

Génération de scénarios adaptés dans un jeu d'apprentissage selon une approche dirigée par les modèles

Pierre Laforcade and Youness Laghouaouta

Laboratoire d'Informatique de Le Mans Université (LIUM)
Laval, France
`prenom.nom@univ-lemans.fr`

Résumé Notre intérêt se porte sur les jeux sérieux d'apprentissage nécessitant des mécanismes d'adaptation au profil de l'apprenant. Nous proposons de traiter plus précisément la génération de scénarios adaptés selon une approche d'Ingénierie Dirigée par les Modèles. Cette approche permet de guider l'analyse et la conception de la génération. Ceci est réalisé par la spécification de différents modèles selon plusieurs perspectives et dimensions. Nous avons appliqué la proposition dans le contexte du projet *Escape it!* dont le jeu sérieux a pour but de supporter le renforcement et la généralisation de compétences en performances visuelles pour des enfants autistes.

Keywords: Jeux sérieux · Adaptation · Scénario d'apprentissage · Ingénierie Dirigée par les Modèles.

Abstract In the context of learning games, we tackle the need of generating adapted learning scenarios according to elements such as the learners' progress and skills. Our proposal is a design approach relying on Model Driven Engineering techniques. It guides designers and domain experts to express, by means of models, what has to be generated, what contextualizes the generation, and what information is required from the learning game. We apply it in the *Escape it!* research project that aims to propose an "escape-room" game for helping children with autism to learn visual performance skills.

Keywords: Serious game · Adaptation · Learning scenarios · Model Driven Engineering.

1 Introduction

Les jeux d'apprentissage, *learning games*, sont des jeux sérieux visant à favoriser un apprentissage spécifique. Ils requièrent des mécanismes d'adaptation afin que tout ou partie du dispositif (éléments du jeu et/ou de l'apprentissage) puissent être adaptés dynamiquement au contexte (profil d'apprenant, profil de joueur, etc.). Dans cet article, nous nous intéressons plus particulièrement à

l'adaptation dynamique de scénarios de jeu en fonction des compétences de l'apprenant et des connaissances sur les niveaux de jeu. Ce que nous considérons comme *scénario de jeu* correspond à la spécification déclarative d'une session de jeu qui serait interprétable sans ambiguïté par le moteur du jeu : séquence ordonnée des éléments de jeu et de leurs caractéristiques. L'objectif général de notre recherche est d'identifier un cadre de conception générique qui permettrait d'aider à la conception d'un générateur de scénarios adaptés¹.

Notre travail de recherche s'inscrit dans le cadre du projet *Escape it!* présenté dans la section 2. Nous présentons ensuite brièvement des travaux connexes abordant la génération de scénarios adaptés en section 3. Ensuite, nous présentons une approche de conception exploitant des techniques de spécification issues de l'Ingénierie Dirigée par les Modèles. Cette approche est alors appliquée au contexte du projet *Escape it!* en section 4. Enfin, la section 5 présente une conclusion et des perspectives que nous abordons actuellement.

2 Contexte et motivation

L'objectif du projet est de concevoir et de développer un *learning game* sur mobile pour des enfants avec TSA (Trouble du Spectre Autistique). Le jeu servira à supporter le renforcement et la généralisation de l'apprentissage des compétences de type performances visuelles (définies dans le guide d'évaluation ABLLS-R [13]) : appariement objet-objet ou objet-image, tri, catégorisation, sériation, etc.

2.1 Vue générale du jeu d'apprentissage

Le jeu exploite un *gameplay* minimaliste inspiré des jeux de type *escape-room* : le joueur doit trouver dans une pièce (lieu de vie) des objets, parfois cachés, et les déplacer vers des zones "solutions", de manière à débloquent l'ouverture de la porte et ainsi accéder au niveau suivant. L'orientation *escape-room* a été proposée par les experts autisme impliqués dans le projet. Ils ont considéré que ce jeu pourrait être un intermédiaire intéressant pour supporter la généralisation des apprentissages entre les sessions thérapeutiques structurées et la généralisation dans l'environnement naturel de l'enfant tel que préconisé par le modèle d'intervention PRT (*Pivotal Response Training*) [9]. Le jeu sera utilisé par l'enfant, supervisé d'un adulte.

