

# Adaptation sur la progression de l'apprentissage dans les jeux sérieux

Yoann Bourse  
sous la direction de Jean-Marc Labat

IREC 2012

## Résumé

Nous proposons un état de l'art des différentes techniques d'adaptation dans les jeux sérieux. Nous verrons dans un premier temps comment cette adaptation sert la transmission des connaissances, puis les différents mécanismes utilisés dans la très dynamique industrie des jeux vidéo. Finalement, nous essayerons de nous en inspirer pour dresser un paysage du domaine de recherche que constitue l'adaptation dans les jeux sérieux en dégagant les principaux courants d'idées structurant le domaine. Nous offrirons en guise de conclusion nos vues sur les solutions à apporter et les problématiques ouvertes dans le domaine.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
1.1	Apprentissage efficace . . . . .	2
1.2	Adaptation de la difficulté . . . . .	3
1.3	Adaptation dans les jeux sérieux . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Contexte</b>	<b>4</b>
2.1	Adaptation pour les jeux vidéo . . . . .	4
2.1.1	Paramètres . . . . .	4
2.1.2	Périmètre . . . . .	5
2.1.3	Modèle . . . . .	5
2.2	Adaptation pour les jeux sérieux . . . . .	6
2.2.1	Environnement . . . . .	7
2.2.2	Modèle d'apprenant, espace des connaissances . . . . .	7
2.2.3	Adaptation émotionnelle . . . . .	8
2.2.4	Agent pédagogique . . . . .	8
2.2.5	Ordonnement de tâches . . . . .	8
2.2.6	Construction d'une narration . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Ouverture</b>	<b>9</b>

# 1 Introduction

La transmission des connaissances et savoir-faire est une problématique riche à la fois moteur du développement technologique de l'humanité et grandement complexifiée par ce dernier. Il est donc naturel de chercher à l'optimiser pour augmenter son efficacité et le nombre de personnes en bénéficiant. Toutefois, cela soulève de nombreuses difficultés, en particulier à cause de la taille et la diversité de la population des apprenants.

En parallèle, les évolutions technologiques ont apporté de nouveaux supports aux atouts variés : leur caractère multimédia renforce l'engagement et ouvre la voie à de nouvelles formes de communication, tandis que leur caractère programmable leur offre de grandes capacités d'adaptation. Elles se présentent donc comme un vecteur prometteur pour l'apprentissage, qui pourrait prendre en compte les spécificités de chaque apprenant pour lui proposer une expérience pédagogique personnalisée.

C'est le principe moteur des Environnements Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH) qui visent à mettre à profit les nouvelles technologies pour favoriser l'apprentissage. Parmi les ressources numériques mises en oeuvre, nous nous intéresserons à une tendance consistant à utiliser les jeux vidéo, prisés pour l'immersion, l'engagement, la perception de la progression et la motivation qu'ils produisent, pour l'apprentissage [16]. Il s'agit alors d'utiliser ces jeux sérieux pour permettre une adaptation individuelle de la tâche d'apprentissage au niveau de l'apprenant.

## 1.1 Apprentissage efficace

En effet, l'adaptation est un moyen d'augmenter grandement l'efficacité de la tâche d'apprentissage en renforçant la motivation et l'intérêt de l'apprenant.

D'après les hypothèses formulées par Locke [26], de nombreuses études mettent en évidence une corrélation entre l'efficacité de l'apprentissage et l'intérêt de l'apprenant [25], comme celles menées par le groupe de Anderson sur la mémorisation de phrases [1] ou celles de Lepper visant à ajouter des éléments stimulant la motivation au cours d'une tâche d'apprentissage [25].

La motivation apparaît ainsi comme un facteur déterminant au cours de l'apprentissage, qu'il s'agit de traiter avec précautions. En effet, l'utilisation de récompenses est controversée car elles risquent de monopoliser l'attention de l'apprenant et de l'éloigner de la tâche d'apprentissage à proprement parler [14, 19]. C'est donc la motivation intrinsèque qu'il s'agit de stimuler.

Pour ce faire, certaines études ont montré l'intérêt de donner à l'apprenant d'avantage de libertés de choix et de contrôle [19] aussi bien que d'avantage d'autonomie [18] afin de stimuler l'assiduité ou la fixation d'objectifs. Leper note aussi comme facteurs déterminants le défi et la fantaisie [25]. Mais cette même étude souligne la difficulté d'une telle stimulation qui peut être même parfois contre-productive (défis trop durs...).

La solution est alors d'offrir une expérience d'apprentissage adaptée au caractère de chaque apprenant ainsi que son état d'esprit actuel. En choisissant certains aspects motivationnels à développer, un contenu et une difficulté propice, cette adaptation permet à l'apprentissage de convenir au mieux aux besoins émotionnels et pédagogiques de l'apprenant afin d'optimiser la stimulation de la motivation et donc finalement l'apprentissage [29]. Ces résultats sont notamment illustrés par le travail du groupe de Ross [34].

