



HAL
open science

Extension pédagogique du concept de smart object pour les agents conversationnels incarnés

Jean-Benoît Culié, David Panzoli, Michel Galaup

► To cite this version:

Jean-Benoît Culié, David Panzoli, Michel Galaup. Extension pédagogique du concept de smart object pour les agents conversationnels incarnés. Workshop Affects, Compagnons Artificiels et Interactions (WACAI), Jun 2024, Bordeaux, France. hal-04820722

HAL Id: hal-04820722

<https://hal.science/hal-04820722v1>

Submitted on 5 Dec 2024

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.

Extension Pédagogique du Concept de *Smart Object* pour les Agents Conversationnels Incarnés

Jean-Benoît Culié

David Panzoli

jean-benoit.culie@univ-jfc.fr

Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT)
Université Toulouse 3 Paul Sabatier, France

Michel Galaup

UMR Éducation Formation Travail Savoirs (EFTS)

Université Toulouse 2 Jean-Jaurès

INU JEan-François Champollion, Albi
France

ABSTRACT

Le concept de *smart object*, apparu avec l'avènement des environnements virtuels, consiste à doter les objets interactifs de données leur permettant d'informer les agents, utilisateurs ou personnages non-joueurs, sur leur usage ou leurs modalités d'interaction. Ce concept simplifie l'écriture du comportement des personnages non-joueurs en déléguant et en distribuant dans les objets une partie de leur contrôle. Il apporte ainsi aux comportements adaptativité, modularité et robustesse. Dans cet article, nous décrivons de quelle manière nous avons étendu le concept de *smart object* en lui conférant une portée pédagogique. De cette manière, nous permettons à un compagnon numérique de se comporter de manière autonome dans l'environnement informé, mais également d'assumer un rôle pédagogique face à l'apprenant.

KEYWORDS

Smart-Objects, Agent Conversationnel Incarné, Pédagogie, Apprentissage Immersif, EIAH

1 INTRODUCTION

À des fins de distraction, d'instruction ou de formation, les environnements virtuels permettent l'immersion d'un utilisateur, d'un joueur ou d'un apprenant dans des mondes synthétiques. Ils sont le plus souvent dynamiques, et idéalement interactifs, évoluant au gré des interactions des utilisateurs. Lorsque ces environnements reproduisent numériquement des lieux publics (ville, station, lieu touristique, etc.) ou professionnels (atelier, usine, entrepôt), les peupler avec des personnages non-joueurs, c'est à dire autonomes et pilotés par des algorithmes ou des systèmes entraînés par apprentissage automatique, apporte de nombreux avantages. Des usagers virtuels permettent ainsi d'animer une rue ou un quartier, renforçant ainsi l'immersion de l'utilisateur, ou de mieux illustrer la fonction d'un espace ou le flux des personnes, comme par exemple dans une gare [30]. Dans les applications d'héritage culturel, les touristes virtuels peuvent mettre en valeur la reconstitution d'un lieu célèbre ou antique en ajoutant une dynamique aux lieux, comme dans cette exploration de la ville de Pompeii [21]. Des modèles 3D et des animations appropriées permettent en outre de transmettre des connaissances historiques relatives à la vie de l'époque en restituant avec exactitude les costumes, des pratiques religieuses ou sociales [25]. Enfin, dans une formation immersive, les rôles assumés par les agents virtuels permettent d'apporter une dimension sociale à l'apprentissage des compétences. Par exemple, il peuvent illustrer l'activité dans l'espace de travail [7]. Ils peuvent assister l'utilisateur dans des tâches collaboratives, voire remplacer un joueur manquant dans un scénario [19]. Ils peuvent faire partie

intégrante du scénario de formation s'ils sont utilisés de manière intelligente pour commettre des erreurs à la place de l'apprenant [9]. Enfin, en adoptant des capacités d'interactions dialogiques, sociales ou émotionnelles, ils deviennent également capables de jouer un rôle de tuteur pédagogique auprès de l'apprenant [6].