La conception du jeu a été réalisée sur la base des bonnes pratiques recensées [4][20] et à l'aide des recommandations et exigences exprimées par les experts autisme lors des séances de conception participative. L'objectif général était de réifier dans le jeu les éléments clés des approches comportementales et cognitives qui ont fait leur preuve dans la prise en charge de l'autisme [2] : utilisation du renforcement, contrôle des antécédents, guidances et estompages de guidances, façonnement et chainage. Voici quelques éléments clés de conception :

1. Cet article est une version francisée de [9] avec une focalisation portée sur la présentation de l'approche globale et non sur le processus de conception.

- Des compétences cibles : un sous-ensemble des compétences de performances visuelles définies dans [13] (celles adaptables au gameplay du jeu) ; par exemple : appairer un objet à un objet identique, trier des objets similaires, catégoriser des objets selon leurs fonctions communes, etc.
- Des durées de sessions de jeu variables : le jeu proposera des sessions de 3 à 6 niveaux, au choix de l'enfant.
- Des niveaux prenant place dans des scènes représentant des lieux de vie faisant sens pour l'enfant, groupées en thèmes.
- Des niveaux de difficulté : la difficulté correspondra à la configuration des éléments de la scène (objets visibles ou cachés, éléments de solution, positions dans la scène, etc.). Elle doit être fixée, pour chaque compétence-cible, en corrélation avec la progression des apprentissages de l'enfant.
- Des scènes variées pour encourager la généralisation des compétences : il est nécessaire que le jeu propose, pour une même compétence et un même niveau de difficulté, une grande variété de configurations de scènes de jeu.

2.2 Un besoin de génération automatique

La figure 1 illustre un exemple de scène de jeu pour la compétence B3 (appariement d'objets identiques) pour la difficulté *élémentaire*. Deux jouets "dinosaures" doivent être trouvés et placés dans le meuble et à côté de l'exemplaire rangé. Les objets utilisés pour la résolution ainsi que l'emplacement de ces objets peuvent varier : il s'agit d'un exemple de configuration générée pour une scène. Pour d'autres situations ou d'autres niveaux de difficulté, différents décors additionnels peuvent être ajoutés dans la scène, apportant ainsi de nouvelles positions possibles (pour placer les objets) ou des cachettes interactives.



Figure 1. Une exemple de configuration des éléments pour la scène *chambre*.

Dans ce contexte, un scénario de jeu correspond à une séquence ordonnée de scènes dont la configuration des différents éléments (objets, décors, cachettes, emplacements, etc.) est précisée. Ces informations (les scènes et leurs configurations) doivent être adaptées au profil de l'enfant (progression dans l'arbre des compétences, niveau de difficulté pour chaque compétence, etc.) et doivent prendre en compte les informations du jeu (l'arbre des compétences, relations entre niveau de difficulté et agencement des scènes, objets disponibles pour chaque scène, etc.). Cette adaptation est nécessaire avant chaque session de jeu.

Il serait trop coûteux de développer toutes les combinaisons possibles de configurations pour les scènes. Le jeu d'apprentissage requiert une génération dynamique de sessions de jeu adaptées au profil de chaque enfant.

3 Adaptation et génération d'activité

L'adaptation est l'action/activité d'ajuster un système en vue de le rendre adapté à quelque chose. Dans le contexte des jeux sérieux, comme de manière générale, elle peut être caractérisée par la *cible* de l'adaptation (ce qui sera adapté), par la source (à quoi sera adaptée la cible), ainsi que par les techniques employées [19]. Des états de l'art ont été réalisés pour caractériser ces différents éléments [5][21]. Pour [5], les différentes cibles ont trait à la présentation, au contrôle ou au contenu tandis que les sources concernent majoritairement le modèle utilisateur et les paramètres systèmes. Les modèles d'adaptation peuvent être implicites (dans le code) ou explicites (machines à états, règles logiques, etc.).

L'adaptation de scénarios dans les jeux sérieux est souvent abordée en considérant des scénarios de jeux narratifs et interactifs [3][16][7]. Dans le contexte du projet *Escape it!*, le concept de scénario correspond davantage à la définition générale proposée par [11] (*the global progression within a game level, its initial settings and the logical flow of events and actions that follow*) bien que nous ne sommes pas concernés par des flux d'événements ou d'actions (le jeu visé n'implique pas d'événements scriptés).

