



**HAL**  
open science

# Adaptation de serious games selon la stratégie choisie par l'enseignant : approche fondée sur la Competence-based Knowledge Space Theory

Naïma El-Kechaï, Javier Melero, Jean-Marc Labat

## ► To cite this version:

Naïma El-Kechaï, Javier Melero, Jean-Marc Labat. Adaptation de serious games selon la stratégie choisie par l'enseignant : approche fondée sur la Competence-based Knowledge Space Theory. 7ème Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH 2015), Jun 2015, Agadir, Maroc. pp.294-305. hal-01405958

**HAL Id: hal-01405958**

**<https://hal.science/hal-01405958v1>**

Submitted on 30 Nov 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Adaptation de serious games selon la stratégie choisie par l'enseignant : approche fondée sur la Competence-based Knowledge Space Theory

Naïma El-Kechaï, Javier Melero, Jean-Marc Labat<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LIP6, Université Pierre et Marie Curie, UMR 7606, 4 place Jussieu, 75005 Paris, France  
{naima.el-kechai, javier.melero-gallardo, jean-marc.labat}@lip6.fr

**Résumé.** Adapter un Serious Game (SG) à la progression de l'apprenant joue un rôle important dans son apprentissage. L'hétérogénéité des apprenants et des situations fait qu'il est possible que l'enseignant veuille déployer des stratégies d'apprentissage différencié qui répondent à ses propres objectifs. Par conséquent, outre l'adaptation découlant de l'état courant (supposé) des compétences de l'apprenant, nous proposons de considérer aussi les décisions des enseignants comme un paramètre déterminant pour l'adaptation du SG. Dans le cadre du projet Play Serious et dans cette optique, nous recensons les besoins exprimés par plusieurs formateurs, nous les traduisons en stratégies d'adaptation et nous les mettons en œuvre en nous appuyant sur la *Competence-based Knowledge Space Theory*.

**Mots-clés.** Serious Games, Adaptation des EIAH, Competence-based Knowledge Space Theory, Modélisation des compétences, Modèle de l'apprenant.

**Abstract.** Adapting serious games plays an important role to support learner's progress and enhance learning. The differences among learners and the variability of learning situations may drive teachers to use different approaches that match their own needs. Therefore, in addition to considering the (supposed) current state of learners' competences, we propose to also considering the decisions of teachers as a key parameter for adapting the learning paths in serious games. To this end and as part of the FUI-funded Play Serious project, several teachers' requirements are identified. This paper presents an ongoing work around different adaptation strategies, based on the identified requirements. These strategies are implemented using the *Competence-based Knowledge Space Theory*.

**Keywords.** Serious Games, Adaptation of TEL, Competence-based Knowledge Space Theory, competence modeling, learner model.

## 1 Introduction

Dans les environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH) l'adaptation est considérée comme une question clé tant des disparités existent entre les apprenants en termes de connaissances, compétences, préférences, motivation, etc. Pour ce faire, il est nécessaire de réaliser le suivi de l'apprenant : collecter les informations le concernant et les analyser ; construire et mettre à jour son modèle. En fonction de ce dernier et selon l'objectif recherché, l'adaptation consiste alors à proposer à l'apprenant des activités qui correspondent à l'état actuel de ses connaissances, compétences ou préférences [1].

Dans le domaine des Serious Games (SG), l'adaptation est basée sur des règles qui consistent à suggérer des activités (niveaux, étude de cas, etc.) avec suffisamment de challenge sans pour autant frustrer l'apprenant par la complexité de la tâche à réaliser [2]. L'idée est de le garder dans le flow [3], c'est-à-dire complètement immergé dans l'expérience de jeu à travers le maintien d'un juste équilibre entre le plaisir de jouer et le challenge constitué par l'acquisition de connaissances et compétences.

Une des approches permettant de réaliser l'adaptation dans des environnements d'apprentissage et des SG est fondée sur la *Competence-based Knowledge Space Theory (CbKST)* [4–8]. Cette approche permet une évaluation non invasive des compétences de l'apprenant sans interrompre le flux dans le jeu [6]. Ces travaux se concentrent essentiellement sur l'amélioration des compétences de l'apprenant en considérant le niveau courant (supposé) de ce dernier. Autrement dit, la croyance du système sur le niveau de compétences de l'apprenant constitue le paramètre principal dans les règles d'adaptation.

Dans le travail que nous menons, l'adaptation est dictée également par le choix des enseignants de déployer des stratégies d'apprentissage qui répondent à leurs propres besoins. Les disparités entre apprenants, la diversité des supports d'interaction, la variabilité des situations d'apprentissage, la variété des styles d'enseignement, peuvent expliquer cela [1, 9–11].