Il existe de nombreuses techniques pour l'animation ou la simulation comportementale : approches centrées agent ou multi-agents, algorithmes de planification avancés [29] ou encore *interactive storytelling* [20] (voir [24] pour un état de l'art récent). Dans le cas des agents virtuels qui évoluent de manière autonome dans un environnement complexe, c'est à dire rempli d'objets, de machines ou d'autres agents, une stratégie gagnante consiste à déléguer une partie des traitements aux objets même de l'environnement, afin d'alléger la complexité du moteur de comportement de ces agents. On utilise le terme d'environnement informé, défini formellement dans [8] comme un environnement dans lequel les représentations graphiques (géométrie, textures, etc.) des objets qui s'y trouvent sont enrichies d'informations sémantiques sur la nature, la fonction ou la dynamique de ces objets. Pour qualifier ces objets, on utilise le terme de *smart objects*. Ils sont aussi utiles pour régler les interactions 3D [1], qu'automatiser les animations [26] ou planifier des comportements complexes [16]. Ils permettent de réduire la complexité du code [5] en appliquant une stratégie de type "diviser pour mieux régner", réduisant ainsi le processus de conception tout en promouvant une architecture souple et réutilisable [13]. Le concept de *smart object* date de 1999 [17], mais l'idée initiale qu'une partie du raisonnement menant à la manipulation puisse être transposée dans l'objet manipulé est proche d'un principe antérieur, celui de la théorie des affordances de Gibson [14]. Gibson a développé la théorie des affordances pour décrire comment les individus perçoivent et interagissent avec leur environnement. Selon cette théorie, les affordances sont les possibilités d'action offertes par les objets ou l'environnement, en fonction des capacités et des intentions de l'individu. Le concept de *smart object*, tel que décrit par Kallmann [17] étend cette idée aux objets virtuels ou interactifs dans les environnements informatiques, leur permettant de répondre de manière intelligente aux actions de l'utilisateur, en anticipant parfois ses besoins et en adaptant leur comportement en conséquence. Il met ainsi en avant la capacité des objets à offrir des possibilités d'action appropriées, en fonction du contexte et des intentions de l'utilisateur, et en propose une implémentation informatique concrète et universelle, encore utilisée aujourd'hui, comme par exemple dans l'architecture CRITS [7].

Dans une formation immersive ou une application d'héritage culturel, l'utilité pédagogique des agents est donc variable, en fonction

de leur distance et leur degré d'interaction avec l'utilisateur [25]. Une foule de personnages navigant dans la scène apporte un premier niveau d'information à propos des lieux. Deux personnages en interaction, et animés de manière réaliste, permettent de transmettre une information plus précise et plus qualitative. Mais ce sont sans conteste les agents conversationnels qui constituent l'apport le plus important de savoir, en engageant des interactions explicites et naturelles avec les apprenants. Dans la section suivante, nous nous intéressons aux agents conversationnels, et aux rôles qu'ils peuvent jouer dans la transmission pédagogique des utilisateurs. Dans la section 3, nous montrons comment le concept de *smart object* peut être étendu à un usage pédagogique pour un agent conversationnel incarné. Enfin, dans la section 4, nous concluons en rappelant les résultats et les contributions de notre recherche.

2 ÉTAT DE L'ART DES AGENTS CONVERSATIONNELS

Les agents conversationnels animés (ECA) constituent le haut de la pyramide des agents virtuels dans un environnement immersif. Ils sont dotés de capacités leur permettant de simuler des interactions humaines de manière convaincante. Ils sont capables de reconnaître et de répondre à des comportements verbaux et non verbaux afin d'interagir avec l'utilisateur. Certains sont même dotés de capacités affectives, leur permettant d'intégrer une dimension émotionnelle à leur comportement, qu'ils soient verbaux, en jouant par exemple sur les intonations de la voix, ou non-verbaux par la biais d'expressions faciales ou de postures corporelles. Des travaux récents envisagent même d'intégrer la reconnaissance des émotions de l'apprenant dans la régulation du comportement empathique de l'ECA [11]. Pour Cassell et al [4], "les agents conversationnels incarnés sont spécifiquement conversationnels dans leurs comportements, et spécifiquement humains dans la façon dont ils utilisent leur corps dans la conversation". Ils identifient en outre les propriétés caractéristiques d'un ECA :

- Reconnaître et répondre à des informations verbales et non verbales
- Générer des signaux verbaux et non verbaux
- Traiter les fonctions conversationnelles telles que le tour de parole, le retour d'information et les mécanismes de réparation
- Donner des signaux indiquant l'état de la conversation et apporter de nouvelles propositions au discours

Provoost et al [27] définissent trois règles à suivre, incluant également le concept d'agentivité, pour qu'une entité logicielle puisse être considérée comme un ECA. Premièrement, il doit y avoir une incarnation virtuelle ou physique. Ensuite, elle doit interagir avec un utilisateur. Et enfin, elle doit avoir un sens raisonnable de l'agentivité, ce qui signifie que son comportement doit être autonome et que l'entité doit faire preuve d'une certaine forme de raisonnement. En d'autres termes, l'ECA doit être autonome et intelligent d'une manière qui n'est pas contrôlée par un opérateur humain.

