



HAL
open science

Quelques enseignements tirés de l'application de la Competence-based Knowledge Space Theory aux Serious Games

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

► **To cite this version:**

Naïma El-Kechaï, Javier Melero, Jean-Marc Labat. Quelques enseignements tirés de l'application de la Competence-based Knowledge Space Theory aux Serious Games. IC2015, AFIA, Jul 2015, Rennes, France. hal-01170079

HAL Id: hal-01170079

<https://hal.science/hal-01170079v1>

Submitted on 1 Jul 2015

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.

Quelques enseignements tirés de l'application de la Competence-based Knowledge Space Theory aux Serious Games

Naïma El-Kechaï¹, Javier Melero¹, Jean-Marc Labat¹

¹LIP6, Université Pierre et Marie Curie, 75005 Paris,
{naima.el-kechai, javier.melero-gallardo, jean-marc.labat}@lip6.fr

Résumé : L'approche fondée sur la Competence-based Knowledge Space Theory (CbKST) est une approche prometteuse qui permet d'adapter le parcours d'apprentissage d'un apprenant dans un Serious Game (SG) en fonction de l'état courant (supposé) de ses compétences. Elle s'appuie sur la description du modèle du domaine ciblé par le SG pour pouvoir générer la *competence structure*. Néanmoins, définir un tel modèle est une tâche coûteuse pour les experts en termes d'efforts et de temps. Une alternative permettant de surmonter ce problème est d'inférer le modèle du domaine implicite ciblé par le SG en considérant la Q-Matrice. Dans cet article, nous relatons les principaux résultats de l'application de CbKST dans trois SG en considérant (a) le modèle du domaine défini par l'expert et (b) le modèle du domaine inféré par la Q-Matrice. De ces résultats, nous tirons des enseignements fort intéressants quant à l'application de ces deux approches pour l'adaptation des SG.

Mots-clés : Competence-based Knowledge Space Theory, Adaptation de serious games, Modèle de domaine, Q-Matrice, Formalismes de représentation de connaissances, Traitements et raisonnements sur les connaissances, Évaluation de modèle de connaissances.

1 Introduction

Depuis plusieurs années, les Serious Games (SG) se démocratisent et suscitent un engouement certain de la part des enseignants, des chercheurs et des entreprises ; en témoigne la multitude des travaux, colloques et rencontres dédiés à ce thème. Les SG sont des applications informatiques qui utilisent des ressorts ludiques tels que les challenges, la compétition, les récompenses pour catalyser la curiosité et l'attention des apprenants et ainsi faciliter leur apprentissage (Dondlinger, 2007). À l'instar des autres environnements d'apprentissage, l'adaptation des SG 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 (Shute & Zapata-Rivera, 2012).

L'adaptation dans les SG est basée sur des règles qui consistent à suggérer des activités (niveaux, études de cas, etc.) avec suffisamment de challenge sans pour autant frustrer l'apprenant par la complexité de la tâche à réaliser (Göbel et al., 2010). L'idée est de le garder dans le flow (Csíkszentmihályi, 1991), 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 prometteuses permettant de réaliser une telle adaptation est fondée sur la Competence-based Knowledge Space Theory (CbKST) (Augustin et al., 2013 ; Heller et al., 2005 ; Kickmeier-Rust et al., 2008 ; Kopeinik et al., 2012 ; Peirce et al., 2008). CbKST

permet de structurer un domaine d'apprentissage en un ensemble de compétences que l'on cherche à faire acquérir à l'apprenant. Ces compétences sont reliées entre elles par des relations de précédence. Dans ces travaux, une évaluation non invasive des compétences de l'apprenant est réalisée sans interrompre le flux dans le jeu (Kopeinik et al., 2012). Autrement dit, le niveau courant (supposé) des compétences de l'apprenant est inféré en fonction des actions qu'il réalise dans le jeu. La prochaine activité est alors proposée en fonction de ce niveau courant, en tenant compte de la relation de précédence qui existe entre les compétences.