Par conséquent, outre l'adaptation découlant de l'état courant des compétences de l'apprenant, nous proposons d'enrichir cette adaptation en considérant aussi les décisions des enseignants comme un paramètre déterminant. Et nous montrons comment nous mettons en œuvre ces décisions en fondant notre approche sur *CbKST*.

Dans la section suivante, nous présentons le contexte de ce travail et nous revenons sur des besoins exprimés par des formateurs<sup>1</sup>. Dans la section 3, nous décrivons les principaux concepts de *CbKST*. Dans la section 4, nous présentons notre approche fondée sur cette théorie et nous détaillons la mise en œuvre des stratégies d'adaptation correspondant aux besoins. Dans la section 5, nous présentons une évaluation de notre approche. Nous terminons enfin par une discussion en indiquant les travaux en cours et les orientations futures de notre travail.

---

<sup>1</sup> Nous utilisons le terme 'formateur' quand le contexte s'y prête mais nous revenons au terme 'enseignant' pour garder le caractère général de l'approche.

## 2 Des besoins d'adaptation exprimés par des formateurs

Nos travaux s'inscrivent dans le cadre du projet FUI (fonds unique interministériel) Play Serious ([www.playserious.fr/](http://www.playserious.fr/)). Le projet cible la formation professionnelle pour adultes dans une perspective de développement des compétences, notamment en entreprise. Il a pour finalité de développer une solution logicielle pour la production et l'exécution de SG.

Dans ce projet, les entreprises partenaires qui sont éditrices de SG ainsi que leurs clients souhaitent disposer de SG dans lesquels les activités sont relativement indépendantes. Leur but est de pouvoir les assembler différemment selon leurs besoins. Une activité constitue l'unité de base qui peut représenter soit un exercice interactif qui cible une compétence à la fois (ex. quizz), ou un niveau dans un SG plus conséquent. Chaque niveau travaille une ou plusieurs compétences. Mais les niveaux peuvent se combiner de diverses façons. Ces activités sont associées aux compétences qu'elles permettent de travailler qui peuvent être pédagogiques ou ludiques.

Dans ce projet, les formateurs veulent déployer des stratégies pédagogiques qui répondent à des besoins spécifiques. Et de ce fait, ils souhaitent que ces stratégies puissent être considérées comme un paramètre important pour l'adaptation des SG. Pour les identifier, nous avons mené un travail conjointement avec les experts pédagogiques des entreprises partenaires et les formateurs de leurs clients. De ce travail, nous avons identifié au moins trois stratégies différentes que nous avons traduites en stratégies d'adaptation.

**S1.** La première correspond à la configuration d'autoformation. Les activités doivent être réalisées par l'apprenant de manière autonome mais dans un temps imparti. L'idée est que les apprenants puissent progresser à leur propre rythme avec un impératif, travailler l'ensemble des compétences sur le temps total de la formation. C'est le cas notamment pour les entreprises qui ne mobilisent des formateurs que vers la fin de la formation pour faire des séances de débriefing. Nous définissons la stratégie "**Progression**" qui consiste à maximiser le nombre de compétences travaillées par l'apprenant tout en le laissant avancer à son propre rythme.

**S2.** La deuxième stratégie correspond à la configuration des formations qui sont découpées en étapes. Les formateurs voudraient spécifier le sous-ensemble de compétences à travailler pour chaque étape donnée du cycle de formation. Ils voudraient également avoir la possibilité de choisir parmi celles-ci, celles qui doivent être impérativement acquises pour aborder l'étape suivante, donc qui doivent être maîtrisées à minima. Par exemple, les compétences "*collecter des informations sur le client*", "*découvrir les besoins du client*" et "*déchiffrer les motivations d'achat du client*" sont requises pour l'étape consacrée au montage de propositions commerciales. Nous définissons la stratégie "**Renforcement**" qui consiste à amener l'apprenant à atteindre le seuil minimum requis dans les compétences qui sont spécifiées par l'enseignant.

**S3.** La troisième stratégie correspond à la volonté des formateurs ou de l'entreprise de repérer des apprenants avec un profil intéressant. Plus précisément, les formateurs souhaiteraient identifier des apprenants qui ont un bon niveau sur une ou plusieurs compétences donnée(s). Le but recherché par ces formateurs est d'amener ces apprenants à atteindre un niveau très haut dans lesdites compétences pour qu'ils deviennent très vite opérationnels au sein de l'entreprise. Par exemple, pour

l'entreprise qui forme ses commerciaux aux techniques de vente, le formateur souhaiterait repérer des commerciaux qui ont un bon niveau dans les compétences "traiter les objections d'un client", "argumenter les différentes solutions possibles pour répondre aux besoins et motivations du client" ou "gérer un client difficile". L'idée est de faire de ces commerciaux des managers d'équipes commerciales. Nous définissons la stratégie "**Approfondissement**" qui consiste à amener l'apprenant à devenir expert dans les compétences sur lesquelles il a déjà atteint un bon niveau de maîtrise, défini par un seuil.