## 1.2 Adaptation de la difficulté

Cette adaptation à vocation stimulante se retrouve également dans le domaine des jeux vidéo. Leur valeur commerciale est en effet directement liée à leur qualité de divertissement. Celle-ci repose sur un concept appelé "flow" bien connu des game designers et longuement étudié par des psychologues comme Csikszentmihalyi [21, 13]. Il s'agit de garder l'utilisateur focalisé dans l'expérience de jeu pour que celle-ci soit agréable. La notion au coeur de ce concept est donc l'immersion.

Pour garder l'utilisateur immergé dans ce "flow", l'essentiel est de proposer un niveau de difficulté adapté. S'il ne veut pas être ennuyeux, le jeu doit poser un défi. Mais si ce défi est trop difficile, la frustration et le découragement pousseront l'utilisateur hors du "flow". Il s'agit donc de proposer à l'utilisateur une expérience à la difficulté parfaitement adaptée à ses performances pour maintenir son intérêt [38, 23]. Cette problématique est si importante que l'utilisateur préférera un adversaire humain à une intelligence artificielle aux performances non adaptées [36]. Ainsi diverses études montrent que l'adaptation permet de mieux correspondre aux besoins de l'utilisateur et donc d'augmenter sa satisfaction [2].

Pour répondre à ce besoin d'adaptation, la solution canonique est de proposer différents niveaux de difficultés prédéfinis. Cependant, cette solution ne propose qu'une adaptation très grossière et peu précise (généralement trois ou quatre niveaux) et reposant sur un choix arbitraire du joueur. De plus, cette approche ignore totalement l'évolution du joueur au cours du temps.

Ces choix statiques a priori relèvent de ce que nous qualifierons de personnalisation. Même s'ils peuvent être automatisés, ils ne déboucheront que sur des paramètres fixes durant le déroulement de la partie, ou au mieux du niveau. Pour un résultat idéal, l'adaptation à proprement parler doit être dynamique et prendre en compte la progression du joueur en temps réel, son état d'esprit et ses émotions à l'instant présent, en s'appuyant sur des boucles de retour.

C'est donc naturellement que l'industrie a cherché à développer via l'intelligence artificielle des moyens d'adaptation automatisés, dynamiques et à granularité assez fine. Ces mécanismes devront non seulement répondre à la variété de niveaux de performances des joueurs, mais également s'adapter à leur progression et à leur personnalité. Cet ambitieux objectif a donc donné naissance à une foule de travaux qui cherchent à produire une adaptation aussi précise que possible.

Le domaine des jeux vidéo rend cet objectif réalisable dans la mesure où le jeu peut mesurer une multitude d'informations à propos du joueur, qui serviront d'entrées aux mécanismes d'adaptation, et dispose de contrôle sur de nombreux paramètres, qui en seront les sorties. De plus, le fonctionnement en temps réel permet de prendre en compte un retour permanent du joueur et ainsi d'affiner autant que possible l'adaptation pour augmenter sa précision et son efficacité. Ce domaine présente donc de nombreux atouts l'établissant comme un canvas parfait pour le développement de mécanismes d'adaptation.

## 1.3 Adaptation dans les jeux sérieux

C'est à la lumière de ces découvertes que les chercheurs ont envisagé d'utiliser les jeux sérieux afin de proposer à l'apprenant une expérience sur mesure répondant parfaitement à ses spécificités pour renforcer son engagement et donc l'efficacité de l'apprentissage.

L'utilisation de jeux sérieux est en effet controversée. Si leurs effets sur la motivation ont été montrés [24], leur potentiel pédagogique reste discutable en l'absence de direction d'un professeur [33]. Le groupe de Conati avance comme explication le manque d'une adaptation suffisante du programme à l'apprenant qui supplanterait la tutelle du professeur en proposant un suivi personnalisé [11]. Il faut prendre en compte que les apprenants ont différents besoins et styles d'apprentissage qu'il est difficile de définir [9].

D'autre part, le groupe soulève également une autre problématique des jeux sérieux : la maîtrise du jeu n'équivaut pas à la maîtrise des connaissances que l'on cherche à transmettre. Il y a donc deux niveaux d'adaptation nécessaires : sur la difficulté du jeu à proprement parler et sur la progression dans l'apprentissage. Les jeux sérieux reposent sur la connexion entre les éléments de jeu et la connaissance sous-jacente. Pour les établir, la maîtrise du support, le jeu, est une tâche en elle-même qu'il ne faut pas négliger.