Dans [1], les auteurs ont proposé un système de génération de contenu contrôlé par des enseignants. Ces derniers sélectionnent des objets de jeu pré-crés, leur ajoutent du nouveau contenu d'apprentissage et les associent entre eux. Dans notre contexte, l'implication des experts n'est pas nécessaire pour chaque adaptation. En revanche la connaissance des objets manipulables disponibles pour chaque scène, leurs relations vis-à-vis des compétences-cibles possibles, leurs relations avec les objets-solutions semble être une base nécessaire pour générer des configurations de scènes appropriées. De telles connaissances devraient être spécifiées de manière à les rendre exploitable par l'activité d'adaptation tout en facilitant l'implication des experts dans leur expression.

Plus proche de nos préoccupations, les travaux présentés dans [15] proposent une architecture générique pour personnaliser un scénario de jeu sérieux en fonction des compétences de l'apprenant et de ses traces d'interaction [6]. L'architecture a été évaluée dans l'objectif de développer un jeu sérieux pour évaluer et réhabiliter des troubles cognitifs. Cette architecture est organisée en trois

couches : concepts du domaine, ressources pédagogiques, et ressources du jeu sérieux. En complément, leur proposition consiste à générer trois scénarios successifs (conceptuel, pédagogique et de jeu) en relation avec les couches précédentes. Pour la mise en oeuvre concrète, des techniques de représentation et manipulation d'ontologies sont utilisées. Toutefois peu d'informations sur la spécification des règles de génération sont données car leur intérêt était davantage porté sur l'analyse des traces d'interactions de l'apprenant et la mise à jour de son profil.

4 Proposition

Notre préoccupation principale concerne la génération de scénarios de jeu d'apprentissage adaptés aux profils des apprenants, tout en prenant en compte les connaissances sur le jeu et les compétences visées. Plus précisément nous avons retenu les deux problématiques et défis suivants : comment identifier et bien définir les éléments du domaine du jeu d'apprentissage (compétences, connaissances sur le jeu, éléments du modèle de l'apprenant...), ainsi que les règles de génération (défi 1) ? Comment exploiter ces informations pour diriger la génération effective des scénarios de jeu d'apprentissage (défi 2) ? Comment impliquer les experts du domaine métier dans la conception et la validation de la génération des scénarios adaptés (défi 3) ?

4.1 Cadre de référence pour les besoins de modélisation

L'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) [8] est une forme d'ingénierie générative proposant une démarche par laquelle tout ou partie d'une application informatique est générée à partir de modèles. En contrepartie, ces modèles doivent être rendus explicites et suffisamment précis pour être interprétés ou transformés par des machines. Le processus de développement peut alors être considéré comme un ensemble de transformations de modèles prenant des modèles en entrée et produisant des modèles en sortie, jusqu'à obtention d'artefacts exécutables. Le méta-modèle est alors l'entité concrétisant informatiquement le contexte de modélisation pour la conception et la manipulation des modèles. Il est l'abstraction du langage de modélisation des modèles (syntaxe, grammaire et sémantique). On considère alors que le modèle est *conforme* à son méta-modèle.

L'IDM pourrait permettre de spécifier la description du jeu, le profil de l'utilisateur, etc. en tant que modèles. L'*objet* de l'adaptation serait alors le modèle de sortie d'une transformation de modèles dont les éléments participant à sa mise en oeuvre seraient les modèles en entrée (défis 1 et 2). Ces modèles seraient exprimés à un haut niveau d'abstraction qui pourrait permettre la participation active des experts métier en interaction avec les développeurs du jeu d'apprentissage (défi 3).

4.2 Une approche 3x3x2 de modélisation

Nous proposons une approche qui permet d'appréhender la conception de la génération de scénarios adaptés. Elle s'appuie sur 3 perspectives incrémentales pour

les scénarios à générer, 3 dimensions de spécification des éléments du domaine, et 2 niveaux d'abstraction (modèle et méta-modèle) (Figure 2).