Afin de mettre en œuvre ces stratégies, nous combinons deux paramètres pour établir les règles d'adaptation : le niveau actuel des compétences de l'apprenant et le besoin de l'enseignant. Nous montrons comment cette combinaison est mise en œuvre en utilisant la *Competence-based Knowledge Theory*.

### 3 La Competence-based Knowledge Space Theory (CbKST)

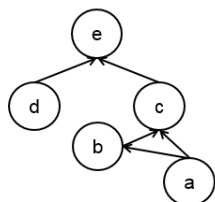
Nous considérons les SG qui nous intéressent dans le projet comme des environnements de *curriculum sequencing* [12]. En effet, ces environnements visent généralement à faire une évaluation d'un large éventail de compétences de granularité relativement grande. Les items/topics/activités objets de l'apprentissage sont représentés sous forme de graphes avec des relations. Le *curriculum sequencing* consiste alors à définir des parcours d'apprentissage dans cet espace d'items selon des objectifs pédagogiques et selon le niveau de l'apprenant. Parmi les travaux représentatifs du *curriculum sequencing*, nous pouvons citer les hypermédias adaptatifs [13] ou encore ALEKS ([www.aleks.com](http://www.aleks.com)), un environnement commercialisé, résultat de plusieurs années de recherche à l'université de Californie à Irvine [14]. Le concept de *curriculum sequencing* et les travaux sur ALEKS se fondent sur la *Knowledge Space Theory (KST)* [14, 15]. Nous nous sommes intéressés à cette théorie et à son extension orientée compétences, la *Competence-based Knowledge Space Theory (CbKST)* [4][5].

*CbKST* permet de structurer un domaine de compétences en utilisant trois concepts clés : la **relation de précédence**, le **competence state**, et le **competence structure**.

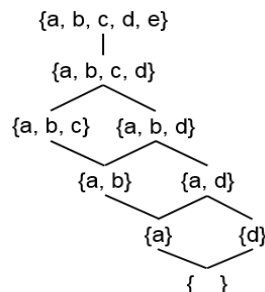
Une **relation de précédence** ' $a \leq b$ ' indique que la compétence 'a' est un prérequis pour acquérir la compétence 'b'. Inversement, si l'apprenant maîtrise la compétence 'b', cela suppose qu'il maîtrise également la compétence 'a'. Ces relations de précédence peuvent être représentées par un diagramme de Hasse comme illustré par la figure 1.

Considérant les relations de précédence qui existent entre les différentes compétences, les **competence state (cs)** sont dérivés. Ils représentent différentes combinaisons possibles et admissibles de compétences simples. Toutes les combinaisons ne sont pas admissibles. Par exemple, compte tenu de la *relation de précédence* qui existe entre les compétences de la figure 1, {a, c} ne peut pas être considéré comme un *cs* admissible car pour travailler la compétence 'c', il est nécessaire de travailler préalablement la compétence 'b'.

La **competence structure** représente l'ensemble des *cs* admissibles en tenant compte de la *relation de précédence* dans un domaine donné. Par exemple, la figure 2 représente la *competence structure* déduite du domaine illustré par la figure 1.



**Fig. 1.** Exemple de diagramme de Hasse illustrant les relations de précédence entre compétences d'un domaine donné.



**Fig. 2.** La *compétence structure* dérivée du diagramme de la figure 1.

## 4 Mise en œuvre de notre approche orientée *CbKST*

Dans le but de mettre en œuvre les différentes stratégies décrites plus haut, nous proposons un module de décision basé sur un modèle d'adaptation proposé par [6]. De manière analogue, nous prenons comme paramètre d'entrée les compétences actuelles de l'apprenant. Dans notre approche, nous considérons aussi les décisions de l'enseignant comme paramètre d'entrée. Par ailleurs, comme déjà indiqué dans la section 2, les activités travaillent deux types de compétences : pédagogiques et ludiques. L'architecture logique du module de décision est représentée sur la figure 3.

### 4.1 Architecture fonctionnelle du module de décision

Afin d'adapter le parcours d'apprentissage de l'apprenant dans le SG, le module de décision prend en entrée les éléments suivants :

**1-Le modèle du domaine** ciblé par le SG qui comprend les **compétences pédagogiques** ainsi que les liens de précédence qui existent entre elles.

**2-Les compétences ludiques.**

Le modèle de domaine et les compétences ludiques ne changent pas au cours du jeu.

**3-La liste des activités (niveaux).** Dans le SG, chaque activité est indexée par les compétences qu'elle permet de travailler (pédagogiques ou ludiques).

