

Un framework de conception pour des générateurs d'activités de jeu variées et adaptées

Bérénice Lemoine^[0000-0002-7608-3223], Pierre Laforcade^[0000-0001-8498-2731],
and Sébastien George^[0000-0003-0812-0712]

LIUM Laboratoire d'Informatique de l'Université du Mans, Laval, France
{berenice.lemoine, pierre.laforcade, sebastien.george}@univ-lemans.fr

Résumé. Cet article concerne l'aide à la conception de générateurs d'activités dans les jeux sérieux. Le champ d'étude est celui de l'entraînement aux connaissances déclaratives. La proposition est un framework de conception, orienté modèles et méta-modèles, extensible pour l'entraînement à des faits spécifiques. Le générateur produit permet de générer des activités d'entraînement adaptées et variées sous forme de niveaux de donjon pour un jeu de type Roguelite. L'article présente et évalue le framework en se focalisant sur la dimension éducative de l'entraînement.

Mots-clés : Adaptation · Génération · Jeux sérieux · Conception.

Abstract. This article deals with the design of activity generators in serious games. The field of study is declarative knowledge training. The proposal is a design framework oriented towards models and extensible metamodels for the training of specific facts. The built generator allows to generate adapted and varied training activities as dungeon levels for a Roguelite game. The article presents and evaluates the framework with a focus on the educational dimension of the training.

Keywords: Adaptation · Generation · Serious Game · Design.

1 Introduction

La répétition est une tâche nécessaire pour permettre la mémorisation à court et long terme des connaissances déclaratives [15]. Or, les jeux sérieux proposant des activités répétitives ou redondantes peuvent vite ennuyer les joueurs, d'autant plus si le challenge proposé n'est pas équilibré avec leurs compétences [24]. Ainsi, des jeux sérieux visant l'entraînement à des connaissances déclaratives doivent proposer une grande variété d'activités adaptées à l'apprenant. Pourtant, il y a très peu de solutions pour faciliter la *génération* d'activités d'apprentissage ludiques à la fois adaptées et variées.

Nos travaux concernent la recherche en ingénierie pour l'aide à la conception et au développement de générateurs d'activités variées et adaptées. Les générateurs visés sont des composants logiciels de jeux sérieux dédiés à l'entraînement pour des connaissances déclaratives. Il s'agit d'une recherche exploratoire

visant à mieux caractériser ces générateurs (l'objet de recherche) et à proposer des modèles, outils et techniques permettant de faciliter leur conception (au sens informatique) et leur développement.

Cet article a pour objectif de présenter un framework de conception qui permettra d'assister la conception et l'implémentation de ces générateurs. Cet article se concentre sur la prise en compte du point de vue de l'enseignant, de la structuration de l'entraînement, et de la progression de chaque élève. La génération prendra en compte à terme les aspects ludiques (i.e., variété de *game-plays*, préférences de jeu des apprenants).

La Section 2 présente le contexte de recherche et positionne les travaux par rapport à la littérature. La Section 3 décrit le framework de conception proposé et ses composants. La Section 4 présente une évaluation du framework sur la dimension éducative. Enfin, la Section 5 conclut et présente les perspectives.

2 Contexte et positionnement

2.1 Contexte initial : le projet AdapTABLES

Le projet AdapTABLES s'intéresse à l'entraînement aux tables de multiplication. Les tables sont considérées déjà *expérimentées* et *comprises*, l'objectif est ici de les *stabiliser* [9]. La littérature en psychologie cognitive a montré que le processus de récupération de concepts ou de faits par le test augmente leur acquisition à long terme [3,15]. Le *Retrieval Practice* est une forme d'entraînement par le test consistant à se souvenir de manière répétée de ce que l'on a appris (e.g., par l'utilisation de *flashcards*, de quiz, etc.). L'entraînement proposé ici est une forme de *Retrieval Practice* consistant à fournir à l'élève-joueur diverses formes de questions de manière répétée et variée.

Le projet vise alors à concevoir et à développer un jeu sérieux dédié à cet entraînement. La répétition d'activités similaires pouvant provoquer l'ennui [24], le jeu sérieux devra proposer à chaque élève une grande variété d'activités adaptées.

2.2 Enjeux scientifiques

L'objet de recherche se porte sur l'un des composants du jeu d'entraînement : le générateur d'activités. Celui-ci doit fournir des activités variées et adaptées à l'apprenant-joueur sur les dimensions éducative et ludique. La conception d'un tel générateur est complexe et ne peut pas être réduite à un problème d'ingénierie informatique. Cela pose de nombreux problèmes de spécification et de mise en œuvre (Quels éléments doivent être explicités et comment ? Comment peuvent-ils être exploités pour diriger la mise en œuvre informatique de la génération ?) qui impliquent les points de vue de l'équipe pluridisciplinaire de développement du jeu sérieux d'entraînement, dont les experts des connaissances déclaratives visées et les experts du jeu vidéo.