En ajoutant aux capacités interactionnelles classiques d'un agent autonome des aptitudes permettant une conversation naturelle avec un humain, un ECA peut se voir confier un rôle plus actif

dans la pédagogie et la transmission des savoirs. Est-il envisageable de faire d'un ECA un enseignant ? Selon Bru [3, p. 7], les activités d'un enseignant seraient de « créer des conditions matérielles, temporelles, cognitives, affectives, relationnelles, sociales pour permettre aux élèves d'apprendre ». Pour recentrer notre propos par rapport à notre objet de recherche, à savoir les formations immersives ou les applications d'héritage culture, il nous semble nécessaire d'orienter cette définition vers la didactique professionnelle avec, en ligne de mire, la transmission d'un savoir-faire professionnel [12]. Ainsi l'expérience professionnelle proposée dans notre recherche combine des savoirs théoriques et des savoirs d'action, elle est porteuse d'apprentissages. Selon De Montmoulin [22, p. 193], le savoir-faire renvoie à « un savoir dans l'action », une aptitude à réaliser une activité donnée ou attendue, un ensemble de tâches. La relation pédagogique complexe, entre enseignant-apprenant a pour but l'appropriation par l'apprenant du savoir-faire que le professeur lui enseigne, en regard des exigences de la tâche. Selon Winnykamen [10], cette dyade prend la forme d'un apprentissage par imitation-modélisation interactive. Dans cette relation, comme l'illustrent les figures 3 et 4, le tuteur guide, favorise l'accès à la maîtrise, à l'apprentissage afin que l'apprenant puisse comprendre, interagir, conceptualiser et construire des connaissances. Ce dernier va ainsi modifier ses conduites en fonction de celles du tuteur.

Dans le domaine des ECA pédagogiques, Jeff Rickel et W. Lewis Johnson ont apporté une contribution significative avec le développement de Steve [28], un agent pédagogique animé "orienté tâche", c'est à dire conçu pour la formation dans des environnements virtuels. Steve est capable d'interagir de manière convaincante avec les apprenants et utilisant des signaux verbaux et non verbaux tels que la monstration, le contact visuel avec l'apprenant ou encore le fait de pouvoir travailler en équipe avec l'apprenant. Rickel et al. [15] ont également listé les capacités dont un ECA doit être doté pour remplir ces tâches:

- Réaliser des démonstrations interactives
- Guider l'utilisateur dans l'environnement virtuel
- Utiliser le regard et la gestuelle comme guides attentionnels
- Afficher des retours d'information (*feedbacks*) non-verbaux
- Gérer les signaux conversationnels
- Transmettre et susciter des émotions
- Agir en tant que coéquipier virtuel
- Offrir une interaction pédagogique adaptative

Pour doter les ECA de ces capacités, la technique principalement utilisée est l'*Intelligent Tutoring System (ITS)* [23]. Il s'agit d'un système expert qui a la charge de prendre des décisions relatives au déroulement de l'activité pédagogique, en accord, entre autres, avec l'apprenant et les objectifs de la formation. De manière plus prosaïque, l'ITS représente métaphoriquement le centre décisionnel de l'ECA. Inversement, l'ECA peut ainsi être considéré comme l'incarnation de l'ITS, voir le médium à travers lequel les décisions prises par l'ITS sont *in fine* communiquées à l'apprenant. De manière classique, et comme l'illustre la figure 1, un ITS est constitué de trois modules qui travaillent de concert. Chaque module est responsable d'un aspect de l'apprentissage et opérationnalise les décisions de l'ITS à travers l'ECA. Pour cela, chacun de ces trois modules est associé à un modèle dans lequel les concepteurs