Les techniques d'adaptation dans les jeux vidéo ludique se transposent bien évidemment aux jeux sérieux, mais cela ne suffit pas à répondre à notre problématique. La présence de la tâche d'apprentissage complexifie grandement l'adaptation, et les solutions répondant à ce problème à deux niveaux en prenant en compte la spécificité de la tâche pédagogique sont encore rares et relativement élémentaires. Transposer efficacement les mécanismes d'adaptation complexes utilisés dans le cadre ludique à cette problématique est donc encore une question ouverte.

## 2 Contexte

De nombreux mécanismes d'adaptation existent d'ores et déjà, prenant en entrée les performances des joueurs et mettant en oeuvre des algorithmes d'intelligence artificielle pour proposer une expérience sur mesure afin de convenir au mieux au joueur.

### 2.1 Adaptation pour les jeux vidéo

L'importance économique du domaine des jeux vidéo ludiques a dynamisé la recherche et permis une multitude de travaux sur l'adaptation de la difficulté, qui sert de base pour l'adaptation dans les jeux sérieux. Les différentes techniques répondent à des problématiques bien spécifiques et sont objectivement difficilement comparables en raison de leur variété. Nous pouvons toutefois en dresser un paysage [20].

#### 2.1.1 Paramètres

Les techniques d'adaptation s'appuient sur des données d'entrée pour prendre leurs décisions. La plupart d'entre elles sont des métriques cherchant à décrire l'utilisateur, aussi bien au niveau de ses préférences que de ses performances ou de son état émotionnel. On parle de profil utilisateur. Cependant, elles peuvent aussi s'appuyer sur des paramètres du système.

Les profils utilisateur sont dressés à partir des informations accessibles au jeu. Elles peuvent être fournies par l'utilisateur, comme la configuration du jeu ou d'autres informations plus personnelles (age, état civil... [30]). Mais les plus intéressantes sont souvent mesurées de façon transparente par le jeu, à commencer par les performances via diverses statistiques (taux de succès, nombre de victoires, points de vie, points d'expérience) [3, 21] ou le temps

de réaction et la vitesse de jeu, souvent considérés comme caractéristiques de l'attention [43]. Une trace à plus ou moins long terme est souvent utilisée. Des mesures plus spécifiques peuvent aussi être effectuées, comme le nombre d'objets dont dispose le joueur [21] ou encore la localisation pour certains types de jeux [30].

Les entrées se font également sous la forme de surveillance en temps réel : les décisions effectuées par le joueur, comme par exemple le chemin choisi ou la cible d'une attaque [42], influencent parfois directement les paramètres du modèle utilisateur. Dans le cadre d'un jeu multi-joueur, ce sont les interactions qui peuvent servir de déclencheur [30]. On obtient ainsi un profil utilisateur relativement riche qui peut être utilisé pour créer une classification plus avancée, comme [30] qui estime les besoins des joueurs en stabilité, extraversion, originalité, accommodement et consolidation.

D'autre part, les paramètres internes au système peuvent également être utilisés comme entrée. Le plus souvent, il s'agit de l'historique des décisions déjà prises dans le passé qui sert alors de base pour mesurer le feedback [32].

### 2.1.2 Périmètre

Les effets de l'adaptation, c'est à dire les sorties sur lesquelles le processus décisionnel agit, peuvent être variés.

La plupart influencent les dynamiques et mécanismes du jeu en lui-même. On parle d'adaptation du contrôle. Il peut s'agir d'éléments de base du jeu comme les dégâts des armes, points de vie, etc... que ce soit dans l'environnement actuel du joueur ou dans ceux qu'il sera amené à découvrir par la suite [21]. Mais l'adaptation peut également influencer plus subtilement le jeu en modifiant le comportement des personnages non joueurs [42], leurs modèles et leurs scripts (en particulier pour le cas du Dynamic Scripting [39]). Finalement, les mécanismes même de l'adaptation peuvent être modifiés rétroactivement en ajoutant par exemple de nouvelles règles d'évolution [43].

On peut aussi rencontrer une adaptation affectant le contenu même du jeu, les données source utilisées. Cela se traduit généralement par une génération automatique de contenu narratif et scénaristique adapté, comme par exemple la création de missions [30], ou encore de feedback musical élaboré [8].

Enfin, l'adaptation de présentation modifie l'interface entre le jeu et le joueur. Il peut s'agir d'ajuster le son, les graphismes ou les animations visuelles [31]. Mais on peut également envisager la possibilité d'apparition d'aides contextuelles adaptées aux besoins des joueurs, qui pourraient devenir particulièrement pertinentes pour les jeux sérieux [11].