Adaptations visées. L'adaptation est souvent caractérisée par 3 concepts : la source (i.e., à quoi adaptons-nous ?), la cible (i.e., qu'est-ce qui est adapté ?) et les chemins (i.e., comment est adaptée la cible à la source ?) [26]. Dans ces travaux, nous ciblons l'*individualisation* des activités, définie par Grant et Basye comme un moyen de répondre aux compétences ou aux capacités spécifiques des élèves, y compris les besoins spéciaux, en fournissant des progressions d'apprentissage adaptées à ses besoins [12]. L'individualisation a lieu lors de la génération d'une activité. Au sens de Plass et Pawar [21], elle concerne, dans nos travaux, deux variables : une variable cognitive (i.e., niveau de l'apprenant et sa progression) et une variable motivationnelle (i.e., préférences du joueur). La génération va donc considérer de nombreuses informations (e.g., structuration de l'entraînement, les caractéristiques du jeu, le profil de l'apprenant, le profil du joueur, etc.) pour adapter les activités : 1) au niveau de connaissance et à la progression de l'apprenant, mais également 2) à ses préférences de jeu. D'autre part, les activités sont également adaptées à la stratégie d'entraînement des enseignants puisque la structuration (i.e., définie préalablement à l'utilisation) représente ses choix en termes de faits questionnés, de difficulté, de progression dans l'entraînement.

Genre de jeu. Nous avons étudié différents *genres* de jeux afin d'identifier ceux capables de maintenir l'engagement des joueurs tout en proposant des gameplays répétitifs, mais variés. Le genre de jeu *Roguelite* répond à ces besoins. Il se caractérise principalement par la génération procédurale de donjons au contenu pseudo-aléatoire, la mort permanente (chaque mort de l'avatar impose au joueur de commencer une nouvelle partie), et la détention limitée d'éléments de jeu déblocables (e.g., personnages, objets, *powerups*, ...). En conséquence, les activités générées sont des niveaux de donjons (i.e., salles interconnectés) où l'apprentissage a lieu dans certaines salles (i.e., salle avec question). L'adaptation éducative va donc porter sur les faits rencontrés (i.e., types de faits, manière de les questionner), leur nombre, leur ordre en fonction du niveau de l'apprenant, de ses précédents résultats et de la structuration faite par l'enseignant. L'adaptation des préférences va porter sur l'activation/désactivation d'éléments de jeu (i.e., équipements débloquent différents gameplays permettant de répondre aux faits questionnés en orientant ou déplaçant des objets par exemple).

2.3 État de l'art

La conception de jeux et de jeux sérieux a fait l'objet de nombreuses méthodes, *framework* et approches [1,7]. Cependant, beaucoup d'entre eux sont essentiellement orientés vers l'analyse de jeux existants ou bien servent de guide pour réaliser une conception générale du jeu à développer [13]. De plus, aucun de ces *frameworks* ne repose sur la génération d'activités adaptées à la fois à la dimension éducative et à la dimension ludique.

Adaptation dans les jeux sérieux. Plusieurs travaux proposent des méthodes pour adapter la ludification de plateformes et contenus éducatifs [19,8]. Cependant, la conception de jeux sérieux et la ludification présentent différents chal-

lenges. La ludification implique d'ajouter une couche d'éléments de jeu à un contenu éducatif déjà existant/structuré. En revanche, la conception de jeux sérieux nécessite que la structuration du contenu éducatif et la structuration du jeu soient pensées conjointement [22]. La littérature présente des travaux cherchant à concevoir ou à soutenir la conception de contenus de jeux adaptés. Natkin et al. [20] recommandent des quêtes en fonction d'un modèle utilisateur. À partir du modèle, un ensemble de quêtes est proposé au joueur, en fonction de ses choix et des traces, le modèle est mis à jour pour permettre des propositions raffinées par la suite. Marne et al. [18] proposent un outil auteur soutenant les enseignants dans la conception de scénarios de jeux non linéaire adaptés. Les apprenants seront confrontés à différents scénarios en fonction des réponses qu'ils fournissent. Carron et Marty [6] proposent une approche pour la conception de modèle usager adapté pour des jeux sérieux. Bontchev et al. [2] proposent un framework composé d'un modèle d'apprenant-joueur pour la personnalisation de jeux sérieux de type labyrinthe découpé en 3 axes : caractéristiques du joueur, caractéristiques de l'apprenant et caractéristiques de l'utilisateur. Ces travaux sont majoritairement fondés sur l'utilisation de modèles et des résultats d'apprenants pour adapter. Cependant, tous modèles et toutes formes d'adaptation dépendent du contexte d'application et sont difficilement applicables à d'autres contextes.