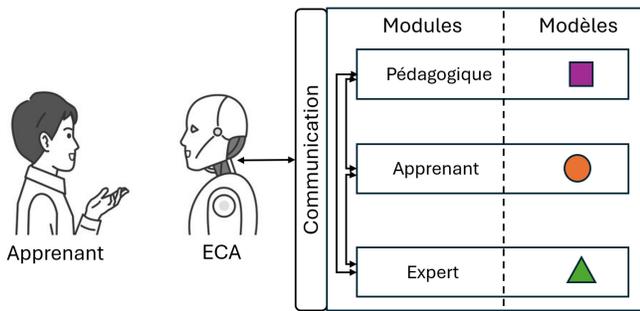


Figure 1: Structuration classique d'un ITS, tiré et adapté de [2]. Il se compose de trois modules fonctionnels qui communiquent entre eux : pédagogique, apprenant et expert. Chaque module est relié à son modèle. L'ITS, par le biais d'une interface, communique avec l'apprenant en utilisant l'ECA comme médium.

représentent, structurent et organisent les connaissances et les règles sur lesquelles le module s'appuie. Le module pédagogique est responsable de la conception et de la mise en œuvre de la stratégie pédagogique. Son modèle décrit comment les informations doivent être présentées à l'apprenant, et comment l'acquisition de ces dernières doit être évaluée. Le module apprenant recueille les informations afférentes à l'apprenant et à la progression de son apprentissage. Il est associé à un modèle qui constitue une représentation abstraite (évolutive au fil des interactions) de ses préférences, de son style cognitif et de ses connaissances préalables. Enfin, le module expert est responsable de l'acquisition de l'expertise, en fournissant des réponses, des explications et des conseils relatifs à la tâche. La collaboration de ces trois modules permet à l'ITS de prendre des décisions informées, et de répondre de manière pertinente aux problèmes que peut rencontrer l'apprenant durant l'activité d'apprentissage. Par exemple, le module pédagogique peut détecter de manière proactive que l'apprenant n'a pas compris le fonctionnement d'une machine ou d'un composant de la machine. À partir des retours sur les données de l'apprenant, le module apprenant peut en déterminer les causes : des lacunes dans les connaissances préalables de l'apprenant, ou un défaut de concentration sur la tâche. Dans ce cas, il peut émettre un retour multimodal à l'apprenant via l'ECA. Par exemple, celui-ci va afficher sur son visage une expression agacée, moduler l'intonation de sa voix, et inviter l'apprenant à se rapprocher du composant en question afin de lui montrer à nouveau son fonctionnement. Malheureusement, l'adaptativité de la relation entre l'ITS et l'apprenant n'est pas reflétée dans la relation entre l'ITS et l'environnement d'apprentissage. Les modèles manipulés par l'ITS sont de haut niveau et souvent génériques. S'ils prennent en compte les machines et les objets dans l'environnement qui seront amenés à constituer le support de la formation, ça n'est qu'en phase de conception initiale, et jamais au delà au cours de l'activité. Il en résulte deux limitations. D'une part, l'ITS et l'environnement évoluent de manière dissociée durant l'activité d'apprentissage, l'ECA pédagogique opérant sur ses propres représentations internes sans possibilité de s'adapter aux changements dans l'environnement qui résultent de l'activité de l'apprenant et de ses interactions. De

même, la modulation de la difficulté d'une tâche de manipulation est rendue très complexe si elle n'a pas été prévue dès la conception, et ce même si elle est jugée appropriée par l'ITS durant l'activité. D'autre part, la conception de l'ITS spécifique pour un environnement donné introduit un couplage entre ces deux composants, la modification de l'environnement imposant un retour à la phase de conception de l'ITS.

Les ECA pédagogiques pilotés par un ITS sont conçus principalement pour gérer de manière efficace la relation avec l'apprenant, sur le plan dialogique, non-verbal ou émotionnel. Cependant, ils ne sont pas ancrés dans l'environnement comme le sont les agents plus simples dont le comportement émerge des interactions avec ce dernier et les objets qui le composent. Dans la section suivante, nous proposons une extension du concept de *smart object* permettant à un agent pédagogique de construire un raisonnement de manière adaptative, à partir d'informations extraites de l'environnement informé.