### 2.1.3 Modèle

Les modèles décisionnels chargé de faire le lien entre ces entrées et ces sorties pour procéder à l'adaptation à proprement parler proviennent de la recherche en Intelligence Artificielle. Ils présentent tous des particularités les rendant efficaces face à des problématique spécifiques. Ils peuvent constituer un module distinct du système de jeu où s'entremêler implicitement à toutes les composantes du programme.

Ces derniers sont souvent des règles de mise à jour des paramètres du jeu en fonction des performances du joueur codées en dur dans le code source du jeu sous forme de formules mathématiques [27]. Leur principal avantage est d'être relativement simple à

l'implémentation comme à la compréhension, même si elles peuvent se complexifier pour devenir un ensemble d'équations déterminant précisément les réponses du jeu aussi bien visuelles (animation) que sonores (création d'un son en midi) [8].

Un système à rapprocher de ceux-ci est l'intégration de règles statiques discriminant de façon déterministe entre différents cas et proposant une réaction prédéfinie en conséquence : c'est le Case Based Reasoning [4]. En effet, ces règles peuvent gouverner la mise à jour de paramètres du système (poids). Leur avantage est de pouvoir se reposer sur des connaissances précises et spécifiques du domaine. Toutefois, les résultats varient énormément selon les règles utilisées [39]. L'utilisation de modèles probabilistes peut permettre de leur apporter un peu de flexibilité, en particulier dans le cadre de la Dynamic Difficulty Adaptation (DDA) [21]. Ces règles peuvent parfois se trouver écrites sous la forme d'un automate ou d'un réseau de petri [30].

Toutefois, pour obtenir une adaptation plus flexible et à la granularité plus fine, c'est vers les algorithmes d'apprentissage qu'il faut se tourner. La présence de personnages non joueurs comme agents dans le jeu est un cadre idéal pour procéder à un apprentissage par renforcement, dans la mesure où le retour sur les actions de ces agents est immédiat (réussite ou échec, victoire ou défaite). Par exemple, trop de défaites du joueur constituera un feedback négatif incitant à baisser les performances de l'agent [3]. A noter que les adversaires du joueurs ne sont pas les seuls à pouvoir bénéficier de cette adaptation : ses alliés non joueurs et même les personnages qu'il contrôle, s'ils disposent d'autonomie, peuvent l'intégrer [42].

Les réseaux de neurones sont également populaires grâce à leur flexibilité qui peut même être d'avantage augmentée par une structure évolutive. Il s'agit de s'en servir pour apprendre la fonction donnant le niveau d'amusement ou d'intérêt du joueur en fonction des paramètres considérés. La difficulté étant ensuite de se servir de cette fonction afin de déterminer l'adaptation optimale par une descente de gradient qui dépend énormément de son pas, par exemple [43].

Les mécanismes d'apprentissage peuvent également être utilisés pour produire les règles mentionnées précédemment, notamment dans le cas des moteurs d'inférence [32]. Leur interopérabilité est alors un atout qui leur permet d'être un outil général.

La précision de ces méthodes d'apprentissage est contrebalancée par la nécessité d'une période d'entraînement, qui peut cependant se dérouler en partie sans le joueur dans des simulations.

## 2.2 Adaptation pour les jeux sérieux

Les jeux sérieux étant avant tout des jeux vidéo, les méthodes évoquées précédemment pour adapter la difficulté dans les jeux ludiques leurs sont toutes applicables. Toutefois, de nombreux nouveaux paramètres entrent en compte avec l'introduction de l'apprentissage de la tâche d'apprentissage, très différent par nature des paramètres considérés précédemment. D'autre part, le paysage des jeux sérieux est différent de l'industrie des jeux vidéo. Il s'agit donc de leur apporter une attention particulière pour adapter les techniques précédentes au domaine des jeux sérieux et de s'en servir pour optimiser l'apprentissage.

### 2.2.1 Environnement

Les jeux sérieux sont avant tout une technique d'apprentissage numériques. Il n'est pas rare d'en trouver intégrés à des EIAH, ce qui impose la compatibilité avec certains standards mais qui peut permettre l'intégration facile et l'apport de données supplémentaires venues de l'extérieur du jeu. Burgos et al. [6] présentent par exemple les possibilités d'implémentation des algorithmes d'adaptation classique pour la spécification IMS Learning Design [22]. On peut aussi greffer un module d'adaptation pédagogique maintenant un profil de l'apprenant entre les différentes parties sur un framework préexistant comme sur *je-adventure<sub>i</sub>* (jeux vidéo en point-and-click) [40] ou *Ecotoons* [7].

Dans un souci de généricité et de réutilisabilité, des framework propres à l'adaptation dans les jeux sérieux se sont formés. C'est le cas du framework ALIGN (Adaptive Learning In Games through Noninvasion) qui repose sur l'inférence de règles accompagnée d'un raffinement qui permet de générer des règles offrant un retour adapté à l'utilisateur. Il est par exemple illustré par la création du jeu ELEKTRA [32].