**4-Un modèle de l'apprenant.** Ce modèle comprend l'ensemble des compétences que l'on cherche à faire acquérir à l'apprenant dans le SG, avec pour chaque compétence une valeur indiquant la croyance du système sur le degré de maîtrise de ladite compétence. Ce modèle stocke également l'historique de l'apprenant dont des informations sur les activités qu'il a réalisées. Ces informations serviront notamment pour le choix des activités à proposer (par exemple, pour ne pas proposer des activités déjà réalisées). Au début du jeu, les croyances sont initialisées avec des valeurs a priori. Ces croyances ainsi que l'historique de l'apprenant changent au cours du jeu. Ils sont mis à jour à la fin de chaque activité. Nous précisons que les croyances ainsi que l'historique sont calculés et mis à jour par un autre module qui se charge du diagnostic de l'activité de l'apprenant.

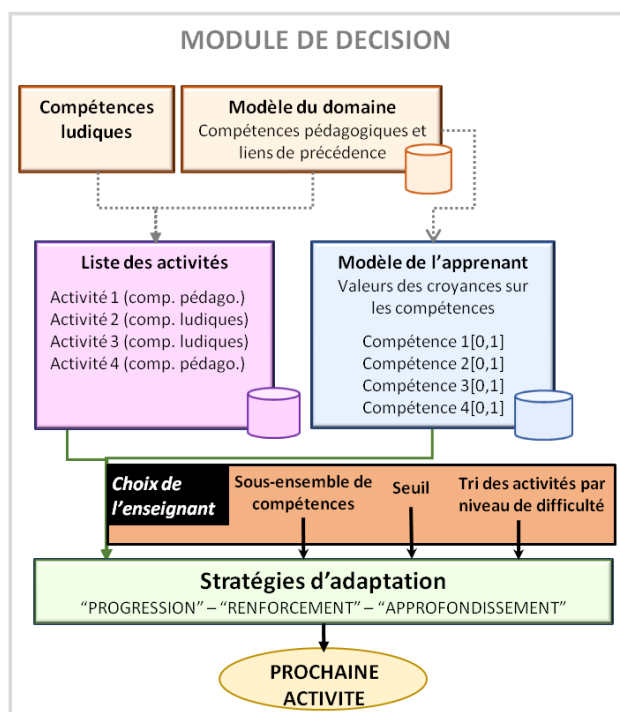


Fig. 3. Architecture fonctionnelle du module de décision.

5-**Les stratégies d'adaptation** que l'enseignant peut choisir. (a) **Progression** : propose des activités qui travaillent l'ensemble des compétences d'un des *cs* successeurs du *cs* courant (niveau supérieur dans la *competence structure*). Autrement dit, les activités sont choisies de manière à ce que l'apprenant acquière une compétence supplémentaire par rapport à celles qu'il a déjà travaillées. (b) **Renforcement** : propose des activités qui travaillent un sous-ensemble de compétences choisies par l'enseignant. Ce choix peut être assorti d'un seuil précisé par l'enseignant et qui correspond au niveau minimum requis pour passer à l'étape suivante. Par conséquent, les apprenants dont le niveau sur les compétences concernées est en dessous du seuil indiqué, se verront proposer des activités qui travaillent ces compétences. Le but est d'amener l'apprenant à renforcer les compétences dans lesquelles il a un niveau faible mais qui sont incluses dans son *cs* courant. (c) **Approfondissement** : de manière analogue, cette stratégie propose des activités qui travaillent un sous-ensemble de compétences choisies par l'enseignant. Ce choix peut être assorti d'un seuil qui correspond à un niveau minimum requis pour tenter de devenir expert dans lesdites compétences. Le but est d'amener l'apprenant à exceller dans les compétences pour lesquelles il a un bon niveau au préalable.

Il y a une analogie dans la mise en œuvre des deux stratégies *Renforcement* et *Approfondissement*. Cependant, la finalité recherchée n'est pas la même.

## 4.2 Algorithmes des stratégies d'adaptation

La stratégie "**Progression**" consiste à maximiser le nombre de compétences à travailler (S1). Cette stratégie prend en entrée le *cs* courant de l'apprenant (figure 4.1). Afin de proposer une activité, elle identifie le ou les *cs* suivant(s) (figure 4.2). Le choix de l'activité se fait comme suit :

-D'abord, chercher dans la *compétence structure* les *cs successeurs* qui suivent directement le *cs* courant, c'est-à-dire chercher les *cs* qui contiennent exactement les mêmes éléments que le *cs* courant avec un seul élément supplémentaire. Dans *CbKST*, ces éléments supplémentaires sont appelés des *outer fringe* du *cs* courant.

-Ensuite, pour chaque *cs successeur*, chercher les activités qui permettent de travailler l'ensemble des compétences qui se trouvent dans le *cs* considéré et qui n'ont pas été déjà réalisées par l'apprenant (voir la figure 4.3).