3 DES SMART-OBJECTS PÉDAGOGIQUES

La scénarisation usuelle d'une formation virtuelle vise à reproduire le protocole ou l'activité professionnelle de l'apprenant, avec pour dessein de pouvoir suivre de manière nominale un chemin tracé par le concepteur. Cependant, l'acquisition d'une véritable expertise requiert, en sus, la mobilisation de connaissances et de compétences pour gérer les perturbations, dégradations et contingences qui peuvent survenir sur le dispositif utilisé. Le scénario doit donc pouvoir aider l'apprenant à construire des schèmes en promouvant une démarche active de sa part, selon les principes de l'apprentissage expérientiel [18]. Ces schèmes sont ainsi construits de manière personnalisée, au gré des opportunités de confrontations de l'apprenant avec différentes situations. Il ont ensuite vocation à être remobilisés dans l'activité nominale, la résolution des problèmes ainsi que les stratégies d'optimisation qui constituent l'expertise. L'adaptabilité dans l'apprentissage expérientiel se définit par le fait de pouvoir personnaliser, entre autre, la difficulté et la granularité des tâches et des exercices qui constituent le contenu de la formation. Cette adaptabilité concerne les interactions de l'utilisateur avec l'environnement d'apprentissage, que ce soit en début de scénario ou de manière dynamique en fonction de sa progression. Logiquement, les compagnons ou tuteurs pédagogiques devraient être capable de s'adapter également aux différents niveaux de complexité de la formation. Or, nous avons montré dans les paragraphes précédents que l'architecture d'un ITS ne permet pas à l'ECA de répondre à cette problématique de manière satisfaisante. Par contre, nous constatons que les agents autonomes non-pédagogiques, ceux qui n'ont pas d'autre rôle que de peupler l'environnement virtuel (cf. introduction), font preuve d'une bien meilleure adaptabilité dans un environnement dynamique. La raison tient dans leurs moteurs comportementaux, plus simples (machines à états finis, *behaviour trees*), mais qui tirent avantage de l'environnement informé et des *smart objects* dans lesquels les connaissances sont distribuées. Dans le travail de recherche rapporté dans cet article, nous faisons donc l'hypothèse qu'il est possible d'étendre le concept des *smart objects* au périmètre de la pédagogie.

Dans notre proposition, chaque composant d'une machine est représenté par un *smart object* pédagogique, lequel intègre à sa représentation graphique et aux possibilités d'interaction préexistantes au sein du *smart object* dans sa forme originale, un ensemble de métadonnées pédagogiques. Ces dernières sont de natures diverses. Elles englobent des instructions détaillées sur la didactique appropriée, aidant l'ITS à mettre l'accent sur un point précis de l'apprentissage de l'élément en question voire même proposer différentes manières de présenter ou d'expliquer son fonctionnement. Ces instructions possèdent plusieurs niveaux de granularité, allant d'une simple monstration de la pièce et de son fonctionnement jusqu'à la manipulation du modèle 3D afin de découvrir en détail toutes ses subtilités. Elle détaillent également l'organisation hiérarchique de la machine en sous-composants (eux-même des *smart objects* pédagogiques, ainsi que le mécanisme opérationnel de chacun d'eux. Elle listent les défaillances potentielles qui peuvent l'affecter et décrivent les méthodes de dépannage correspondantes. La distribution des informations dans l'environnement introduit une modularité inédite dans la manière dont l'ITS s'intègre dans l'environnement d'apprentissage. De fait, les modèles pédagogiques et experts perdent leur caractère monolithique et rigide au profit d'une nouvelle organisation plus souple et adaptative aux changements dynamiques de contexte. En corollaire, cette nouvelle organisation ajoute la possibilité nouvelle de substituer un élément par un autre afin de jouer sur la granularité de la complexité de l'environnement, et ajuster par conséquent la difficulté de la formation.

En outre, les *smart objects* pédagogiques sont également garants de l'historique de la relation avec l'apprenant. Chaque objet possède et maintient une trace des interactions passées, incluant la durée d'engagement, la fréquence et la précision des interactions, les erreurs commises, les remédiations ou conseils déjà prodigués, etc. En somme, chaque élément de l'environnement, machine ou sous-composant de la machine (une poignée, un bouton, un moteur, un cadran analogique ou numérique, un panneau de contrôle, etc.) est donc en mesure d'informer l'ITS de sa relation passée avec l'apprenant. Ces données, communiquées à l'ITS, permettent à ce dernier d'adapter sa stratégie pédagogique de manière fluide, sans pour autant nécessiter le recourt à des modules autres que ceux qui fonctionnent déjà très bien dans l'ITS classique. La figure 2 illustre bien le fait que les modules de l'ITS sont conservés à l'identique, mais les modèles sur lequel il opère sont remplacés par des modèles distribués dans les objets, ce qui constitue le cœur de la contribution de ce travail de recherche.