### 2.2.2 Modèle d'apprenant, espace des connaissances

Beaucoup de mécanismes d'adaptation reposent plus ou moins explicitement sur un modèle du joueur pour lui convenir au mieux. C'est également le cas pour les jeux sérieux, mais cette tâche est beaucoup plus complexe.

En plus de devoir estimer le niveau du joueur, dans la maîtrise du jeu à proprement parler et dans les connaissances à obtenir, certaines méthodes visent à estimer le profil du joueur à d'autres niveaux, comme les capacités cognitives, le style d'apprentissage (par exemple figuratif, sémantique et symbolique) ou de personnalité, via une batterie de tests hérités de la psychologie comme le test SOI visant à qualifier le style d'apprentissage [41]. Toutefois, ce domaine est sujet à débats, et une multitude de classifications et de tests sont présents dans la littérature, dont Torres et al. nous offrent une vision synthétique [41]. Si l'on peut donc capturer tel ou tel aspect de la personnalité de l'apprenant, il n'existe pas de mécanisme meilleur pour construire son profil complet.

D'autre part, l'estimation de la progression pédagogique de l'apprenant peut se reposer sur la théorie des espaces de connaissances [15] qui vise à structurer les notions à maîtriser par une relation de dépendance : il faut maîtriser le problème A pour espérer pouvoir maîtriser le B. Toutefois, au lieu d'avoir une réponse binaire à la question de la maîtrise d'une problématique, les jeux sérieux offrent une réponse continue et implicite : il s'agit alors d'estimer la probabilité de maîtrise du problème sachant les résultats observés, par règle Bayésienne par exemple [12]. C'est le rôle du SAE (Skill Assessment Engine) utilisé par exemple pour ELEKTRA [32]. Les réseaux bayésiens dynamiques sont utilisés par le groupe de Connati [11].

Toutefois, ces espaces de connaissances reposent également sur une division relativement arbitraire et spécifique du domaine étudié, et varient donc beaucoup entre les travaux. On peut par exemple diviser l'apprentissage d'une langue étrangère entre des domaines comme usage, forme et sens, puis en concepts beaucoup plus fins, ou se contenter d'une métrique de maîtrise de la langue sous forme de points [44]. Ces solutions sont donc bien souvent spécifiques aux applications.

### 2.2.3 Adaptation émotionnelle

L'état émotionnel de l'apprenant est également un facteur capital pour les jeux sérieux qui sont supposés renforcer la motivation. Il s'agit de conserver l'intérêt du joueur, d'éviter son ennui ou son découragement qui peuvent nuire grandement à l'apprentissage. Cependant, les réponses émotionnelles au sein d'une population sont très diverses, et les moyens de les détecter peu déterminants et ambigus.

Plusieurs modèles sont proposés, comme le decision-theoretic model [17] qui repose sur une mesure d'utilité assignée à chaque état et à son estimation par l'utilisateur (reproche, honte, joie...), ou les Dynamic Decision Network (DDN) qui en sont une évolution prenant en compte l'aléatoire et l'évolution. Si, dans l'idéal, ces mécanismes reposeraient sur des capteurs biométriques, ils doivent en pratique souvent se reposer sur les modèles d'apprenant, introduisant une source supplémentaire d'incertitude [10].

### 2.2.4 Agent pédagogique

Un artifice souvent utilisé pour l'adaptation agissant sur la présentation dans les jeux sérieux est la présence d'un personnage non joueur qui encadrera l'apprenant en s'inspirant du rôle de l'encadrant dans la tâche d'apprentissage. Ce nouvel agent anthropomorphique est idéal pour proposer un support émotionnel (empathie) mais également motivationnel. Le rapport particulier entre l'agent pédagogique et l'apprenant permet d'augmenter le retour meta-cognitif, en poussant à la réflexion ou augmentant la confiance en soi par exemple. Il peut aussi se révéler stimulant en proposant des défis. On peut citer le personnage de Galilée dans ELEKTRA [32] ou le magicien dans le "Prime Climb Game" [11].

L'introduction d'un tel agent soulève toutefois de nouveaux défis : il doit être appréciable et surtout ne pas se montrer intrusif en offrant des conseils non nécessaires par exemple. Les difficultés du groupe de Conati dont les efforts d'adaptation diminuent la performance de l'agent en sont la preuve [11]. Une solution pourrait-être de proposer un agent capable de raisonner sur ses propres effets prenant en compte les affects des apprenants.

### 2.2.5 Ordonnancement de tâches

Le succès ludique de jeux de type "bac à sable", dont le principe consiste à laisser au joueur une grande liberté d'action afin de lui permettre de vivre sa propre expérience personnelle dans le cadre du jeu, a également influencé les jeux sérieux. Cette construction d'une aventure spécifique au joueur s'inscrit d'ailleurs comme début de réponse à notre besoin d'adaptation.