-S'il n'y a pas d'activité correspondante au *cs* considéré (il n'existe aucune activité qui permet de travailler l'ensemble des compétences du *cs* considéré) alors traiter le *cs* suivant dans la liste.

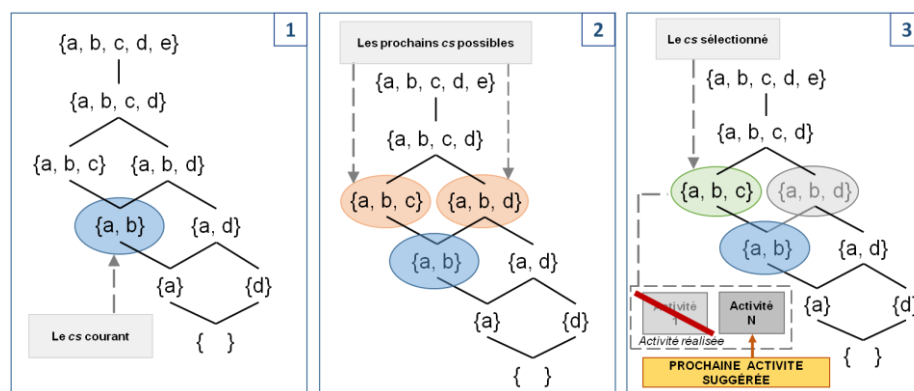


Fig. 4. Représentation graphique de la stratégie de "Progression".

-S'il y'a plusieurs activités qui correspondent au *cs* considéré alors en sélectionner une en fonction notamment du niveau de difficulté (si cette option est choisie par l'enseignant). S'il y a une activité travaillant à la fois les compétences pédagogiques et ludiques, alors proposer d'abord une activité permettant de travailler les compétences ludiques en question (si l'apprenant ne l'a pas déjà travaillée).

-Si aucune activité ne correspond aux *cs* possibles, alors rechercher les *cs* de niveau supérieur (qui contiennent 2 nouvelles compétences par rapport au *cs* courant). Cette stratégie se termine lorsque le dernier *cs* est atteint (l'ensemble contenant toutes les compétences, c'est-à-dire celui qui est au sommet de la *compétence structure*).

**Les stratégies "Renforcement" et "Approfondissement"** consistent à proposer à l'apprenant des activités qui lui permettent de renforcer certaines compétences (S2); ou de devenir expert dans d'autres (S3). D'un point de vue algorithmique, ces deux stratégies sont similaires. Mais elles répondent bien à une logique et besoin différents de l'enseignant. L'algorithme permettant de réifier ces stratégies se décline ainsi. Deux éléments sont considérés : le *cs* courant de l'apprenant et tous les *cs prédécesseurs*, c'est-à-dire qui sont en dessous dans la *compétence structure* (voir



figure 5.1). L'algorithme prend en entrée deux données renseignées par l'enseignant : le sous-ensemble de compétences à travailler et le seuil qui correspond au niveau à atteindre pour la stratégie "Renforcement" ou le niveau minimum à avoir pour la stratégie "Approfondissement". Puis, à partir du sous-ensemble renseigné par l'enseignant, il s'agit de déduire le sous-ensemble de compétences dont la croyance est en dessous (dans la stratégie "Renforcement") ou au dessus (dans la stratégie "Approfondissement") du seuil donné par l'enseignant (voir la figure 5.2).

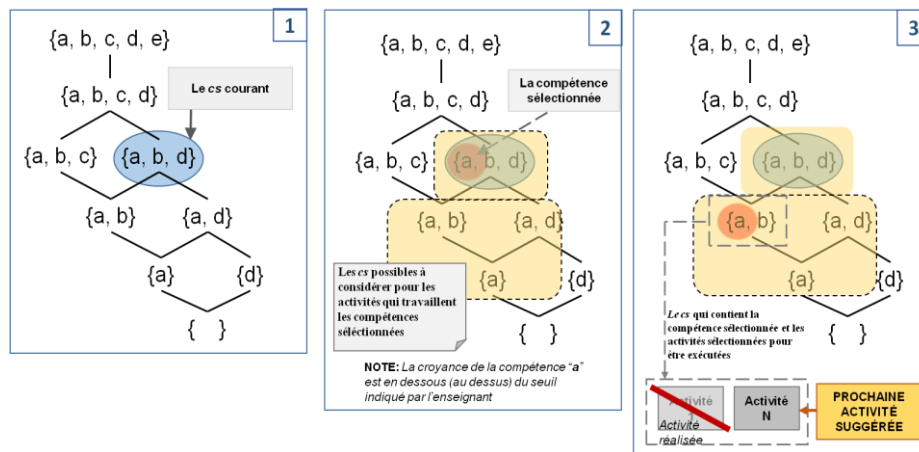


Fig. 5. Représentation graphique des stratégies "Renforcement" et "Approfondissement".