Pour utiliser CbKST il est nécessaire de disposer du modèle du domaine, c'est-à-dire le modèle de compétences, qui sous-tend le SG afin de garantir une cohérence dans les activités proposées et donc dans les parcours d'apprentissages proposés à l'apprenant. Néanmoins, la construction ou la définition d'un tel modèle est une tâche complexe et coûteuse en termes d'efforts et de temps. Cette complexité est notamment due à la difficulté à définir les dépendances qui existent entre les compétences d'un domaine donné (Falmagne et al., 2006). Dans cet article, nous proposons une autre approche, moins complexe, pour inférer les liens qui existent entre les compétences. Il s'agit d'utiliser la Q-Matrice (Tatsuoka, 1983) qui représente l'indexation des niveaux du SG par les compétences qu'ils visent.

Dans cet article, nous analysons les problèmes qui apparaissent quand nous appliquons CbKST pour créer des parcours d'apprentissage. Plus précisément, nous présentons les principaux résultats obtenus quand nous appliquons les deux approches pour générer la *compétence structure* : l'une fondée sur le modèle du domaine défini par un expert ; et l'autre fondée sur la Q-Matrice. L'objectif principal est d'analyser ces deux approches en mettant en exergue les forces et les faiblesses de chacune d'elles.

Nous précisons que dans ce travail exploratoire, bien que notre approche porte sur les SG, nous considérons de manière prioritaire les compétences pédagogiques dans la génération des structures de compétences.

Dans la section 2, nous décrivons les principaux concepts de *CbKST*. Dans la section 3, nous décrivons les deux approches proposées pour générer la *compétence structure*. Dans la section 4, nous appliquons ces approches sur trois SG différents. Dans la section 5, nous présentons les principaux résultats. Nous terminons enfin par une discussion en indiquant les travaux en cours et les orientations futures de notre travail.

2 La Competence-based Knowledge Space Theory (CbKST)

La Competence-based Knowledge Space Theory (CbKST) (Augustin et al., 2013 ; Heller et al., 2005) est une extension, orientée compétences, de la Knowledge Space Theory (KST) (Doignon & Falmagne, 1985, 1999 ; Falmagne et al., 2006). CbKST permet de structurer un domaine de compétences en utilisant trois concepts clés : la *relation de précédence*, le *compétence state*, et la *compétence structure*.

Une *relation de précédence* (« a » ≤ « 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 *compétence 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 *compétence structure* représente l'ensemble des CS admissibles en tenant compte de la *relation de précédence* dans un domaine donné. Par exemple, la partie droite de la figure 1 représente la *compétence structure* déduite du domaine illustré dans la partie gauche. Le CS le plus bas représente l'état naïf (l'apprenant ne maîtrise aucune compétence) et le CS le plus

haut représente l'ensemble des compétences du domaine (l'apprenant maîtrise toutes les compétences).

Un chemin ou un parcours d'apprentissage représente alors un chemin possible dans la *competence structure*, c'est-à-dire entre les *cs*. L'adaptation des parcours d'apprentissage consiste alors à proposer à l'apprenant une activité dont les compétences se trouvent dans le prochain *cs* en fonction du *cs* courant dans lequel il se trouve.

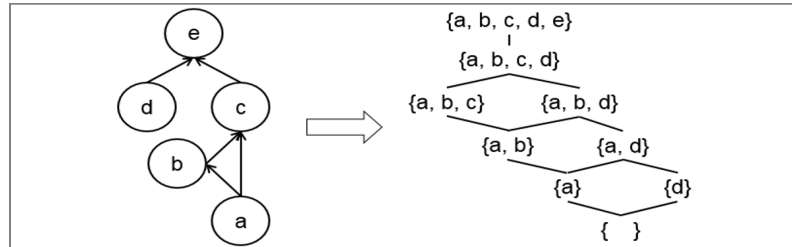


FIGURE 1 – Exemple de diagramme de Hasse illustrant les *relations de précédence* entre compétences d'un domaine donné (partie gauche) et la *competence structure* correspondante (partie droite).