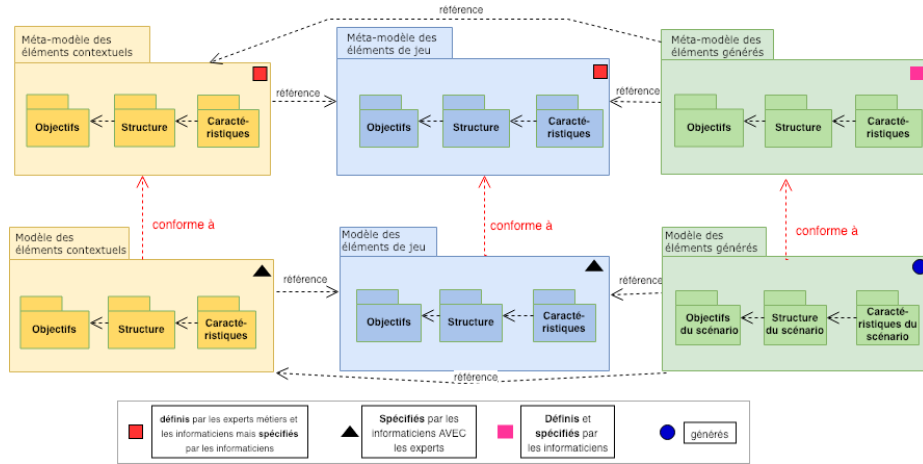


Figure 2. Approche de conception 3x3x2 proposée.

Les trois perspectives permettent de décomposer le problème de la conception de la génération en différentes étapes successives et incrémentales, chacune appréhendant un point de vue spécifique sur le scénario adapté à générer. Ces perspectives sont adaptées de la proposition de [14] :

- *Objectifs du scénario* : sélection ordonnée d'objectifs d'apprentissage, parmi ceux disponibles, en fonction de leur pertinence avec le contexte de la génération. Dans le projet *Escape it!*, cette perspective permettra de sélectionner quelles compétences visuelles sont concernées pour chacun des différents niveaux de la session de jeu, sur la base des compétences abordées, de leurs relations avec le profil de l'apprenant et en fonction de la progression concrète de l'utilisateur concerné.
- *Structure du scénario* : sélection ordonnée des exercices d'apprentissage ou des composants, à gros-grain, de jeu et d'apprentissage, en fonction des objectifs d'apprentissage fixés dans la perspective précédente. Dans *Escape it!* cela correspond, entre autres, au choix des "scènes de jeu".
- *Caractéristiques du scénario* : sélection des éléments additionnels qui participeront à préciser finement chaque élément structurel de la perspective précédente, en fonction également des objectifs fixés. Dans *Escape it!*, cela concerne la spécification détaillée de chaque scène de jeu, c-à-d toutes les informations requises (décors, objets, emplacements, etc.) par le moteur du jeu pour configurer une situation à résoudre.

Le scénario final généré sera donc composé de ces trois perspectives complémentaires. Pour chacune de ces perspectives nous proposons de considérer trois

dimensions complémentaires pour décrire les différents éléments enjeux dans la génération.

- les éléments à générer : par exemple le scénario adapté ;
- les éléments contextuels (ce qui est spécifique au contexte de la génération) : par exemple le profil de l'apprenant ;
- les éléments décrivant le jeu d'apprentissage : par exemple les objectifs concrets, les activités/exercices disponibles, les éléments de configuration, etc.

Enfin, pour chaque perspective et dimension nous proposons de décrire les éléments enjeux selon deux niveaux d'abstraction :

- le niveau méta-modèle : ce niveau capture les éléments, propriétés et relations qui définissent les concepts et contraintes pour assurer la conformité des modèles ;
- le niveau modèle : ce niveau spécifie les informations concrètes nécessaires au générateur. Il est important de noter que le modèle correspondant au scénario à générer n'est pas spécifié avant la génération mais est bien produit en sortie de la génération. En revanche, le profil de l'utilisateur concerné par la génération est un modèle en entrée fournit au générateur. Les modèles décrivant le jeu d'apprentissage sont aussi des modèles en entrée. Le générateur exploite ces modèles du jeu pour l'ensemble des générations réalisées alors que le modèle de l'utilisateur peut varier.

Le processus de conception collaborative exploitant cette approche et permettant à des experts métiers d'échanger (identifier et spécifier) avec des informaticiens (réponse au défi 3) est présenté dans [10].