Génération de contenus en EIAH. La génération consiste à proposer des contenus par construction. Peu de travaux traitent cette problématique en EIAH. Certains travaux abordent ce problème hors du contexte des jeux sérieux [5,10]. En EIAH, Callies [4] propose une architecture adaptative consistant à générer des plans pédagogiques adaptés (i.e., sous-partie d'un scénario) ainsi qu'à adapter les comportements des PNJ (Personnage Non Joueur) en fonction des actions des joueur-apprenants dans des jeux de type simulation. Sebaha et Hussaan [23] proposent un modèle générique qui génère un scénario de jeux adapté à l'apprenant en fonction de son profil et des modèles de représentation des ressources et des concepts définis. D'autre part, Laforcade et Laghouaouta [16] proposent une approche permettant d'appréhender la spécification de générateurs de séquences d'activités (i.e., scénario de jeu) adaptées à l'apprenant. Cette approche s'appuie sur 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). Il s'agit d'une approche de spécification très généraliste dont les méta-modèles et modèles sont produits durant l'application de l'approche. En dehors des EIAH, certains travaux abordent la génération de contenus adaptée dans le cadre des jeux, comme Dormans et Bakkes [11] qui proposent un *framework* pour la conception de niveaux de jeu adaptés, de type action-aventure, fondée sur l'utilisation de *grammaires génératives*. Des niveaux à choix conditionnels sont créés dynamiquement pour chaque type de joueurs afin de personnaliser l'expérience de jeu. Bien qu'intéressant, ces travaux ne sont pas directement applicables à notre contexte. Certains sont fondés sur un principe de recommandation (i.e., différent de la génération), d'autres visent la conception de jeux sérieux mais pas leur implémentation, d'autres s'intéressent à la génération sur une seule dimension.

3 Framework de conception et d'implémentation

3.1 Présentation générale & hypothèses

Le *framework* proposé est une infrastructure conceptuelle et logicielle composée d'un ensemble de modèles et outils pour formaliser et guider l'implémentation de générateurs d'activités variées et adaptées. Il s'agit d'une contribution de recherche en ingénierie en EIAH [25] participant à explorer et à orienter des solutions concernant la génération d'activités adaptées. Notre proposition devra être complétée et ajustée pour être directement exploitable par les équipes pluridisciplinaires impliquées dans le développement de jeux d'apprentissage.

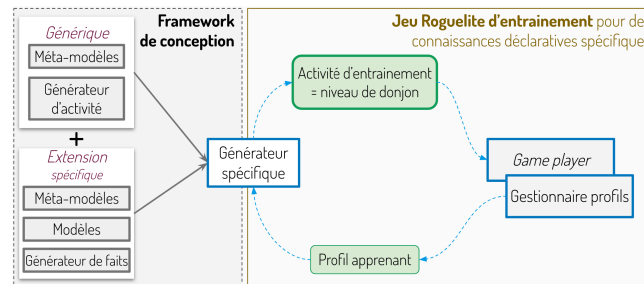


Fig. 1: Positionnement général du *framework* de conception

Comme illustré en Figure 1, le *framework* permet de spécifier et de mettre en œuvre un générateur d'activités d'entraînement pour un contexte de connaissances déclaratives spécifique. Ce générateur peut être considéré comme un composant logiciel du jeu *Roguelite* d'entraînement. Son rôle est de générer à chaque demande une nouvelle activité d'entraînement, concrètement un niveau de donjon, qui sera ensuite interprétée par le jeu. Le générateur nécessite en entrée les informations contextuelles de la demande : profil de l'élève (i.e., sa progression, ses résultats dans son parcours d'entraînement) et profil du joueur (e.g., niveau de donjon atteint, préférences de *gameplays* qu'il/elle déclare).

La conception d'un tel *framework* repose sur plusieurs hypothèses :

- H1)** La conception de générateurs automatiques (fonctionnels sans intervention humaine) d'activités d'entraînement de type *Roguelite* adaptés à l'apprenant sur deux dimensions (i.e., ludique et éducative) est réalisable ;
- H2)** Prendre en compte des connaissances déclaratives spécifiques est possible ;
- H3)** Les générateurs produits peuvent fournir des activités adaptées du point de vue de l'enseignant (e.g., objectifs, ordre de réalisation, tâches à travailler) ;
- H4)** Les générateurs produits peuvent fournir des activités adaptées au profil de l'apprenant (i.e., ses connaissances et sa progression) ;
- H5)** Les générateurs produits peuvent fournir des activités adaptées au profil du joueur (e.g., préférences de jeu sélectionnées dans le jeu par le joueur) ;
- H6)** Les générateurs produits peuvent fournir des activités variées (i.e., pour deux profils identiques, les activités doivent différer).