3 Deux approches pour générer la *competence structure*

CbKST est considérée comme une approche pertinente pour adapter des environnements d'apprentissage, dont des SG (Augustin et al., 2013 ; Kickmeier-Rust et al., 2008 ; Kopeinik et al., 2012 ; Peirce et al., 2008). Cependant, définir les dépendances (liens) entre les compétences du domaine d'apprentissage ciblé est la tâche la plus coûteuse en termes d'efforts et de temps (Falmagne et al., 2006).

Afin de surmonter ce problème, nous proposons une autre approche qui permet d'inférer le modèle du domaine qui est implicite dans le SG. En effet, les niveaux d'un SG peuvent être décrits par les objectifs pédagogiques ou les compétences qu'ils permettent de travailler. Pour inférer le modèle du domaine implicite ciblé par le SG, nous proposons de nous appuyer sur une telle description, la Q-Matrice (Tatsuoka, 1983) qui représente l'indexation des niveaux par les compétences qu'ils visent. Ainsi, nous pourrions déduire les différents CS.

3.1 Générer la *competence structure* en utilisant le modèle du domaine

La première approche consiste à générer la *competence structure* d'un SG en utilisant le modèle du domaine d'apprentissage ciblé par le SG tel qu'il est défini par un expert.

Avant d'aller plus loin, nous précisons que le travail que nous présentons ici fait partie d'un travail plus étendu réalisé dans le cadre d'un projet FUI (fonds unique interministériel) Play Serious (« Play Serious Project », 2013). La finalité de ce projet est de développer des outils pour faciliter la conception et la réalisation de SG. Dans ce contexte, nous avons proposé une modélisation du domaine qui s'appuie sur trois liens qui sont définis ci-après :

- 1 Le lien de « précédence » entre les compétences « a » et « b » indique qu'il est conseillé ou préférable d'acquérir la compétence « a » avant d'acquérir la compétence « b »,
- 2 Le lien de « prérequis » entre les compétences « a » et « b » indique que la compétence « a » est indispensable pour acquérir la compétence « b »,
- 3 Le lien de « composition » indique qu'une compétence est composée de deux ou plusieurs sous-compétences de niveau de granularité inférieur.

Pour générer la *competence structure* en considérant ces trois liens, nous procédons ainsi :

- les liens « précédence » et « prérequis » sont considérés comme des *relations de précédence* (au sens de CbKST). Pour le lien de « composition », nous considérons uniquement les sous-compétences puisqu'elles correspondent à des compétences opérationnelles et correspondent donc davantage aux tâches à réaliser dans un niveau du SG. Concrètement, nous convertissons les liens de « composition » comme des *relations de précédence* comme illustré dans la figure 2. Si la compétence « a » est composée des compétences « b » et « c ». Alors le lien de précédence entre « a » et « d » est transformé par deux *relations de précédence* : une de « b » vers « d » et l'autre de « c » vers « d ».

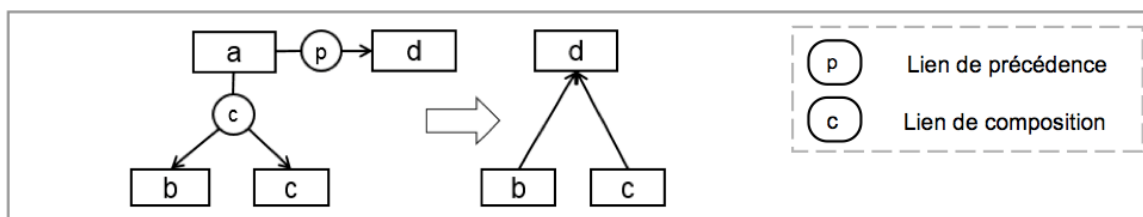


FIGURE 2 – Exemple de transformation d'un extrait d'un modèle de domaine en *relations de précédence*.