5 Application au projet *Escape it!*

Les prochaines sous-sections correspondent à la première perspective de l'approche (plus de détails sur les autres perspectives peuvent être obtenus dans [10]). Pour chaque dimension, nous présentons tout d'abord la description textuelle des éléments à considérer, à commencer par les éléments à générer qui dirigent l'analyse. Toutes ces informations sont issues des séances de conception collaborative que nous avons eu avec les experts autisme du projet.

5.1 Explicitation des éléments de la perspective *Objectifs*

La table 1 synthétise la description des éléments enjeux par dimension pour la perspective des objectifs. Il est intéressant de noter que l'expression des trois dimensions permet également de relever des *règles de génération et d'adaptation*. Ces règles ne peuvent pas être capturées par les trois dimensions car elles ne décrivent pas les données en entrée et en sortie de la génération mais la manière dont celle-ci devra fonctionner.

L'approche précédente est intéressante car elle permet de cadrer le périmètre des éléments à considérer pour chaque dimension. Cela permet également de mettre en évidence les règles qui seront utiles à la génération du scénario adapté.

Table 1. Éléments enjeux pour la perspective des objectifs.

Éléments descriptifs	- l'arbre des compétences visuelles, par lien de pré-requis - les 5 niveaux de difficulté (<i>débutant, élémentaire, intermédiaire, avancé, expert</i>)
Éléments contextuels	- nombre de niveaux à générer N (choisi par l'apprenant, entre 3 et 5) - les compétences concernées par l'enfant (certaines sont peut-être à exclure) - pour chaque compétence concernée : niveau de difficulté actuel et progression dans la difficulté courante
Éléments à générer	- les N compétences (ordonnées) à viser par chacun des N niveaux de la session de jeu - le niveau de difficulté pour chacune de ces compétences
Règles de génération et d'adaptation	- une compétence <i>éligible</i> pour le générateur est une compétence concernée et non déjà acquise dont les pré-requis ont au moins atteint le niveau de difficulté <i>intermédiaire</i> - le niveau de difficulté pour la compétence sélectionnée est identique à celui du profil - la sélection des N compétences se fait au hasard parmi les M éligibles ; si $M < N$ alors la sélection des (N-M) restants recommencent parmi les M éligibles.

Ainsi, il est plus aisé de rejeter les informations métiers qui ne relèvent pas de la génération comme par exemple celles qui concernent davantage le temps de l'exécution du jeu (*runtime*). Par exemple, les informations régissant comment est réalisé la progression dans les niveaux de difficultés relèvent de la collecte et de la mise à jour du profil mais ne sont pas nécessaires à la génération.

5.2 Spécification des méta-modèles

Les informations collectées pour les trois dimensions peuvent alors être spécifiées (le plus formellement possible, au sens informatique du terme, c-à-d avec le moins d'ambiguïté sémantique pour un futur traitement machine). Le méta-modèle peut être considéré comme la représentation de la structure des modèles et des éléments composant ces modèles. Il permet la manipulation machine des modèles qui lui seront conformes.

La figure 3 est une représentation graphique des trois méta-modèles correspondants aux 3 dimensions de la perspective des objectifs du scénario. Pour les éléments à générer (à droite), l'*ObjectiveScenario* est composé de plusieurs *TargetSkill* (concrètement le modèle/scénario en aura autant que la valeur de *nbLevels*). Chaque *TargetSkill* référence une compétence *BxSkill* et précise la niveau de difficulté (propriété *difficultyLevel*). Les éléments de description du jeu d'apprentissage (au centre) pour cette perspective sont les compétences *BxSkill* et leurs relations *prerequisite* pour préciser l'éventuelle compétence parent d'une autre compétence. Enfin, les éléments de contexte (à gauche) décrivent le *Profile* d'apprentissage de l'enfant comme composé de plusieurs *Skill2Consider* référençant chacun une des compétences décrites et précisant ainsi pour chacun le niveau actuel de difficulté (*currentLevel*) et le statut en cours d'acquisition ou acquis de cette compétence.