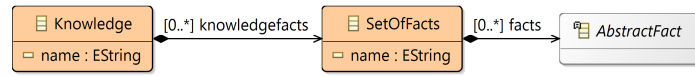
3.2 Méthode de conception

L'élaboration du *framework* est basée sur une méthode de recherche exploratoire centrée sur la conception itérative d'un cas d'étude initial, avec l'implication d'un groupe d'utilisateurs et la participation d'experts. Il s'agit donc d'une méthode inductive où les résultats obtenus (en rapport avec le projet AdapTABLES) sont généralisés et re-évalués dans le contexte des tables de multiplication, mais également sur un second (les repères d'histoire-géographie du Diplôme National du Brevet). La continuité d'une étude exploratoire [17] menée à l'aide d'un groupe d'experts en mathématiques (i.e., didacticiens et enseignants) a permis de définir une structuration du savoir sous forme de *parcours d'entraînement*. Cette **structuration vise à expliciter** la vision de l'enseignant sur **la progression de l'entraînement** (i.e., adaptation), en termes de connaissances à travailler et de paramètres à varier, **pour un apprenant ou un groupe d'apprenants**.

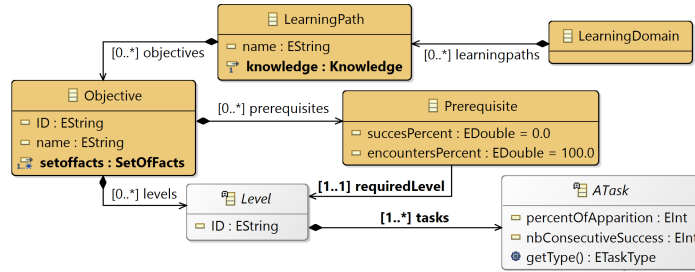
3.3 Composants du Framework

Une manière de répondre à l'hypothèse H2 (cf. Section 3.1) consiste à proposer un *framework* décomposé en une partie générique, permettant la spécification des éléments nécessaires à la génération, et une partie spécifique, représentant une extension de la partie générique et permettant de spécifier les éléments précis du domaine d'application (cf. Figure 1). La partie générique contient également un générateur déjà implémenté capable d'interpréter et de manipuler les modèles conformes aux méta-modèles génériques et leurs extensions. La génération des faits étant dépendante du domaine, elle devra faire l'objet d'un développement dédié selon des règles spécifiques afin d'être interopérable avec le reste du générateur. Notre approche vise à utiliser le cadre théorique et pratique de l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) [14]. Le *framework* proposé est fondé sur un ensemble de méta-modèles extensibles interconnectés, ainsi qu'un ensemble de règles à suivre pour créer des extensions. Les méta-modèles sont spécifiés au format EMF et l'algorithme de génération est codé en JAVA.

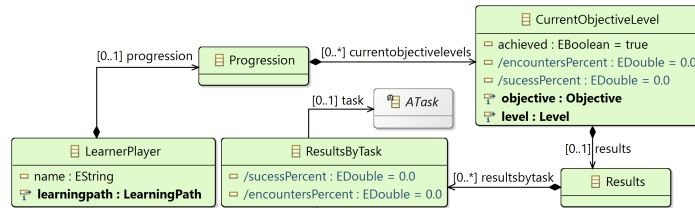
Méta-modèles "Génériques". Le *framework* est composé de plusieurs méta-modèles, les quatre principaux sont présentés dans cet article (cf. Figure 2a). Le méta-modèle des connaissances (cf. Figure 2a) permet de représenter les connaissances/faits à travailler sous forme d'ensemble de faits (*SetOfFacts*). Le méta-modèle du domaine (*LearningDomain*, cf. Figure 2b) permet de représenter la structuration de l'entraînement (*LearningPath*) en objectifs, en niveaux, en prérequis et en tâches (*ATask*). Un objectif (*Objective*) est disponible lorsque ses prérequis (*Prerequisite*) sont respectés en termes de pourcentage de succès (*successPercent*, réussite de l'apprenant calculé à partir de ses résultats) et de pourcentage de faits rencontrés (*encountersPercent*, nombre de faits minimum, défini par les enseignants, qui doivent être travaillés). Le méta-modèle de l'apprenant (*LearnerPlayer*, cf. Figure 2c) permet de représenter la progression de l'apprenant par rapport aux couples objectif/niveau (*CurrentObjectiveLevel*) d'un parcours d'entraînement. Enfin, le méta-modèle d'activité