- De la nouvelle version du domaine dans lequel il n'y a que des *relations de précédence*, nous dérivons tous les CS en appliquant l'approche classique de CbKST.
- Enfin, chaque niveau du SG est relié au CS qui lui correspond. Autrement dit, l'ensemble des compétences visées dans un niveau du jeu forme un CS donné.

3.2 Générer la *compétence structure* en utilisant la Q-Matrice

Dans les cas où le modèle du domaine d'apprentissage n'est pas disponible (le domaine est difficile à modéliser, il n'y a pas d'expert pour le faire, etc.), alors nous proposons de nous appuyer sur la Q-Matrice. Pour cela, il est nécessaire de disposer des informations sur la liste des compétences qui sont visées par chaque niveau du SG. De cette Q-Matrice, nous procédons ainsi :

- D'abord, nous identifions les différents CS en considérant que pour un niveau donné, le CS correspondant est celui formé par l'ensemble des compétences qu'il vise ;
- Ensuite, nous créons des liens entre les différents CS obtenus pour générer la *compétence structure*. Il s'agit de relier chaque CS à son CS *successeur*. Autrement dit, un CS qui contient n éléments est relié à un autre CS qui devient son successeur si ce dernier contient exactement les mêmes n éléments plus un élément supplémentaire.

Dans la section qui suit, nous appliquons les deux approches sur trois SG différents.

4 L'analyse de l'application de CbKST sur trois SG

4.1 Blockly : Maze

*Blockly : Maze*¹ est un SG développé par Google, destiné à l'apprentissage de la programmation par briques (type Scratch). Il est composé de 10 niveaux. Le but de l'apprenant est de programmer la trajectoire d'un avatar automatique dans un labyrinthe au moyen de blocs d'instructions de type et de nombre éventuellement limités. Aucun modèle de

¹ <https://blockly-demo.appspot.com/static/apps/maze/index.html>

domaine explicite ni de Q-Matrice n'est disponible pour ce SG. En tant qu'enseignants en informatique, nous avons analysé le SG et nous proposons un modèle de domaine en nous appuyant sur une liste d'objectifs d'apprentissage des fondamentaux de la programmation proposée par IEEE et ACM (IEEE & ACM, 2001). La figure 3 illustre le modèle du domaine que nous proposons.

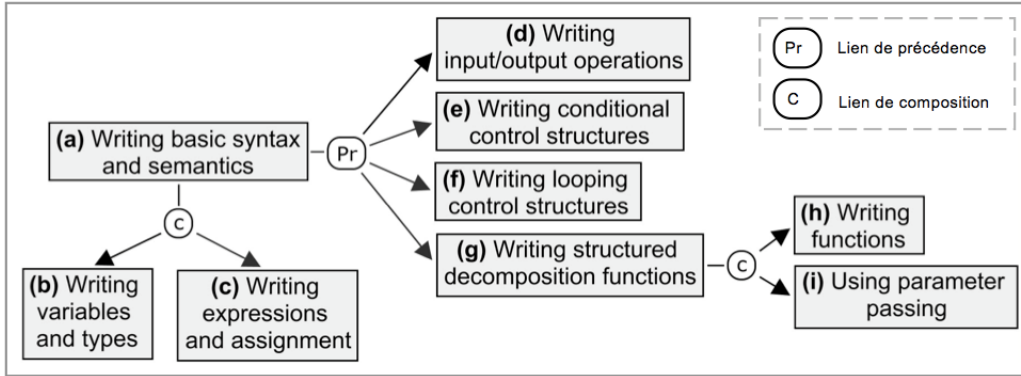


FIGURE 3 – Le modèle de domaine pour le SG *Blockly : Maze*.

Nous avons également indexé chaque niveau de *Blockly : Maze* par les compétences qui sont mises en œuvre en regardant les actions nécessaires à sa résolution et aux blocs de programmation disponibles dans ce niveau. Le tableau 1 illustre la Q-Matrice résultante (la croix indique que la compétence est travaillée dans le niveau considéré).