5.3 Modèles

La figure 4 montre partiellement les modèles en entrée pour le générateur : la description du jeu (au centre) et un profil utilisateur (à gauche). Ces deux

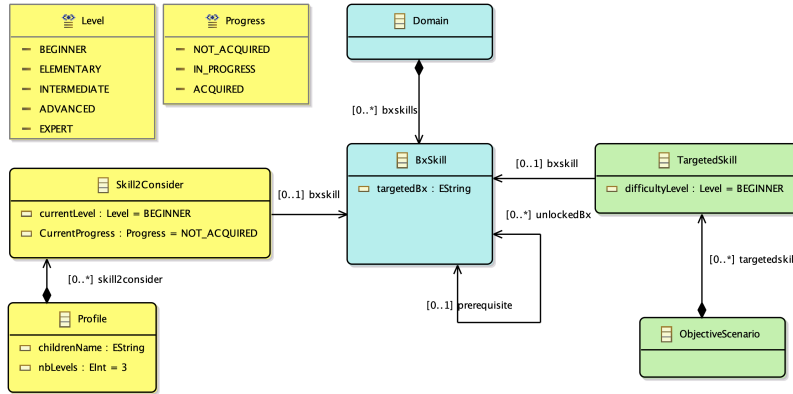


Figure 3. Représentation graphique des 3 méta-modèles correspondant aux 3 dimensions pour la perspective des *objectifs*.

modèles on été réalisés à l’aide d’un éditeur en arbre qui assure par construction la conformité des modèles à leur méta-modèle d’origine. On peut observer dans cet exemple que le jeu décrit 7 compétences (B3, B4, B9, B13, B19, B25) dont B8 (correspond au tri entre 2 catégories d’objets similaires selon [13]) a B3 pour pré-requis et est l’un des pré-requis de B13 (visibles dans la zone *Properties*). Le profil correspond ici à un enfant Tom qui souhaite 4 niveaux. Il est concerné par les 7 compétences, avec B3 et B9 acquis (non visible dans la figure), tandis que B4 (qui dépend de B3) est au niveau de difficulté *élémentaire* et les autres compétences (B8, B13 et B19) sont au niveau *débutant*.

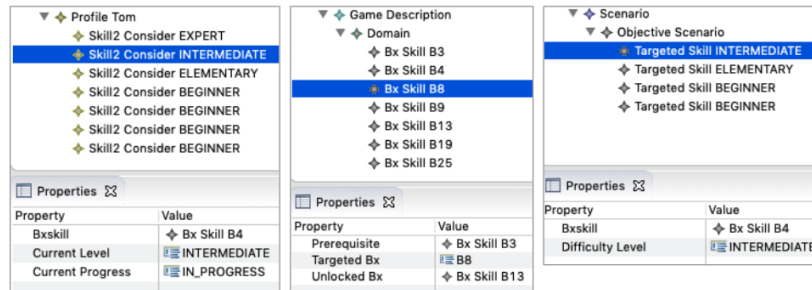


Figure 4. Exemples de modèles en entrée, un profil apprenant (à gauche), la description du jeu (au centre), et de modèle en sortie, un scénario adapté généré (à droite).

Le modèle à droite de la figure 4 est un exemple de scénario adapté qui est obtenu après génération (d’autres générations avec les mêmes modèles en entrée pourraient donner d’autres scénarios possibles). Pour cette génération, le scénario pour la perspective *objectifs* propose bien 4 compétences-cibles ordonnées :

B4 avec la difficulté *intermédiaire*, B9 (*élémentaire*), B8 (*débutant*), B8 (*débutant*). Cela est cohérent avec les règles de génération de la table 1 : seules les compétences B4-B8 (dépendantes de B3 qui est acquis) et B9 (dépendante de B4 à niveau intermédiaire) sont éligibles. Les 3 compétences ont été ensuite choisies dans un certain ordre, puis le hasard à re-sélectionner B8 pour le dernier niveau.

5.4 Mise en œuvre et validation

La génération de scénarios adaptés a été concrètement implémentée en tant que transformation de modèles, spécifiée en Java/EMF [17]. Ce framework prend en charge la manipulation des modèles en entrée et en sortie. Le développement du générateur peut donc se concentrer sur l'algorithme de génération qui doit intégrer les règles explicitées dans la table 1. Si l'on se réfère à la taxonomie des générateurs de contenu [18], notre implémentation peut être considérée *en ligne* (réalisée pendant l'exécution du jeu), *nécessaire* (le contenu généré doit être correct), *paramétrée* (le générateur connaît les informations décrivant le jeu sous forme de modèle en entrée), *stochastique* (le hasard est utilisé pour départager des choix non couverts par une règle métier), *constructive* (l'algorithme du générateur ne produit jamais de contenu incohérent ou incomplet).