De ce sous-ensemble sélectionné, l'algorithme se déroule ainsi. Pour chaque compétence appartenant à ce sous-ensemble :

- considérer tous les *cs* qui contiennent cette compétence à travailler. Et ceci, en partant de l'état initial jusqu'au *cs* courant dans lequel se trouve l'apprenant (du plus bas niveau de la *compétence structure* jusqu'au *cs* courant, voir figure 5.2).

- Ensuite, pour chacun de ces *cs*, rechercher les activités qui n'ont pas encore été travaillées par l'apprenant (voir la figure 5.3).

- De même que pour la stratégie "Progression", s'il y a plusieurs activités qui correspondent au *cs* considéré alors en sélectionner une en fonction notamment du niveau de difficulté (si cette option est choisie par l'enseignant). S'il y a une activité travaillant à la fois les compétences pédagogiques et ludiques, alors proposer d'abord une activité permettant de travailler les compétences ludiques en question (si l'apprenant ne l'a pas déjà travaillée).

- Cependant, si le *cs* courant de l'apprenant est atteint sans qu'aucune activité n'ait été trouvée pour la compétence sélectionnée, alors réitérer le processus pour une autre compétence du sous-ensemble considéré au départ. La stratégie se termine lorsque le seuil est atteint dans la stratégie "Renforcement". Elle se termine lorsque la croyance a atteint le niveau maximum, c'est-à-dire 1 ou lorsque toutes les activités correspondant au sous-ensemble de compétences donné par l'enseignant ont été réalisées dans la stratégie "Approfondissement".

## 5 Mise à l'épreuve de notre approche : résultats préliminaires

Nous avons évalué ces algorithmes sur un prototype de SG conçu et développé pour tester les différents outils proposés dans le projet, *Les Cristaux d'Éhère* ([seriousgames.lip6.fr/Cristaux\\_Ehere](http://seriousgames.lip6.fr/Cristaux_Ehere)). Ce SG est destiné à des élèves de collège pour apprendre la physique des changements d'état de l'eau. Il est composé de 11 activités (niveaux). Dans chaque niveau, l'objectif de l'apprenant est de résoudre une énigme en mettant en jeu les compétences liées aux changements d'état de l'eau. Par exemple, dans "Mur de glace", l'apprenant devra franchir un mur de glace pour sortir. Pour cela, il doit allumer une chaudière et activer suffisamment de leviers pour augmenter la température jusqu'à atteindre la température de fusion ( $0^\circ$ ) qui va faire fondre le mur de glace.

Le modèle du domaine associé à ce SG a été construit par un enseignant du secondaire, expert du domaine (figure 6). Par ailleurs, cet expert a également indexé les différentes activités du SG par les compétences qu'elles permettent de travailler. Le tableau 1 représente un extrait de la matrice d'indexation, appelée Q-matrice [16].

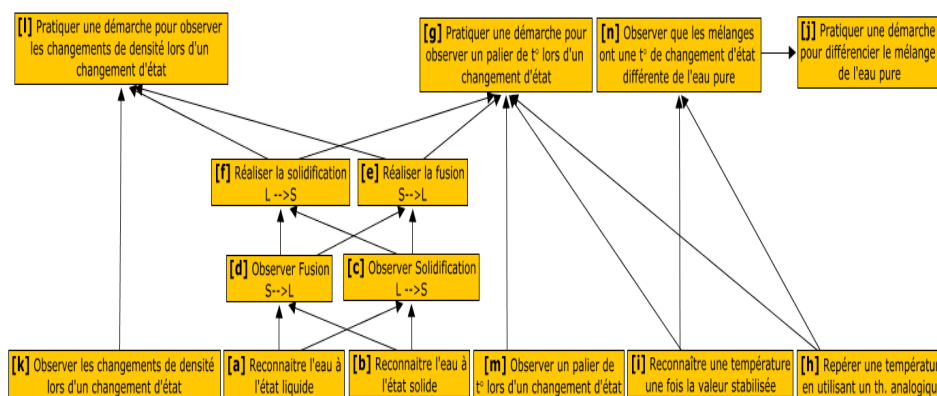


Fig. 6. Le modèle du domaine du SG les *Cristaux d'Éhère*.

Nous avons généré la *competence structure* en tenant compte de la *relation de précédence* du modèle du domaine de la figure 6. De plus, les activités du SG ont été associées aux *cs* (c'est-à-dire l'ensemble des compétences travaillées). Après cela, nous avons appliqué les 3 stratégies. Le tableau 2 illustre quelques résultats obtenus :

1-Si on considère que le *cs courant* de l'apprenant est le *cs initial* (c'est-à-dire l'ensemble vide). Du *cs initial*, il y a un seul *cs successeur* qui peut être atteint celui contenant la compétence 'h'. Une seule activité correspond à ce *cs*, la "La porte gelée". Si l'apprenant ne l'avait pas réalisée, alors en appliquant la stratégie "Progression", cette activité lui sera proposée. Dans le cas contraire, l'algorithme passe au prochain *cs* (contenant une compétence de plus), c'est-à-dire {h, i}. Dans ce cas, deux activités sont associées à ce *cs* "Les thermomètres" et "Remédiation". L'algorithme va suggérer l'une d'elles.