Après cela, nous avons comparé les *competence structure* générées par les deux approches : celle en partant du modèle de domaine (figure 4) générée comme expliqué dans la section 3.1 ; et celle en partant de la Q-Matrice (figure 5).

TABLE 1 – La Q-Matrice de *Blockly : Maze*.

| | [a] | | [e] | [f] | CS (<i>competence states</i>) |
|-----------|-----|-----|-----|-----|---------------------------------|
| | [b] | [c] | | | |
| Niveau 1 | | x | | | [c] |
| Niveau 2 | x | x | | | [b, c] |
| Niveau 3 | x | x | | x | [b, c, e] |
| Niveau 4 | x | x | | x | [b, c, e] |
| Niveau 5 | x | x | | x | [b, c, e] |
| Niveau 6 | x | x | x | x | [b, c, d, e] |
| Niveau 7 | x | x | x | x | [b, c, d, e] |
| Niveau 8 | x | x | x | x | [b, c, d, e] |
| Niveau 9 | x | x | x | x | [b, c, d, e] |
| Niveau 10 | x | x | x | x | [b, c, d, e] |

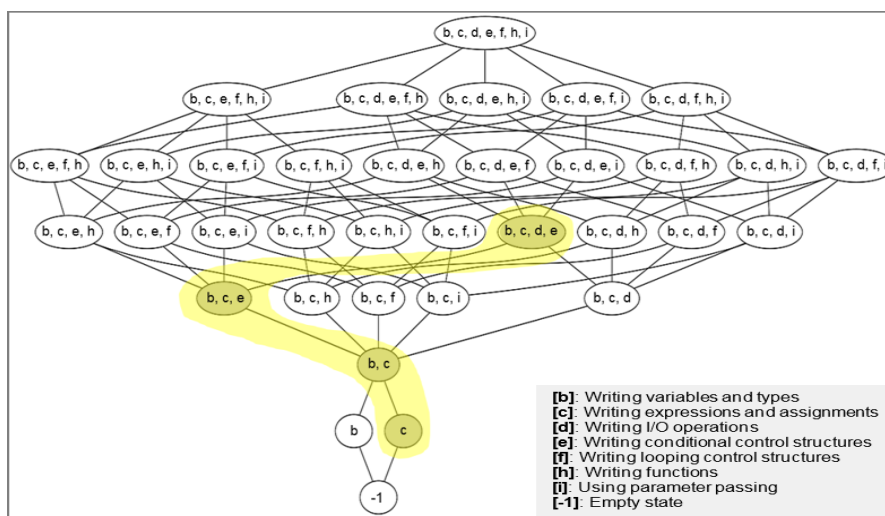


FIGURE 4 – La *competence structure* de Blockly : Maze générée par le modèle de domaine.

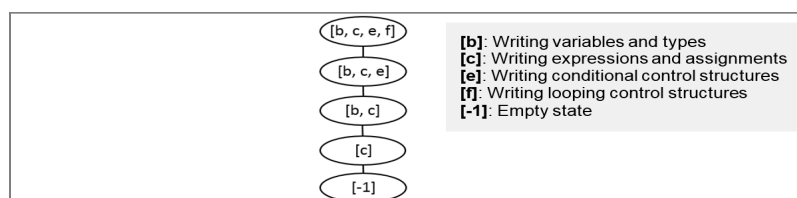


FIGURE 5 – La *competence structure* de Blockly : Maze générée par la Q-Matrice.

Avant de décrire le prochain SG, nous mettons en évidence quelques observations au regard des *competence structure* générées :

- Observation 1 (Ob. 1.1) : dans la *competence structure* générée par le modèle de domaine défini par un expert, le nombre de CS ayant des niveaux correspondants est très faible, uniquement 4 CS sur 35- [c] [b, c] [b, c, e] [b,c,d,e]- (représentés en gris sur la figure 4) ;
- Observation 2 (Ob. 1.2) : la *competence structure* générée par la Q-matrice est linéaire ;
- Observation 3 (Ob. 1.3) : en comparant les deux *competence structure*, nous remarquons que la seconde (de la Q-Matrice) représente un sous-graphe de la première (représentée par un chemin dans la figure 4).