De manière pratique, au sein de ce dispositif, l'ITS est initialement configuré sans donnée préexistante dans ses différents modèles. Ceci lui confère la flexibilité nécessaire pour obtenir les modèles au lancement de l'activité, voire en cours d'activité si l'environnement change. Pour cela, il peut initier des requêtes de collecte d'information auprès des machines et des composants intervenant dans la formation. Les données collectées sont ensuite intégrées dans l'ITS et constituent les modèles sur lesquels l'ITS peut opérer et prendre les décisions qui permettent le contrôle de l'activité d'apprentissage, rôle pour lequel il est prévu initialement.

La synergie entre les *smart objects* pédagogiques, l'architecture globale de l'ITS, le reste de l'environnement et l'ECA facilite une

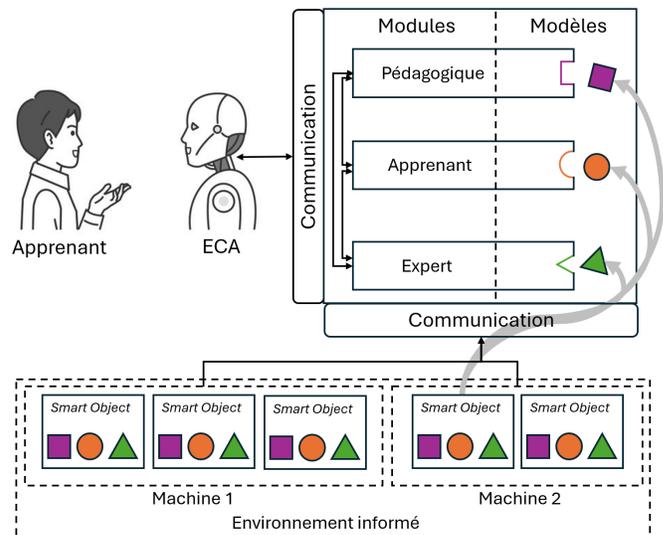


Figure 2: La proposition des *smart objects* pédagogiques permet de distribuer dans l'environnement informé les modèles pédagogiques, apprenant et expert. Le fonctionnement des modules de l'ITS reste inchangé, mais les modèles sur lesquels ces derniers se basent sont désormais extraits de manière contextuelle à partir des objets avec lesquels l'apprenant interagit autour de lui.

adaptation dynamique aux événements sans nécessiter de modifications du code ou l'intervention directe d'un opérateur humain. Cette configuration offre l'avantage de transformer l'ECA en un instructeur polyvalent, capable d'enseigner et de manipuler diverses machines dès lors que l'architecture de développement est respectée. Cela permet une adhérence au protocole d'enseignement spécifique de chaque machine, qu'il s'agisse de démonstrations pratiques (Figure 3) ou de la formulation de diagnostics pour des pannes spécifiques (Figure 4), assurant ainsi une méthodologie d'enseignement cohérente, précise et modulable. En effet, il est par exemple possible de remplacer une pièce par une autre qui n'a pas la même manière de fonctionner mais avec la même finalité. Avec ce principe de modularité, on peut imaginer remplacer un système par un autre et ainsi jouer dynamiquement avec le niveau de détail ou de profondeur de l'enseignement. Enfin, chaque machine étant dotée de données spécifiques qu'elle relaye à l'ITS selon les besoins, cette architecture facilite la capacité de l'ECA à instruire sur le fonctionnement de diverses machines auprès de multiples apprenants au sein d'un environnement de formation multijoueur.

4 CONCLUSION

Les agents autonomes dans les environnements virtuels pour les formations techniques ou l'héritage culturel sont de deux types. D'un côté, des agents simples, uniquement destinés à peupler ou animer l'environnement, mais exhibant des capacités d'adaptation uniques dans un environnement dynamique évoluant sans cesse au gré des actions de l'apprenant. De l'autre côté, des agents conversationnels pédagogiques capables d'interagir naturellement avec



Figure 3: Le compagnon numérique, ou agent pédagogique, présente un chariot de colis en identifiant ses composants clés, en montrant son fonctionnement et en disséminant des conseils relatifs à sa manipulation.

l'apprenant humain, mais offrant une expérience limitée face au dynamisme de l'environnement. Nous avons proposé une extension du concept de *smart object*, initialement centré sur la modularité et l'adaptativité des comportements de navigation et d'interaction au périmètre de la relation pédagogique avec l'apprenant. Nous avons développé un agent pédagogique capable de construire un raisonnement à partir d'informations extraites de l'environnement, au moyen d'un ITS enrichi par du contenu pédagogique disséminé dans les objets participant à la formation. Nos apports consistent en une architecture ITS plus souple, qui répond à la problématique générale de l'assistance ou du compagnonnage dans un environnement immersif de formation en proposant plus d'adaptativité dans un contexte dynamique, mais également plus de modularité en permettant la substitution transparente des objets, composants ou machines.