Du *cs initial*, les stratégies "Renforcement" et "Approfondissement" ne peuvent être appliquées.

**Table 1.** Extrait de la Q-Matrice représentant l'indexation des niveaux des *Cristaux d'Éhère*.

<i>Activités (niveaux)</i>	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
<i>La porte gelée</i>								X		
<i>La clé de glace</i>		X		X				X	X	
<i>La machine à cube</i>			X					X	X	
<i>Le mur de glace</i>		X			X			X		
<i>Le mur de glace automagique</i>				X	X			X	X	
<i>Les cubes automagiques</i>	X		X			X				
<i>Les deux fluides</i>	X		X					X	X	
<i>Les thermomètres</i>								X	X	
<i>Remédiation</i>								X	X	

2-Si, maintenant, on considère que le *cs courant* de l'apprenant est '{h, i}'. En appliquant la stratégie "Progression", le *cs* qui peut être atteint est '{c, h, i}' et une seule activité lui est associée "*La machine à cube*". C'est cette activité qui sera alors proposée à l'apprenant si la stratégie choisie est "Progression". Si cette activité a déjà été réalisée par l'apprenant, alors l'algorithme passe (là aussi) au *cs* supérieur. Dans ce cas, les activités possibles qui peuvent être proposées comportent "*Les deux fluides*", "*Le mur de glace automagique*", ou "*La clé de glace*".

Par ailleurs, si le *cs courant* est '{h, i}' et que les croyances du système sur ces compétences sont respectivement 0.3 et 0.7. Si l'enseignant veut appliquer la stratégie "Approfondissement" sur '{i}', alors les activités susceptibles d'être proposées sont "*Les thermomètres*" ou "*Remédiation*". Ces activités sont celles qui proviennent du même *cs* ou du *cs prédécesseur*.

De manière similaire, si l'enseignant choisit la stratégie "Renforcement" pour travailler '{h}', les activités susceptibles d'être proposées sont : "*La porte gelée*", "*Les thermomètres*" ou "*Remédiation*". Ces activités sont celles qui proviennent du même *cs* ou du *cs prédécesseur*.

Nous avons validé les résultats obtenus par les trois stratégies d'adaptation, d'un point de vue algorithmique ; c'est-à-dire que les algorithmes ont généré les activités attendues. En effet, un enseignant co-concepteur du SG a validé ces résultats. Ces résultats encourageants nous incitent à considérer une évaluation large avec d'autres experts et d'autres SG.

**Table 2.** Quelques résultats obtenus en appliquant les stratégies pour *Les Cristaux d'Éhère*.

Cs courant	Sous-ensemble de compétences à travailler (si applicable)	Activités déjà réalisées	Croyance du système	Activité proposée		
				Progression	Approf.	Renf.
<i>cs initial=∅</i>	-	Aucune	-	<i>La porte gelée</i>	Aucune	Aucune
<i>cs initial=∅</i>	-	<i>La porte gelée</i>	-	<i>Les thermomètres</i>	Aucune	Aucune
{h, i}	"h" (Renf.) "i" (Approf.)	Aucune	"h" :0.3 "i" : 0.7	<i>La machine à cube</i>	Remédiation	<i>La porte gelée</i>
{h, i}	"h" (Renf.) "i" (Approf.)	<i>La machine à cube</i>	"h" :0.3 "i" : 0.7	<i>Les deux fluides</i>	Remédiation	<i>La porte gelée</i>

## 4 Discussion, travaux en cours et orientations futures

Le point commun des travaux sur l'adaptation de SG que nous avons étudiés jusque-là s'attachent à améliorer la croyance du système sur le niveau (supposé) des compétences de l'apprenant en tenant également compte de la cohérence scénaristique et/ou narrative du jeu.

La partie innovante de ce travail est : (a) de combiner les besoins spécifiques des enseignants avec l'approche "classique" qui consiste à prendre en ligne de compte uniquement le niveau actuel de l'apprenant, c'est-à-dire le *cs* courant ; et (b) de traduire cette combinaison en règles d'adaptation que nous avons réussi à mettre en œuvre en s'appuyant sur CbKST.