4.2 Les Cristaux d'Éhère

*Les Cristaux d'Éhère*² est un prototype de SG destiné à des élèves de collège pour apprendre la physique des changements d'état de l'eau. Il est composé de 11 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.

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 différents niveaux du SG par les compétences qu'ils permettent de travailler. Le tableau 2 représente un extrait de la matrice d'indexation (Q-matrice).

² http://seriousgames.lip6.fr/Cristaux_Ehere

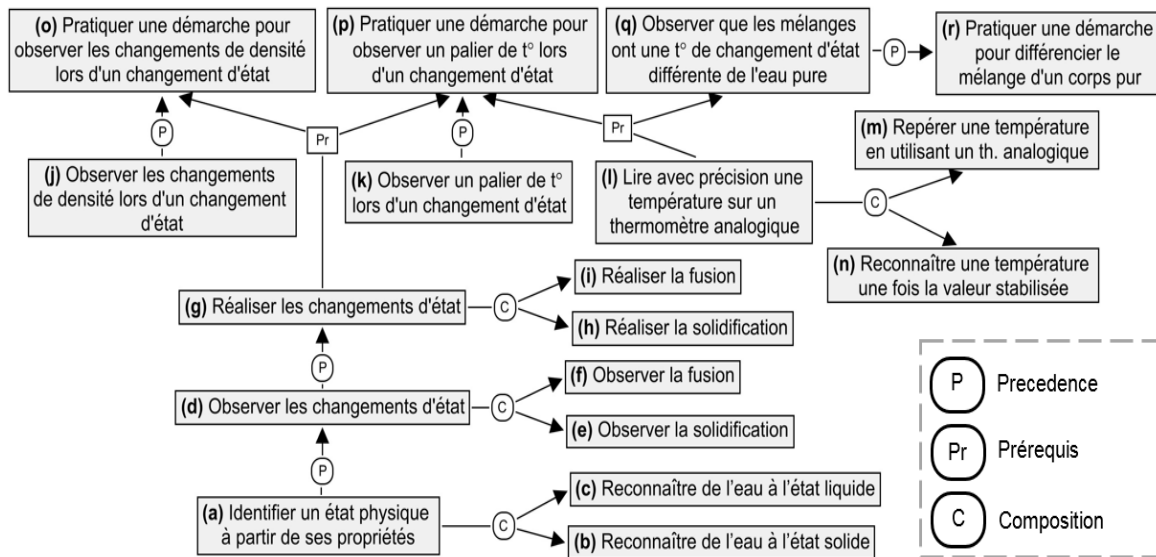


FIGURE 6 –Le modèle du domaine pour le SG *Les Cristaux d'Éhère*.

Table 2 – La Q-Matrice de *Les Cristaux d'Éhère*.

| Niveaux | [a] | | [d] | | [g] | | [p] | [l] | | [r] | Competence state |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------|
| | [c] | [b] | [e] | [f] | [i] | [h] | | [m] | [n] | | |
| Niveau 1 | | | | | | | | x | | | [m] |
| Niveau 2 | | x | | | | | | x | | x | [b, m, r] |
| Niveau 3 | | | x | x | | | x | x | x | | [e, f, p, m, n] |
| Niveau 4 | | x | | x | | | | x | x | | [b, f, m, n] |
| Niveau 5 | | | x | | | | | x | x | | [e, m, n] |
| Niveau 6 | | x | | | x | | | x | | | [b, i, m] |
| Niveau 7 | | | | x | x | | | x | x | | [f, i, m, n] |
| Niveau 8 | x | | x | | | x | | | | | [c, e, h] |
| Niveau 9 | x | | x | | | | | x | x | | [c, e, m, n] |
| Niveau 10 | | | | | | | | x | x | | [m, n] |
| Niveau 11 | | | | | | | | x | x | | [m, n] |

Comme pour le premier SG, nous avons généré les *competence structure* par les deux approches, du modèle de domaine (figure 7) et de la Q-Matrice (figure 8).