Le générateur a pu être testé et validé avec les experts lors des différentes sessions de conception collaborative selon les trois perspectives itératives. Des cas d'étude fictifs de profil d'enfant étaient spécifiés et utilisés pour générer plusieurs scénarios. Le générateur était alors utilisé comme *simulateur* afin de valider les règles métier de génération (certaines ont été supprimées, d'autres ajoutées ou ajustées). Cette validation, et le processus de conception entre informaticiens et experts qui exploite notre approche, sont présentés dans [10]. Cet article s'est focalisé sur la présentation de l'approche et sa validation par sa mise en application sur un cas concret de jeu sérieux. Toutefois, notre approche n'est pas seulement applicable aux jeux sérieux : elle a pu être appliquée pour la génération d'activités d'inventaires botaniques adaptées au contexte du citoyen (relevés à proximité et préférences d'inventaires du citoyen) dans le cadre du projet REVERIES.

Lorsque le développement du jeu d'apprentissage d'*Escape It!* a été réalisé (avec le moteur de jeu Unity), nous avons souhaité ne pas développer à nouveau le générateur en interne du jeu. Nous avons préféré intégrer le générateur sous forme de service Web appelé par le jeu. Cela permet de découpler le jeu des stratégies de génération qui deviennent ainsi interchangeables. Des expérimentations sont en cours afin d'améliorer l'utilisabilité du jeu et de vérifier son utilité. En ce qui concerne l'utilisation du générateur intégré, les expérimentations déjà réalisées n'ont pas révélées de situations où les scénarios proposés n'étaient pas adaptés.

6 Conclusions et perspectives

Nous avons proposé une approche de conception IDM pour la génération de scénarios adaptés dans des jeux d'apprentissage. Elle permet d'appréhender la spécification des différents modèles et méta-modèles selon trois perspectives (points

de vue incrémentaux sur les éléments à générer) et trois dimensions (les éléments à générer, les éléments décrivant le contexte de la génération, les éléments décrivant le jeu d'apprentissage). Nous avons appliqué cette approche dans le contexte du projet *Escape it!*. Cela nous a permis de concevoir un générateur de scénarios de scènes de jeu et de leurs configurations, adaptés au profil d'apprentissage des enfants. Seule la première perspective des *objectifs* du scénario est présentée dans cet article. Le générateur conçu a été concrètement développé, intégré au jeu d'apprentissage et testé avec succès.

L'approche de conception proposée semble convenir, d'après l'expérimentation réalisée dans le cadre du projet *Escape it!*, dans des contextes de jeu d'apprentissage où une seule préoccupation d'adaptation, en l'occurrence l'apprentissage, est prise en compte au niveau des éléments contextuels pour la génération. Nous travaillons actuellement dans le contexte du projet *REVERIES*[12] à une nouvelle approche qui permettrait de prendre en compte différentes préoccupations (apprentissage, ludification et inventaire citoyen).

Bien que notre proposition permette de faciliter la conception de la génération de scénarios adaptés, elle ne permet pas de faciliter la mise en oeuvre concrète des règles de génération, qui reste une tâche de programmation non négligeable. L'analyse de [5] relève que "la plupart des travaux sur les jeux sérieux n'identifient pas explicitement un modèle pour représenter les règles de l'adaptation". Nous travaillons ainsi actuellement à considérer la transformation de modèle non comme un problème algorithmique de programmation mais comme un problème de satisfaction de contraintes.