Nous avons proposé trois stratégies qui découlent des besoins exprimés par les enseignants dans le projet. Autrement dit, nous avons traduit ces besoins spécifiques en paramètres d'entrée pour les règles d'adaptation (sous-ensemble de compétences, seuil). L'originalité de l'approche proposée fondée sur *CbKST* ne réside pas tant dans les stratégies en elles-mêmes, mais plutôt dans le fait que cette approche pourrait s'appliquer à d'autres besoins à condition de les réifier en utilisant les concepts de CbKST (*competence structure, competence state, relation de précédence*).

Nous avons développé un outil qui permet aux enseignants de préciser les différentes entrées nécessaires aux stratégies d'adaptation : sous-ensemble de compétences, seuil, tri par niveau de difficulté. Actuellement, nous testons la mise en œuvre des stratégies dans différents SG.

D'autres travaux sont prévus et consistent d'une part, à évaluer si les résultats fournis par le module de décision correspondent aux attentes des enseignants. Et d'autre part, à évaluer l'impact de ces stratégies sur les résultats des apprenants.

Une autre piste de réflexion émane de ce travail et consiste à utiliser *CbKST* comme méthode "analytique" en mettant en évidence des "trous" dans la conception du SG. En effet, grâce aux algorithmes proposés, il est possible d'identifier les *cs* pour lesquels il n'existe aucune activité associée.

**Remerciements.** Nous tenons à remercier la région Île-de-France et le ministère français de l'économie et des finances pour leur soutien au projet Play Serious.

## References

1. Shute, V.J., Zapata-Rivera, D.: Adaptive educational systems. *Adapt. Technol. Train. Educ.* 7–27 (2012).
2. Göbel, S., Wendel, V., Ritter, C., Steinmetz, R.: Personalized, Adaptive Digital Educational Games Using Narrative Game-Based Learning Objects. In: Zhang, X., Zhong, S., Pan, Z., Wong, K., and Yun, R. (eds.) *Entertainment for Education. Digital Techniques and Systems*. pp. 438–445. Springer Berlin Heidelberg (2010).
3. Csíkszentmihályi, M.: *Flow: the psychology of optimal experience*. HarperPerennial, New York (1991).

4. Heller, J., Mayer, B., Albert, D.: Competence-based Knowledge Structures for Personalised Learning. 1st International ELeGI Conference on Advanced Technology for Enhanced Learning. , Vico Equense-Naples, Italy (2005).
5. Augustin, T., Hockemeyer, C., Kickmeier-Rust, M.D., Podbregar, P., Suck, R., Albert, D.: The simplified updating rule in the formalization of digital educational games. *J. Comput. Sci.* 4, 293–303 (2013).
6. Kopeinik, S., Nussbaumer, A., Bedek, M., Albert, D.: Using CbKST for Learning Path Recommendation in Game-based Learning. 20th International Conference on Computers in Education. pp. 26–30 (2012).
7. Kickmeier-Rust, M.D., Göbel, S., Albert, D.: 80Days: Melding Adaptive Educational Technology and Adaptive and Interactive Storytelling in Digital Educational Games. International Workshop on Story-Telling and Educational Games. , Maastricht (2008).
8. Peirce, N., Conlan, O., Wade, V.: Adaptive Educational Games: Providing Non-invasive Personalised Learning Experiences. Presented at the 2nd IEEE International Conference on Digital Games and Intelligent Toys Based Education (2008).
9. Moreno-Ger, P., Burgos, D., Torrente, J.: Digital Games in eLearning Environments Current Uses and Emerging Trends. *Simul. Gaming.* 40, 669–687 (2009).
10. Marne, B., Labat, J.-M.: Model and Authoring Tool to Help Adapt Serious Games to their Educational Contexts. *IJLT.* 9, 161–180 (2014).
11. Santangelo, T., Tomlinson, C.A.: The Application of Differentiated Instruction in Postsecondary Environments: Benefits, Challenges, and Future Directions. *Int. J. Teach. Learn. High. Educ.* 20, 307–323 (2009).
12. Peachey, D.R., McCalla, G.I.: Using planning techniques in intelligent tutoring systems. *Int. J. Man-Mach. Stud.* 24, 77–98 (1986).
13. Brusilovsky, P., Vassileva, J.: Course sequencing techniques for large-scale web-based education. *Int. J. Contin. Eng. Educ. Life Long Learn.* 13, 75–94 (2003).
14. Falmagne, J.-C., Cosyn, E., Doignon, J.-P., Thiéry, N.: The Assessment of Knowledge, in Theory and in Practice. In: Missaoui, R. and Schmidt, J. (eds.) *Formal Concept Analysis.* pp. 61–79. Springer Berlin Heidelberg (2006).
15. Doignon, J.-P., Falmagne, J.-C.: *Knowledge Spaces.* Springer Berlin (1999).
16. Tatsuoaka, K.K.: Rule Space: An Approach for Dealing with Misconceptions Based on Item Response Theory. *J. Educ. Meas.* 20, 345–354 (1983).