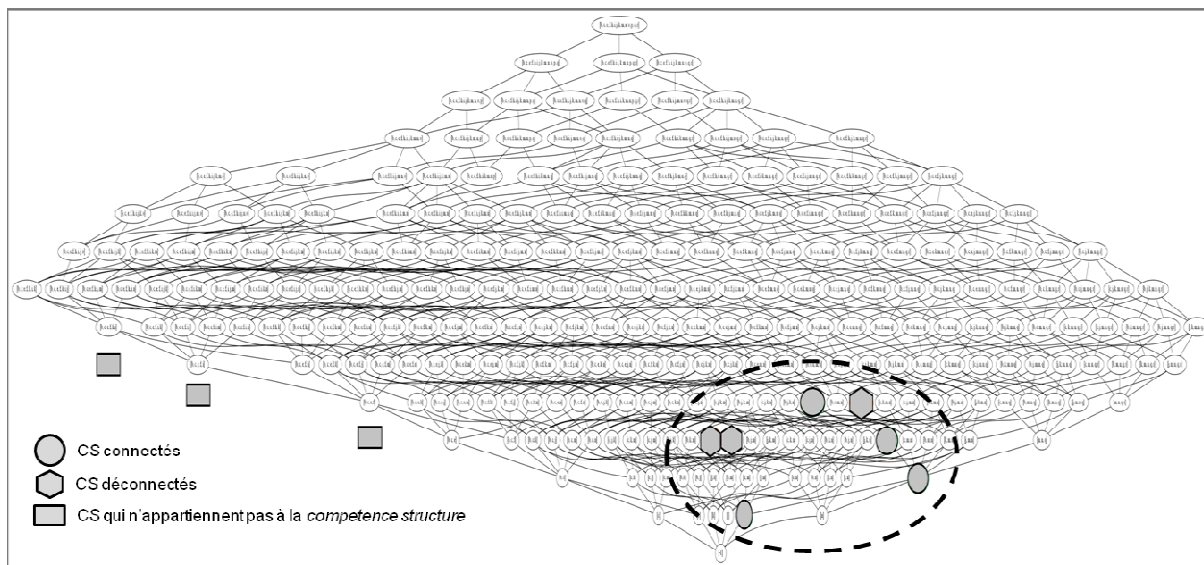


FIGURE 7 –La *compétence structure* de *Les Cristaux d'Èhère* générée par le modèle de domaine (disponible à http://javiermelero.es/Cristaux_IC15.png).

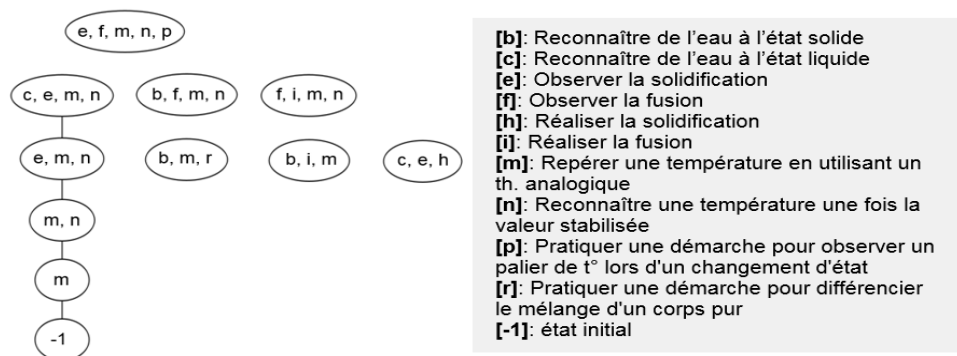


FIGURE 8 –La *compétence structure* de *Les Cristaux d'Èhère* générée par la Q-Matrice.

