une plus grande souplesse au concepteur du scénario. Ils relèvent donc d’une approche classique de simulation orientée agent.

Une évaluation globale et collective peut être effectuée par un processus collaboratif (ou processus de négociation) entre les différents agents évaluateurs.

Pour mieux comprendre comment les agents distribuent le processus d’évaluation présenté dans la section 3, la figure 3 résume le processus de transformation graduelle des données de jeu à l’évaluation des apprenants. Ces informations sont transformées et agrégées progressivement mais chaque étape est assurée par un agent dédié. Cette figure illustre donc le caractère hétérogène de ces informations ainsi que leur source, et comment les agents assurent la transition entre des données à un niveau logiciel et l’évaluation des compétences des apprenants.

La figure ?? reprends l’architecture générale du système. On y retrouve les différents types d’agents évoqués précédemment: agents dédiés simulation, dédiés évaluation etc. La spécialisation des agents ainsi que leurs interaction à un niveau de langage indépendant des composants logiciels "bas niveau", permet d’assurer une certaine généricité et ainsi faciliter l’évolution du système en cas par exemple de modification de processus d’évaluation ou d’ajout de nouveaux indicateurs et/ou sources d’information.

La section suivante présente un exemple d’un processus d’évaluation reprenant l’exemple présenté dans la section 2.1.

## 5 Fonctionnement général: Exemple de scénario

Pour illustrer l’évaluation des apprenants, nous présentons un exemple de scénario défini à l’aide d’un expert du domaine qui décrit l’interaction entre les différents agents. Pour cela nous reprenons l’exemple de scénario présenté dans la section 2.1.

La figure ?? décrit l’interaction des différents agents lors du processus d’évaluation par un diagramme de séquence UML au cours du processus d’évaluation. L’*agent apprenant* a pour mission de mettre à jour le modèle apprenant (un *agent apprenant* est associé à chaque acteur), pour cela l’agent apprenant s’abonne à

*l'agent Source de Données*<sup>6</sup> (AgSD) (flèche 0, la figure ??) pour obtenir les actions et les connaissances de l'apprenant.

Lorsque l'apprenant effectue une action (dans l'exemple, l'acteur CODIS appelle un acteur pompier pour l'avertir de l'accident), l'AgSD envoie les données de l'action à l'agent apprenant (1) (id de l'acteur, cible, ...). Une fois que les données sont reçues, *l'agent apprenant* met à jour le modèle de l'apprenant et informe *l'agent pédagogique* (AgP) (2) d'un nouvel événement (nouvelle action effectuée). Une fois que l'événement est reçu, l'AgP procède à l'accompagnement de l'apprenant. Tout d'abord, l'AgP demande une évaluation de l'apprenant (3). *L'agent d'évaluateur* (AgE) récupère les informations pertinentes du modèle de l'apprenant (4) (niveau, rôle, procédure en cours de réalisation, ...), ensuite il fait une requête à l'agent Indicateur (AgI) pour obtenir la valeur des indicateurs concernant l'évaluation (5). Dans l'exemple, l'apprenant effectue l'action *téléphoner*, donc l'AgE effectue l'évaluation d'une action. Pour calculer l'efficacité de cette action, l'AgE reçoit l'indicateur *actionPhoneIndicator*, qui contient les informations nécessaires pour l'évaluation (6). Cet indicateur est spécifique à l'action *téléphoner* et a pour paramètres: le temps d'exécution de l'action et l'échange d'informations lors de l'appel. Une fois l'évaluation calculée, l'AgE envoie le résultat à l'AgP (7). Ce dernier analyse la situation (évaluation de l'apprenant, modèle du domaine et modèle de l'apprenant) et sélectionne une stratégie de support pour l'apprenant.

Lorsque l'AgE détecte la fin d'une mission, l'AgE procède à l'évaluation de cette dernière (évaluation de mission, section 3.3). Pour cela, l'AgE envoie une requête à l'AgI pour obtenir les indicateurs adéquats. Selon la mission, l'AgI envoie à son tour une requête à l'AgSD pour obtenir les données manquantes pour compléter les indicateurs, par exemple: pour évaluer une des missions du pompier "*intervention sur le sinistre*", l'AgI a besoins des: *pertes matériels et humaines*, et du *temps nécessaire pour maîtriser le sinistre*. Comme mentionné dans 3.3, l'AgE calcule un score d'évaluation combinant les différents scores en utilisant les données issues des trois différents espace (espace physique, espace social et l'espace de comportements).