Références

1. Bielikova, M., Diveky, M., Jurnecka, P., Kajan, R., Omelina, L. : Automatic generation of adaptive, educational and multimedia computer games. vol. 2, pp. 371–384. *Signal Image Video Process.* (2008)
2. Burton, L.R., McEachin, J. : *A Work in Progress : Behavior Management Strategies and a Curriculum for Intensive Behavioral Treatment of Autism.* New York : DRL Books (1999)
3. Delmas, G., Champagnat, R., Augeraud, M. : Plot monitoring for interactive narrative games. In : *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology.* pp. 17–20. ACE '07, ACM, NY, USA (2007)
4. Ern, A. : The use of gamification and serious games within interventions for children with autism spectrum disorder (January 2014), <http://essay.utwente.nl/64780/>
5. Hocine, N., Gouaich, A., Di Loreto, I., Abrouk, L. : Techniques d'adaptation dans les jeux ludiques et sérieux. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information - Série RIA : Revue d'Intelligence Artificielle, Lavoisier* **25**(2), 253–280 (2011)
6. Hussaan, A.M., Sehaba, K. : Consistency verification of learner profiles in adaptive serious games. In : *11th European Conference on Technology Enhanced Learning.* pp. 384–389. Springer International Publishing (2016)
7. Janssens, O., Samyn, K., Van de Walle, R., Van Hoecke, S. : Educational virtual game scenario generation for serious games. In : *Proceedings of the IEEE 3rd International Conference on Serious Games and Applications for Health* (2014)

8. Jézéquel, J.M., Combemale, B., Vojtisek, D. : Ingénierie Dirigée par les Modèles : des concepts à la pratique... Références sciences, Ellipses (Feb 2012)
9. Koegel LK, Ashbaugh K, K.R. : Pivotal response treatment. In : Early Intervention for Young Children with Autism Spectrum Disorder. pp. 85–112. Springer International Publishing (2016)
10. Laforcade, P., Laghouaouta, Y. : Supporting the adaptive generation of learning game scenarios with a model-driven engineering framework. In : Lifelong Technology-Enhanced Learning (ECTEL'18). pp. 151–165. Springer International Publishing, Cham (2018)
11. Lopes, R., Bidarra, R. : Adaptivity challenges in games and simulations : A survey. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games* **3**(2), 85–99 (2011). <https://doi.org/10.1109/TCIAIG.2011.2152841>
12. Marfisi-Schottman, I., Gicquel, P.Y., Karoui, A., George, S. : From idea to reality : Extensive and executable modeling language for mobile learning games. In : Verbert, K., Sharples, M., Klobučar, T. (eds.) *Adaptive and Adaptable Learning*. pp. 428–433. Springer International Publishing, Cham (2016)
13. Partington, J., Analysts, P.B. : *The Assessment of Basic Language and Learning Skills-revised (the ABLLS-R)* (2010)
14. Sebaha, K., Mahmood Hussaan, A. : Architecture et modèles génériques pour la génération adaptative des scénarios de jeux sérieux. application : Jeu d'évaluation et de rééducation cognitives. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation* **21**(1), 615–648 (2014)
15. Sebaha, K., Hussaan, A. : Goals : generator of adaptive learning scenarios. In : *International Journal of Learning Technology*. vol. 8, pp. 224–245 (10 2013)
16. Sina, S., Rosenfeld, A., Kraus, S. : *Generating content for scenario-based serious-games using crowdsourcing* (2014)
17. Steinberg, D., Budinsky, F., Paternostro, M., Merks, E. : *EMF : Eclipse Modeling Framework 2.0*. Addison-Wesley Professional, 2nd edn. (2009)
18. Togelius, J., Yannakakis, G.N., Stanley, K.O., Browne, C. : Search-based procedural content generation : A taxonomy and survey. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games* **3**(3), 172–186 (2011). <https://doi.org/10.1109/TCIAIG.2011.2148116>
19. Vandewaetere, M., Desmet, P., Clarebout, G. : The contribution of learner characteristics in the development of computer-based adaptive learning environments. *Computers in Human Behavior* **27**(1), 118 – 130 (2011). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.07.038>
20. Zakari, H.M., Ma, M., Simmons, D. : A review of serious games for children with autism spectrum disorders (asd). In : *International Conference on Serious Games Development and Applications*. pp. 93–106. Springer International Publishing (2014)
21. Zniber, N., Cauvet, C. : Systèmes pédagogiques adaptatifs : état de l'art et perspectives. In : *MajecSTIC 2005 : Manifestation des Jeunes Chercheurs francophones dans les domaines des STIC*. pp. 300–315 (2005)