Dans les travaux futurs, nous envisageons d'inclure les aspects émotionnels. Le compagnonnage de l'apprenant s'effectue au travers de la monstration et des facultés d'expression verbale et non verbale de l'ECA. Nous pensons que la mise en place d'une boucle émotionnelle permettant à l'ECA de détecter l'état émotionnel de l'apprenant et de s'y adapter en retour favorisera un meilleur engagement de l'apprenant, et donc de meilleurs résultats d'apprentissage.

REMERCIEMENTS

Ces travaux de recherche sont financés dans le cadre du projet Campus des Métiers et des Qualifications d'Excellence Industrie du Futur (CMQE IF), porté par le lycée La Découverte de Decazeville ;



Figure 4: Le compagnon numérique démontre le diagnostic de détection de panne ainsi que la procédure de réparation du moteur défectueux.

lauréat de l'appel à projets du Programme d'Investissement d'Avenir (PIA 3) "Territoires d'innovation pédagogique – Campus des métiers et des qualifications". Ces travaux de recherche sont cofinancés par la société ALFI Technologie.

REFERENCES

- [1] Tolga Abaci, Jan Ciger, and Daniel Thalmann. 2005. Planning with smart objects. In *International Conferences in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision*.
- [2] Alla Anohina. 2007. Advances in intelligent tutoring systems: problem-solving modes and model of hints. *International Journal of Computers Communications & Control* 2, 1 (2007), 48–55.
- [3] Marc Bru. 2001. Etudier les pratiques enseignantes: les raisons d'un choix. Présentation. *Les dossiers des sciences de l'éducation* 5, 1 (2001), 5–7.
- [4] Justine Cassell, Tim Bickmore, Lee Campbell, Hannes Vilhjalmsson, and Hao Yan. 2000. Human conversation as a system framework: Designing embodied conversational agents. *Embodied conversational agents* (2000), 29–63.
- [5] Martin Černý, Tomáš Plch, Matěj Marko, Jakub Gemrot, Petr Ondráček, and Cyril Brom. 2016. Using behavior objects to manage complexity in virtual worlds. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games* 9, 2 (2016), 166–180.
- [6] Mathieu Chollet. 2015. *Agents Conversationnels Animés pour l'entraînement social: modèle computationnel de l'expression d'attitudes sociales par des séquences de signaux non-verbaux*. Ph.D. Dissertation. Telecom Paristech.
- [7] Jean-Benoît Culié, Stéphane Sanchez, and David Panzoli. 2023. Effortlessly Populating Immersive Training Simulations with Background Characters. In *Extended Reality - International Conference, XR Salento 2023, Lecce, Italy, September 6-9, 2023, Proceedings, Part I (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 14218)*, Lucio Tommaso De Paolis, Pasquale Arpaia, and Marco Sacco (Eds.). Springer, 172–183. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43401-3_11
- [8] Stéphane Donikian. 2004. Modélisation, contrôle et animation d'agents virtuels autonomes évoluant dans des environnements informés et structurés. *Hdr, IRISA* (2004).