Dans cette optique, il n'est donc pas rare que l'adaptation du jeu sérieux repose sur la génération et l'ordonnancement des tâches pédagogiques à effectuer par l'apprenant. Une conception modulaire d'un tel modèle offre l'avantage de permettre la division des travaux, entre les experts de la pédagogie qui dresseront d'une part le profil des tâches pédagogiques, tandis que les concepteurs de jeux d'autre part les implémenteront.

Bellotti et al. [5] proposent par exemple un mécanisme d'ordonnancement de tâches conçues par des experts reposant sur la minimisation d'une fonction de coût reposant sur la durée, la pertinence, le type, la difficulté... des tâches afin d'aboutir à une séquence de tâches à exécuter de taille fixe. Concevoir la fonction de coût peut être relativement difficile, mais



sa flexibilité permet par exemple de prendre en compte des courbes de niveaux. Son calcul peut être relativement coûteux, mais il est possible d'utiliser des heuristiques et de raffiner les résultats par un algorithme d'apprentissage, génétique par exemple [5].

### 2.2.6 Construction d'une narration

Certains travaux se penchent sur les mécanismes narratifs pour renforcer la motivation du joueur. Imiter au mieux une forme de communication familière facilite l'insertion du joueur et l'interaction, en particulier pour l'apprentissage basé sur la découverte guidée.

C'est le cas par exemple de Crystal Island [35] qui vise à augmenter la motivation et l'intérêt du joueur à travers un scénario travaillé et la présence d'une incertitude tant au niveau de l'ambiance que des objectifs (qui entremêlent objectifs du jeu et pédagogiques) pour maintenir un défi permanent. Ce travail sur la qualité scénaristique du jeu s'est traduit par une augmentation de la motivation, de l'intérêt et de l'enthousiasme chez les apprenants.

Toutefois, la génération automatique de narrations est un problème épineux. Thespian intègre par exemple un mécanisme centré sur les Partially Observable Markov Decision Process (POMDP) reposant sur la présence, pour chaque agent, d'états, de buts et d'actions. Les agents ont des croyances sur les valeurs des états, et sur les effets des actions, ainsi que des préférences générales de choix [37]. Le résultat est satisfaisant mais nécessite encore de nombreux raffinements. De plus, il ne prend en compte aucune dimension pédagogique.

La génération de scénario peut toutefois se contenter de se placer à un niveau supérieur, comme dans le projet ISAT [28] où un agent intelligent personnalise les séquences d'éléments scénaristiques en fonction des performances de l'apprenant.

## 3 Ouverture

L'adaptation dans les jeux sérieux est l'aboutissement de nombreuses réflexions sur l'optimisation de la transmission des savoirs. Toutefois, c'est un domaine relativement récent, et les difficultés à relever sont massives. Le développement de l'adaptation de la difficulté dans les jeux vidéo classiques pose une base solide mais qui ne suffit pas à prendre en compte la complexité de la tâche d'apprentissage. Malgré des concepts sous-jacents communs, le paysage actuel est divisé en une multitude de solutions spécifiques à chaque application, et apporter une réponse unifiée semble une gageure. Ainsi, si de nombreuses améliorations au niveau de la motivation des apprenants sont constatés dans les travaux actuels, l'adaptation dans les jeux sérieux n'est pas encore assez performante pour montrer une amélioration pédagogique significative [11]. Nous proposons comme solution le développement d'algorithmes d'adaptation sophistiqués à deux niveaux : l'adaptation propre au jeu et l'adaptation sur la progression pédagogique.

Cela pourrait se traduire par un modèle d'apprenant riche comprenant à la fois les caractéristiques des modèles utilisés dans les jeux vidéo classiques d'une part, et des informations relatives à sa progression pédagogique d'autre part. Il serait intéressant d'étudier les effets d'une nette séparation entre les deux, dans la mesure où l'on ne s'adapte pas de la même façon une difficulté de gameplay qu'une tâche d'apprentissage. En particulier, on pourrait étudier les effets de deux algorithmes d'adaptation découplés lancés en parallèle sur ces deux aspects. D'autre part, il semble intéressant de découpler également les spécifications des

features sur lesquelles s'effectue l'adaptation entre acquis ludiques et connaissances évaluées (en particulier les pré-requis nécessaires pour passer au niveau de difficulté supérieure). Il s'agit donc d'étudier une séparation des deux aspects fondamentaux des jeux sérieux qui pourrait apporter une meilleure prise en compte des impératifs de la tâche d'apprentissage spécifique aux jeux sérieux.