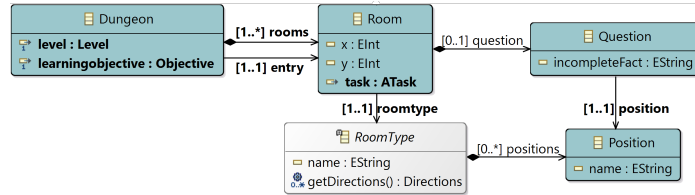
(a) MM Connaissances



(b) MM Structuration du savoir



(c) MM Apprenant



(d) MM Activité/Donjon

Fig. 2: Métamodèles génériques du *Framework* (les méta-attributs en gras indiquent une référence vers un méta-élément d'un autre méta-modèle).

(cf. Figure 2d) représente la structure que doit avoir une activité générée. En l'occurrence, l'activité est un donjon (*Dungeon*), c'est-à-dire un ensemble de salles (*Room*) pouvant avoir une question ou non, ayant un type (*RoomType*, cet attribut correspond aux paramètres d'une salle, e.g., forme). Ces méta-modèles représentent l'ensemble des informations nécessaires à la génération d'une activité d'entraînement. Dans le but d'instancier ces méta-modèles, une extension doit être apportée pour spécifier les informations du domaine visé.

Règles d'Extension. Les méta-modèles présentés (cf. Figure 2) présentent plusieurs points d'extension principalement représentés par des classes abstraites.

Du point de vue éducatif, deux méta-modèles sont visés, les méta-modèles des connaissances et le méta-modèle du domaine. Les faits peuvent prendre différentes formes en fonction des domaines. Par exemple, un fait d'une table de multiplication peut être représenté comme une classe avec trois entiers x (opérande), y (opérande) et res (résultat). En revanche, une date historique serait plutôt représentée par une classe avec une chaîne de caractère (événement) et une date ou période (entiers). En conséquence, *AbstractFact* doit être définie pour présenter la structure des faits à travailler. Les paramètres des niveaux sont entièrement dépendants du domaine visé. Par exemple, la manière de construire les tables (opérande \times table ou table \times opérande) ne dépendant que du domaine des mathématiques. C'est également le cas des tâches. Dans une tâche visant à compléter un fait avec un élément manquant (e.g., retrouver la date historique, ou le résultat d'une multiplication), l'élément à trouver dépend du domaine (e.g., résultat, opérande ou table pour les multiplications, ou bien événement ou date pour l'histoire). Pour la dimension éducative, seules ces trois classes sont à étendre. Une fois l'extension conçue, une instanciation (modèle) de chaque méta-modèle, sauf celui des activités qui est instancié par le générateur, doit être créé. Dans le cas du modèle d'apprenant, le seul besoin consiste à associer chaque apprenant au bon parcours d'entraînement, la progression sera instanciée et évoluera en même temps que la progression de l'apprenant dans le jeu (i.e., par un composant du jeu gérant les profils, non présenté dans cet article).

Algorithme de Génération. La génération s'effectue en plusieurs étapes incrémentales (similaire à [23,16]). Tout d'abord, cela consiste à sélectionner un couple objectif/niveau parmi ceux éligibles. Ensuite, la structure du donjon (i.e., agencement des salles, association des salles avec les tâches) est générée en fonction des tâches à réaliser et paramétrée par l'objectif/niveau sélectionné, incluant leur pourcentage d'apparition exigée, et en fonction du nombre de salles avec question à générer. Cette génération repose sur un algorithme de *backtrack* inspiré du principe de *Grid-Based Dungeon Generator* (i.e., l'espace est divisé en cellules dans lesquelles des salles peuvent être placées). Cependant, notre approche diffère puisque nous gérons deux types de salles (*petite* = 1 cellules et *grande* = 4 cellules), créant un besoin de gestion des chevauchements de salles. Une troisième étape consiste à générer le contenu des salles en termes d'éléments de jeu (e.g., *gameplays*, objets de jeu et règles d'interaction) définis par les *gameplays*, eux-mêmes en relation avec les types de tâches associés. Les valeurs des éléments de jeu (e.g., textes à afficher, propositions portées par les objets) sont définies afin de permettre le questionnement d'un fait spécifique. La génération est donc dépendante des extensions réalisées avec le framework. Cette troisième étape très opérationnelle n'est pas présentée et évaluée dans l'article.