## 6 Conclusion

Avec l'intérêt croissant des jeux sérieux pour la formation, la question de l'évaluation des joueurs (apprenants) est de plus en plus pertinente. Dans cet article, nous avons présenté les caractéristiques ainsi que les enjeux liées à l'évaluation des apprenants dans les jeux sérieux en s'appuyant sur le projet SIMFOR : un jeu sérieux pour la formation des non professionnelle à la gestion de crise. Nous avons alors proposé d'ajouter des fonctionnalités d'évaluation aux jeux sérieux via le concept "*d'espace d'évaluation*". Ensuite, une architecture SMA pour mettre en oeuvre l'évaluation des apprenants a été proposée à partir du concept d'*Espace d'évaluation* tout en prenant en compte les besoins d'intégration que nous avons

<sup>6</sup> connecté à l'environnement 3D de SIMFOR

identifiés. Cette intégration permet à SIMFOR d'améliorer ses fonctionnalités pédagogiques en proposant un système d'évaluation hétérogène (évaluation des métiers et des compétences différentes: pompier, policier, préfet ...) et distribué (un espace à trois évaluation différente, physiques, sociaux et comportementaux), basée sur l'architecture d'un système tutoriel intelligent (STI). Cette approche permet une évaluation individuelle et collective en temps réel ainsi qu'une évaluation à la fin du jeu qui permet un diagnostic des tches individuelles et collectives.

Nos travaux futurs dans le projet SIMFOR portent sur l'aspect collaboratifs dans le domaine de la gestion de crise, sur la base d'une analyse en temps réel du graphe d'interaction devant permettre un meilleur support pédagogique.

## References

1. Nieborg, D.: America's army: More than a game. In: Proceedings of 35th Annual Conference of the International Simulation And Gaming Association (ISAGA) and Conjoint Conference of SAGSAGA. (2004)
2. Mathieu, P., Panzoli, D., Picault, S.: Serious games et sma - application à un supermarché virtuel. In: JFSMA. (2011) 181–190
3. Michael, D.R., Chen, S.L.: Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform. Muska & Lipman/Premier-Trade (2005)
4. Lourdeaux, D.: Réalité virtuelle et formation: conception d'environnements virtuels pédagogiques. PhD thesis, Paris (2001)
5. Buche, C., Bossard, C., Querrec, R., Chevaillier, P.: Pegase: A generic and adaptable intelligent system for virtual reality learning environments. *International Journal of Virtual Reality* **9**(2) (2010) 73
6. Burns, H., Capps, C.: Foundations of intelligent tutoring systems: An introduction. *Foundations of intelligent tutoring systems* (1989) 1–18
7. Johnson, W., Rickel, J., Stiles, R., Munro, A.: Integrating pedagogical agents into virtual environments. *Presence* **7**(6) (1998) 523–546
8. Thomas Benjamin, P., Labat, J.M., Muratet, M., Yessad, A.: How to Evaluate Competencies in Game-Based Learning Systems Automatically? In: 11th International Conference in Intelligent Tutoring Systems. *Lecture Notes in Computer Science*, Springer (June 2012) 168–173
9. Amokrane, K.: Suivi de l'apprenant en environnement virtuel pour la formation à la prévention des risques sur des sites SEVESO. PhD thesis, Université de Technologie Compiègne (December 2010)
10. Chadli, A., Tranvouez, E., Bendella, F.: Cooperative skills evaluation and participative multiagent simulation for rodent control training. In: *Machine and Web Intelligence (ICMWI), 2010 International Conference on*, IEEE (2010) 41–47
11. Wooldridge, M., Jennings, N., et al.: Intelligent agents: Theory and practice. *Knowledge engineering review* **10**(2) (1995) 115–152
12. FIPA: Agent software integration specification. Technical Report XC00079B, Foundation for Intelligent Physical Agents (2001)
13. Rao, A., Georgeff, M., et al.: Bdi agents, from theory to practice. In: *Proceedings of the first international conference on multi-agent systems (ICMAS-95)*, San Francisco (1995) 312–319