Les mécanismes fondés sur des algorithmes d'apprentissage semblent proposer une granularité beaucoup plus fine. Leur phase d'apprentissage étant un de leurs inconvénients majeurs, on pourrait envisager de la faire coïncider avec la prise en main du jeu sérieux par l'apprenant, permettant une découverte mutuelle des deux partis en jeu. De plus, la position particulière de certains jeux sérieux dans des EIAH permet d'éviter ce début "à froid" en bénéficiant d'un a priori sur l'apprenant. Ces améliorations de la phase d'apprentissage de l'algorithme pourraient peut-être contribuer à une meilleure réussite des adaptations par apprentissage.

Une piste à développer également est la prise en compte par l'algorithme d'adaptation de ses propres effets. Il s'agit d'étudier les différentes possibilités de considération de ces retours, et leurs effets sur l'adaptation à proprement parler.

Finalement, il semble raisonnable de tendre vers une modularité suffisante pour que les règles d'adaptation pédagogiques soient rédigées par des experts du domaine, conformément à la volonté transmise dans le projet ALIGN.

## Références

- [1] R. Anderson, L. Shirey, P. Wilson, and L. Fielding. Interestingness of children’s reading material. *Aptitude, learning, and instruction*, 3 :287–299, 1987.
- [2] G. Andrade, G. Ramalho, A. Gomes, and V. Corruble. Dynamic game balancing : An evaluation of user satisfaction. *AIIDE*, pages 3–8, 2006.
- [3] G. Andrade, G. Ramalho, H. Santana, and V. Corruble. Extending reinforcement learning to provide dynamic game balancing. In *Proceedings of the Workshop on Reasoning, Representation, and Learning in Computer Games, 19th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, pages 7–12, 2005.
- [4] S. Bakkes, P. Spronck, and H. Jaap van den Herik. Opponent modelling for case-based adaptive game ai. *Entertainment Computing*, 1(1) :27–37, 2009.
- [5] F. Bellotti, R. Berta, A. De Gloria, and L. Primavera. Adaptive experience engine for serious games. *Computational Intelligence and AI in Games, IEEE Transactions on*, 1(4) :264–280, 2009.
- [6] D. Burgos, C. Tattersall, and R. Koper. Representing adaptive elearning strategies in ims learning design. 2006.
- [7] R. Carro, A. Breda, G. Castillo, and A. Bajuelos. A methodology for developing adaptive educational-game environments. In *Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems*, pages 90–99. Springer, 2006.
- [8] Y. Chen, H. Huang, W. Xu, R. Wallis, H. Sundaram, T. Rikakis, T. Ingalls, L. Olson, and J. He. The design of a real-time, multimodal biofeedback system for stroke patient rehabilitation. In *Proceedings of the 14th annual ACM international conference on Multimedia*, pages 763–772. ACM, 2006.
- [9] F. Coffield, D. Moseley, E. Hall, and K. Ecclestone. Learning styles and pedagogy. *Post-16 learning. A systematic and critical review. Learning and Skills. Research Centre*, 2004.
- [10] C. Conati. Probabilistic assessment of user’s emotions in educational games. *Applied Artificial Intelligence*, 16(7-8) :555–575, 2002.
- [11] C. Conati and M. Manske. Evaluating adaptive feedback in an educational computer game. In *Intelligent Virtual Agents*, pages 146–158. Springer, 2009.
- [12] O. CONLAN and N. PEIRCE. Microadaptivity within complex learning situations-a personalized approach based on competence structures and problem spaces. 2007.
- [13] M. Csikszentmihalyi. *Flow : The psychology of optimal experience*. Harper Perennial, 1991.
- [14] E. Deci, R. Koestner, and R. Ryan. A meta-analytic review of experiments examining the effects of extrinsic rewards on intrinsic motivation. *Psychological bulletin*, 125(6) :627, 1999.
- [15] J. Doignon and J. Falmagne. *Knowledge spaces*. Springer-Verlag New York, Inc., 1998.
- [16] R. Garris, R. Ahlers, and J. Driskell. Games, motivation, and learning : A research and practice model. *Simulation & gaming*, 33(4) :441–467, 2002.