4 Évaluation

L'évaluation du *framework* ne repose dans cet article que sur la dimension éducative et se découpe en trois étapes : 1) l'évaluation de la prise en compte du

point de vue de l'enseignant ($H3$ et, par preuve de concept, partiellement $H1$ et $H2$), 2) l'évaluation de l'adaptation des activités au profil de l'apprenant ($H4$), 3) l'évaluation de la variété du contenu éducatif dans les donjons ($H6$ en partie). Étant liée aux préférences de jeu, l'hypothèse $H5$ n'est pas abordée.

4.1 Prise en compte du point de vue enseignant

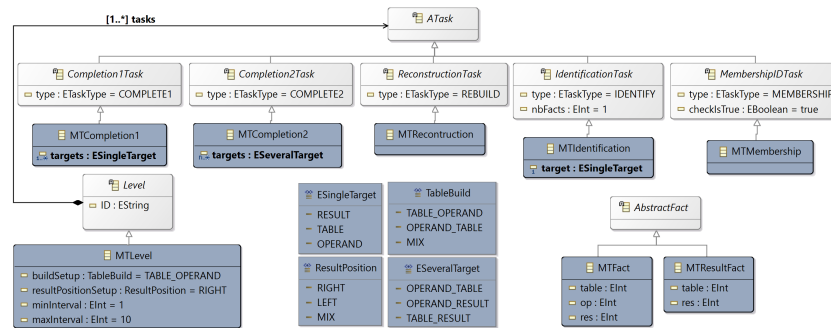


Fig. 3: Extension des Méta-modèles du Framework aux tables de multiplication

Cette évaluation s'effectue par preuve de concept en a) étendant le *framework* à un domaine spécifique (i.e., les tables de multiplication) et en b) modélisant les différentes informations (i.e., type de tâches, parcours d'entraînement, etc.). Dans ce but, nous avons travaillé avec un groupe d'utilisateurs (enseignants des cycles 2 et 3) pour définir des tâches, types de tâches et les différents faits concernant les tables de multiplication. Cinq types de tâches ont été identifiés : **Complétion 1**, i.e., compléter un fait incomplet ayant un élément manquant (e.g., $3 \times ? = 15$, $15 = ? \times 5$) ; **Complétion 2**, i.e., compléter un fait incomplet ayant deux éléments manquants (e.g., $3 \times ? = ?$ avec un ensemble de choix donnés [3, 6, 5, 15]) ; **Reconstruction**, i.e., replacer, dans l'ordre correct, tous les éléments importants d'un fait (e.g., $? \times ? = ?$ avec un ensemble de choix donnés [3, 6, 5, 10, 15]) ; **Identification**, i.e., identifier l'exactitude ou l'inexactitude d'un ou de plusieurs faits (e.g., $3 \times 5 = 15$, vrai ou faux ?) ; **Identification d'Appartenance**, i.e., identifier les éléments qui partagent ou non une propriété donnée (e.g., [3, 5, 9, 14, 21] qui sont des résultats de la table 3 ?). Également, deux types de faits ont été identifiés : les faits classiques (i.e., trois entiers formant une multiplication) et les faits d'appartenance (i.e., deux entiers : une table et un résultat de cette table). Des paramètres spécifiques aux tables, comme l'élément cible/manquant recherché, ont été décrits. Ceci a permis d'aboutir à l'extension présentée sur la Figure 3.

Actuellement, 2 parcours d'entraînement ont été modélisés correspondant à deux enseignantes et pour deux niveaux scolaires (CE1 et CE2). Les deux

enseignantes prévoient de construire trois parcours d'entraînement correspondant à trois niveaux (i.e., approximativement faible, moyen, bon). Les parcours actuellement modélisés représentent les deux groupes de niveau "moyen". Par preuve de concept, cette modélisation permet de valider *H2* et en partie *H3*.

4.2 Adaptation à l'apprenant

L'évaluation de l'adaptation aux apprenants consiste à vérifier que les activités générées sont conformes aux prédictions déductibles d'une analyse du parcours d'entraînement associé à l'apprenant. Ceci est réalisé sous la forme de tests automatisés (JUnit). La conformité de l'activité repose sur deux points : a) la sélection du couple objectif/niveau à travailler, b) les tâches présentes en fonction du niveau sélectionné, de la progression de l'apprenant et du pourcentage d'apparition souhaité (e.g., 20% de salle travaillant T1, T1 étant une tâche du couple sélectionné, un donjon de taille 10 doit présenter 2 salles avec T1).