- [9] Lydie Edward, Domitile Lourdeaux, Jean-Paul A Barthès, Dominique Lenne, and Jean-Marie Burkhardt. 2008. Modelling autonomous virtual agent behaviours in a virtual environment for risk. *Int. J. Virtual Real.* 7, 3 (2008), 13–22.
- [10] Winnykamen Fayda. 1990. Apprendre en imitant. *PUF, Collection Psychologie d'aujourd'hui, Paris* (1990).
- [11] Pascale Fung, Anik Dey, Farhad Bin Siddique, Ruixi Lin, Yang Yang, Yan Wan, and Ho Yin Ricky Chan. 2016. Zara the supergirl: An empathetic personality recognition system. In *Proceedings of the 2016 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Demonstrations*. 87–91.
- [12] Michel Galaup. 2013. *De la conception à l'usage d'un jeu sérieux de génie mécanique : phénomènes de transposition didactique dans l'enseignement secondaire et universitaire : le cas de Mecagenius®*. Ph. D. Dissertation. <http://www.theses.fr/2013TOU20014> Thèse de doctorat dirigée par Amade-Escot, Chantal et Viallet, Fabienne Sciences de l'éducation Toulouse 2 2013.
- [13] Vito Getuli, Pietro Capone, Alessandro Bruttini, and Tommaso Sorbi. 2021. A smart objects library for BIM-based construction site and emergency management to support mobile VR safety training experiences. *Construction Innovation* (2021).
- [14] James J Gibson. 1979. The theory of affordances. The ecological approach to visual perception. *The people, place and, space reader* (1979), 56–60.
- [15] W Lewis Johnson, Jeff W Rickel, James C Lester, et al. 2000. Animated pedagogical agents: Face-to-face interaction in interactive learning environments. *International Journal of Artificial intelligence in education* 11, 1 (2000), 47–78.
- [16] Marcelo Kallmann and Daniel Thalmann. 1999. Direct 3d interaction with smart objects. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*. 124–130.
- [17] Marcelo Kallmann and Daniel Thalmann. 1999. Modeling objects for interaction tasks. In *Computer Animation and Simulation '98: Proceedings of the Eurographics Workshop in Lisbon, Portugal, August 31–September 1, 1998*. Springer, 73–86.
- [18] D.A. Kolb. 1984. *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice-Hall. <https://books.google.fr/books?id=zXruAAAAMAAJ>
- [19] Catherine Pons Lelardeux, David Panzoli, Pierre Lagarrigue, and Jean-Pierre Jessel. 2016. Making decisions in a virtual operating room. In *2016 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*. IEEE, 136–142.
- [20] Michael Mateas and Andrew Stern. 2002. Towards integrating plot and character for interactive drama. In *Socially intelligent agents: Creating relationships with computers and robots*. Springer, 221–228.
- [21] Jonathan Maim, Simon Haegler, Barbara Yersin, Pascal Müller, Daniel Thalmann, and Luc Van Gool. 2007. Populating Ancient Pompeii with Crowds of Virtual Romans. In *Proceedings of the 8th International Symposium on Virtual Reality, Archeology and Cultural Heritage - VAST* (Brighton).
- [22] M Montmollin. 1998. Savoir travailler. Le point de vue de l'ergonome. J.-M. Barbier. *Savoirs théoriques et savoirs d'action* (1998), 189–199.
- [23] Elham Mousavinasab, Nahid Zarifsanaiy, Sharareh R. Niakan Kalhori, Mahnaz Rakhshan, Leila Keikha, and Marjan Ghazi Saeedi. 2021. Intelligent tutoring systems: a systematic review of characteristics, applications, and evaluation methods. *Interactive Learning Environments* 29, 1 (2021), 142–163.
- [24] David Panzoli. 2021. *L'interaction pédagogique dans les jeux d'apprentissage immersifs*. Ph. D. Dissertation. Université Toulouse III-Paul Sabatier.
- [25] David Panzoli, Christopher Peters, Ian Dunwell, Stéphane Sanchez, Panagiotis Petridis, Aristidis Protopsaltis, Vincent Scesa, and Sara De Freitas. 2010. A level of interaction framework for exploratory learning with characters in virtual environments. *Intelligent Computer Graphics 2010* (2010), 123–143.
- [26] Christopher Peters, Simon Dobbyn, Brian Mac Namee, and Carol O'Sullivan. 2003. Smart objects for attentive agents. In *proceeding of the 11th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision '2003 (WSCG)*.
- [27] Simon Provoost, Ho Ming Lau, Jeroen Ruwaard, and Heleen Riper. 2017. Embodied conversational agents in clinical psychology: a scoping review. *Journal of medical Internet research* 19, 5 (2017), e151.
- [28] Jeff Rickel and W Lewis Johnson. 1997. Steve: An animated pedagogical agent for procedural training in virtual environments. *Intelligent virtual agents, Proceedings of Animated Interface Agents: Making Them Intelligent* (1997), 71–76.
- [29] Maxime Sanselone, Stéphane Sanchez, Cédric Sanza, David Panzoli, and Yves Duthen. 2014. Control of non player characters in a medical learning game with Monte Carlo tree search. In *Proceedings of the Companion Publication of the 2014 Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation*. 51–52.
- [30] Wei Shao and Demetri Terzopoulos. 2007. Autonomous pedestrians. *Graph. Models* 69, 5-6 (2007), 246–274.