- [17] S. R. I. D. A. Group, R. Howard, J. Matheson, and K. Miller. *Readings in decision analysis*. Decision Analysis Group, Stanford Research Institute, 1977.
- [18] J. Guthrie, A. Wigfield, and C. VonSecker. Effects of integrated instruction on motivation and strategy use in reading. *Journal of Educational Psychology*, 92(2) :331, 2000.
- [19] S. Hidi and J. Harackiewicz. Motivating the academically unmotivated : A critical issue for the 21st century. *Review of educational research*, 70(2) :151–179, 2000.
- [20] N. Hocine, A. Gouaich, I. Di Loreto, A. Lylia, et al. Etat de l’art des techniques d’adaptation dans les jeux ludiques et sérieux. 2011.
- [21] R. Hunicke and V. Chapman. Ai for dynamic difficulty adjustment in games. In *Challenges in Game Artificial Intelligence AAAI Workshop*, pages 91–96, 2004.
- [22] R. Koper, B. Olivier, and T. Anderson. Ims learning design information model. *IMS Global Learning Consortium*, 2003.
- [23] R. Koster. *A Theory Of Fun In Game Design. pdf*. Paraglyph press, 2005.
- [24] J. Lee, K. Luchini, B. Michael, C. Norris, and E. Soloway. More than just fun and games : Assessing the value of educational video games in the classroom. In *CHI’04 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 1375–1378. ACM, 2004.
- [25] M. Lepper and D. Cordova. A desire to be taught : Instructional consequences of intrinsic motivation. *Motivation and emotion*, 16(3) :187–208, 1992.
- [26] J. Locke. *Some Thoughts Concerning Education : By John Locke, Esq.* sold by J. and R. Tonson, 1779.
- [27] M. Ma, M. McNeill, D. Charles, S. McDonough, J. Crosbie, L. Oliver, and C. McGoldrick. Adaptive virtual reality games for rehabilitation of motor disorders. *Universal Access in Human-Computer Interaction. Ambient Interaction*, pages 681–690, 2007.
- [28] B. Magerko. Adaptation in digital games. *Computer*, 41(6) :87–89, 2008.
- [29] T. Malone and M. Lepper. Making learning fun : A taxonomy of intrinsic motivations for learning. *Aptitude, learning and instruction*, 3, 1987.
- [30] S. Natkin, C. Yan, S. Jumpertz, and B. Market. Creating multiplayer ubiquitous fames using an adaptive narration model based on a user’s model. In *Digital Games Research Association International Conference (DiGRA 2007)*, 2007.
- [31] C. Park. Intelligent interface for elderly games. *Universal Access in Human-Computer Interaction. Intelligent and Ubiquitous Interaction Environments*, pages 704–710, 2009.
- [32] N. Peirce, O. Conlan, and V. Wade. Adaptive educational games : Providing non-invasive personalised learning experiences. In *Digital Games and Intelligent Toys Based Education, 2008 Second IEEE International Conference on*, pages 28–35. IEEE, 2008.
- [33] J. Randel, B. Morris, C. Wetzels, and B. Whitehill. The effectiveness of games for educational purposes : A review of recent research. *Simulation & Gaming*, 23(3) :261, 1992.
- [34] S. Ross and P. Anand. A computer-based strategy for personalizing verbal problems in teaching mathematics. *Educational Technology Research and Development*, 35(3) :151–162, 1987.

- [35] J. Rowe, S. Mcquiggan, B. Mott, and J. Lester. Motivation in narrative-centered learning environments. In *Proc. Workshop Narrative Learn. Environ./13th AIED Conf*, pages 40–49, 2007.
- [36] J. Schaeffer. A gamut of games. *AI Magazine*, 22(3) :29, 2001.
- [37] M. Si, S. Marsella, and D. Pynadath. Thespian : Modeling socially normative behavior in a decision-theoretic framework. In *Intelligent Virtual Agents*, pages 369–382. Springer, 2006.
- [38] P. Spronck, M. Ponsen, I. Sprinkhuizen-Kuyper, and E. Postma. Adaptive game ai with dynamic scripting. *Machine Learning*, 63(3) :217–248, 2006.
- [39] P. Spronck, M. Ponsen, I. Sprinkhuizen-Kuyper, and E. Postma. Adaptive game ai with dynamic scripting. *Machine Learning*, 63(3) :217–248, 2006.
- [40] J. Torrente, P. Moreno-Ger, B. Fernández-Manjón, and Á. Del Blanco. Game-like simulations for online adaptive learning : A case study. *Learning by Playing. Game-based Education System Design and Development*, pages 162–173, 2009.
- [41] J. Torres, J. Doderó, C. Ramirez, B. Valdes, and A. Lugo. Adaptive learning scenarios based on student profile. *UA de Yucatán, Recursos Digitales para el Aprendizaje*, pages 348–349, 2009.
- [42] J. Wexler. Artificial intelligence in games : A look at the smarts behind lionhead studio’s” black and white” and where it can go and will go in the future. *University of Rochester*, 2002.
- [43] G. Yannakakis and J. Hallam. Real-time game adaptation for optimizing player satisfaction. *Computational Intelligence and AI in Games, IEEE Transactions on*, 1(2) :121–133, 2009.
- [44] D. Zapata-Rivera. Adaptive, assessment-based educational games. In *Intelligent Tutoring Systems*, pages 435–437. Springer, 2010.