Dans un premier temps, nous avons créé deux profils d'apprenants (un par parcours d'entraînement). Le premier avait 4 objectifs éligibles et 2 non éligibles. Le second avait 2 objectifs éligibles pour 9 non éligibles. Pour chacun, un test unitaire a été rédigé vérifiant que sur 30 générations, tous les couples objectif/niveau éligibles étaient sélectionnés au moins une fois, mais également qu'aucun des couples objectif/niveau non éligibles n'étaient sélectionnés. Dans un second temps, pour avoir un meilleur contrôle sur les données, un parcours d'entraînement fictif à un objectif, un niveau et 6 tâches (i.e., deux tâches de type Complétion 1, mais différents paramètres) a été modélisé. Les tâches n'ont pas toutes le même pourcentage d'apparition (20%, 10%, 15%, 20%, 20%, 15% respectivement). Quatre situations critiques (i.e., cas limites) ont été vérifiées : 1) l'apprenant n'a pas commencé l'entraînement, toutes les tâches ont un taux de succès et de faits rencontrés à 0% (i.e., toutes les tâches apparaissent proportionnellement à leur pourcentage d'apparition dans le donjon) ; 2) toutes les tâches ont été démarrées, mais aucune n'est terminée (i.e., les deux pourcentages sont supérieurs à 0, toutes les tâches apparaissent proportionnellement à leur pourcentage d'apparition dans le donjon) ; 3) une seule tâche a été terminée (i.e., les deux pourcentages de cette tâche sont à 100% et la tâche n'apparaît plus dans le donjon) ; 4) toutes les tâches sauf une ont été terminées (i.e., seule la tâche non terminée apparaît dans le donjon). Dans le cas de la disparition d'une tâche, l'algorithme répartit son pourcentage d'apparition proportionnellement aux pourcentages d'apparition des tâches restantes (i.e., soit T1[50%], T2[20%], T3[20%], T4[10%] où T1 est achevée, alors les pourcentages deviennent T2[40%], T3[40%], T4[20%]). Les choix des couples objectif/niveau étant cohérents pour chaque profil d'apprenant, l'hypothèse *H4* est vérifiée. De plus, la bonne répartition des tâches dans les donjons vient compléter la validation de *H3*.

4.3 Variété des activités

La variété des donjons dépend à la fois du contenu éducatif et du contenu de jeu. Cet article ne s'intéresse qu'à la variété du point de vue éducatif (i.e., à

l'exception de la forme, agencement des salles, du donjon). L'évaluation sur la dimension éducative repose principalement sur la répartition des tâches dans le donjon et des faits travaillés (i.e., cette seconde partie n'est pas abordée). Grâce au projet AdapTABLES, nous disposons actuellement d'un *game player* (prototype) des activités générées. Ce *player* permet de visualiser les donjons sans avoir à les parcourir (i.e., carte visuelle où chaque salle est colorée en fonction de la tâche associée). En conséquence, l'évaluation proposée consiste à générer puis comparer visuellement 5 donjons pour chaque profil créé précédemment (i.e., les 4 profils fictifs et les 2 profils fondés sur les parcours des enseignantes). Tous les donjons générés pour un même profil se sont bien avérés différents, impliquant ainsi la validation partielle de *H6* (i.e., dimension éducative).

5 Conclusion & Perspectives

Cet article présente un *framework* de conception de générateur d'activités variées et adaptées pour l'entraînement à des connaissances déclaratives. Le *framework* a pour cible des activités pour des jeux de type *Roguelite*. L'adaptation prendra en compte à terme les dimensions éducatives et ludiques. L'objet de cet article est de présenter et d'évaluer dans un premier temps ce *framework* selon le point de vue éducatif de l'adaptation. Cette évaluation a été présentée dans le contexte de l'entraînement aux tables de multiplication et a porté sur les deux premiers niveaux de la génération (objectif et structuration).

L'élaboration du *framework* se poursuit actuellement. Le troisième niveau de génération (caractéristiques des salles) est en cours de finalisation. Il implique de prendre en compte 1) une extension spécifique au domaine visé pour générer des faits *questionnables* en fonction des tâches spécifiques paramétrées, et 2) la mise en œuvre des tâches en différents *gameplays* de réalisation. Ces *gameplays* feront alors l'objet principal des préférences ludiques pour l'apprenant-joueur. À l'avenir, nous souhaitons également appliquer ce *framework* à un second domaine (i.e., repères d'histoire géographique du DNB).

References

1. Amory, A.: Game object model version II: a theoretical framework for educational game development. *Education Tech Research Dev* **55**(1), 51–77 (Jan 2007)
2. Bontchev, B.P., Terzieva, V., Paunova-Hubenova, E.: Personalization of serious games for learning. *ITSE* **18**(1), 50–68 (May 2021)
3. Brame, C.J., Biel, R.: Test-Enhanced Learning: The Potential for Testing to Promote Greater Learning in Undergraduate Science Courses. *LSE* **14**(2) (Jun 2015)
4. Callies, S.: Architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques de jeux sérieux éducatifs. Ph.D. thesis, Université du Québec à Montréal (2016)
5. Carpentier, K., Lourdeaux, D.: Generation of Learning Situations According to the Learner's Profile Within a Virtual Environment. In: *Agents and Artificial Intelligence*, vol. 449, pp. 245–260. Berlin, Heidelberg (2014)
6. Carron, T., Marty, J.C.: Améliorer la motivation dans les environnements d'apprentissage basés sur le jeu. *Revue d'IA* **25**(2), 223–251 (2011)

7. Carvalho, M.B., Bellotti, F., Berta, R., De Gloria, A., Sedano, C.I., Hauge, J.B., Hu, J., Rauterberg, M.: An activity theory-based model for serious games analysis and conceptual design. *Computers & Education* **87**, 166–181 (Sep 2015)
8. Codish, D., Ravid, G.: Adaptive Approach for Gamification Optimization. *Proceedings - UCC 2014* pp. 609–610 (Jan 2015). <https://doi.org/10.1109/UCC.2014.94>
9. Dias, T.: Enseigner les mathématiques à l'école. Magnard, Paris, France (2018)
10. Diwan, C., Srinivasa, S., Ram, P.: Automatic Generation of Coherent Learning Pathways for Open Educational Resources. In: *Transforming Learning with Meaningful Technologies*, vol. 11722, pp. 321–334. Springer IP, Cham (2019)
11. Dormans, J., Bakkes, S.: Generating Missions and Spaces for Adaptable Play Experiences. *IEEE Trans. Comput. Intell. AI Games* **3**(3), 216–228 (Sep 2011)
12. Grant, P., Basye, D.: *Personalized Learning: A Guide for Engaging Students with Technology*. International Society for Technology in Education (2014)
13. Junior, R., Silva, F.: Redefining the MDA Framework—The Pursuit of a Game Design Ontology. *Information* **12**(10), 395 (Sep 2021)
14. Kent, S.: Model Driven Engineering. In: *Integrated Formal Methods*. pp. 286–298. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2002)
15. Kim, J.W., Ritter, F.E., Koubek, R.J.: An integrated theory for improved skill acquisition and retention in the three stages of learning. *Theoretical Issues in Ergonomics Science* **14**(1), 22–37 (Jan 2013)
16. Laforcade, P., Laghouaouta, Y.: Generation of Adapted Learning Game Scenarios: A Model-Driven Engineering Approach. In: *CSEDU 2018, Funchal, Madeira, Portugal, Revised Selected Papers. CCIS*, vol. 1022, pp. 95–116. Springer (2018)
17. Laforcade, P., Mottier, E., Jolivet, S., Lemoine, B.: Expressing adaptations to take into account in generator-based exercisers: An exploratory study about multiplication facts. In: *CSEDU 2022. Online Streaming, France* (Apr 2022)
18. Marne, B., Carron, T., Labat, J.M., Marfisi-Schottman, I.: MoPPLiq: A Model for Pedagogical Adaptation of Serious Game Scenarios. In: *ICALT 2013, Beijing, China, July 15-18, 2013*. pp. 291–293. IEEE Computer Society (2013)
19. Monterrat, B., Yessad, A., Bouchet, F., Lavoué, E., Luengo, V.: MAGAM: A Multi-Aspect Generic Adaptation Model for Learning Environments. In: *Data Driven Approaches in Digital Education*, vol. 10474, pp. 139–152. Springer IP, Cham (2017)
20. Natkin, S., Yan, C., Jumpertz, S., Marquet, B.: Creating Multiplayer Ubiquitous Games using an adaptive narration model based on a user's model. In: *DiGRA 2007, Tokyo, Japan, September 24-28*. Digital Games Research Association (2007)
21. Plass, J.L., Pawar, S.: Toward a taxonomy of adaptivity for learning. *Journal of Research on Technology in Education* **52**(3), 275–300 (Jul 2020)
22. Prensky, M.: *Computer Games and Learning: Digital Game-Based Learning*. Handbook of Computer Game Studies (2005)
23. Sehaba, K., Hussaan, A.M.: GOALS: generator of adaptive learning scenarios. *Int. J. Learn. Technol.* **8**(3), 224–245 (2013)
24. Streicher, A., Smeddinck, J.D.: Personalized and Adaptive Serious Games. In: *Entertainment Computing and Serious Games*, vol. 9970, pp. 332–377. Cham (2016)
25. Tchounikine, P.: *Précis de recherche en Ingénierie des EIAH* (Jun 2009)
26. 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 (Jan 2011)