Pour ce SG, nous mettons également en évidence quelques observations :

- Observation 1 (Ob. 2.1) : dans la *compétence structure* générée par le modèle de domaine défini par un expert, le nombre de CS ayant des niveaux correspondants est très faible, uniquement 7 CS sur 266 (représentés en gris dans l'ellipse en pointillés sur la figure 7) ;
- Observation 2 (Ob. 2.2) : la *compétence structure* générée par la Q-matrice n'est pas complètement connectée. De plus, les CS qui sont connectés, le sont de manière linéaire ;
- Observation 3 (Ob. 2.3) : curieusement, certains CS (carrés gris dans la figure 7) construits par la Q-Matrice ne correspondent à aucun CS de la *compétence structure* générée par le modèle de domaine (ex. le CS [e,f,p,m,n] associé au niveau 3. Cette observation soulève la question de l'incohérence entre les deux approches. Y-a-t-il des défauts dans le modèle de domaine construit par l'expert ? Y-a-t-il des erreurs dans la Q-Matrice, c'est-à-dire dans l'indexation des niveaux par les compétences ?
- Observation 4 (Ob. 2.4) : l'ensemble des CS construits par la Q-Matrice semble correspondre à une branche ou sous-graphe de la *compétence structure* générée par le modèle de domaine (ellipse en pointillés sur la figure 7).

4.3 Refraction

*Refraction*³ est un SG dont la visée pédagogique est de consolider les acquis sur l'addition et la multiplication de fractions. Il est composé de 61 niveaux regroupés en 7 mondes. Le but du jeu est d'alimenter des vaisseaux spatiaux avec des lasers en évitant des obstacles. Chaque laser a sa puissance et les vaisseaux nécessitent des valeurs différentes. Il est alors nécessaire de découper ces lasers ou de les combiner pour atteindre la valeur demandée grâce à des éléments. Ce qui revient à additionner, multiplier ou réduire au même dénominateur (si nécessaire) des fractions.

Pour ce SG, nous nous sommes inspirés du travail fait autour d'un framework d'analyse de SG proposé par (Bernard & Yessad, 2014). Dans ce travail, une indexation des compétences mathématiques a été proposée pour plusieurs SG dont *Refraction*. La liste des compétences travaillées dans les niveaux, que nous avons adaptées, est donnée par la figure 9 et un extrait de l'indexation est donné dans le tableau 3.

TABLE 3 – Extrait de la Q-Matrice de *Refraction* (5^{ème} monde).
La matrice complète est disponible à http://javiermelo.es/Refraction_IC15.pdf

| monde 5 | [a] | [b] | [c] | [d] | [e] | [f] | [g] | [h] | [i] | [j] | [k] | [l] | CSs |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------------|
| Niveau 5.1 | | | | | x | | | | | | | | [e] |
| Niveau 5.2 | | | | | x | | | | | | | | [e] |
| Niveau 5.3 | x | | x | | x | x | | | | | | | [a, c, e, f] |
| Niveau 5.4 | | | | | x | | | | | | | | [e] |
| Niveau 5.5 | | | | | x | x | | | x | x | | | [e, f, i, j] |
| Niveau 5.6 | | | | | x | x | | | x | x | x | | [e, f, i, j, k] |
| Niveau 5.7 | x | x | x | | x | x | | x | | | | | [a, b, c, e, f, h] |
| Niveau 5.8 | x | x | | | x | x | | | x | x | | | [a, b, e, f, i, j] |
| Niveau 5.9 | x | x | x | x | x | x | | x | | | | | [a, b, c, d, e, f, h] |
| Niveau 5.10 | x | x | x | | x | x | | | x | x | x | | [a, b, c, e, f, i, j, k] |

La figure 9 illustre la *compétence structure* résultante en utilisant la seconde approche, c'est-à-dire générée par la Q-Matrice. Nous obtenons 23 CS différents. Nous rappelons qu'un CS correspond à l'ensemble des compétences travaillées dans un niveau donné.

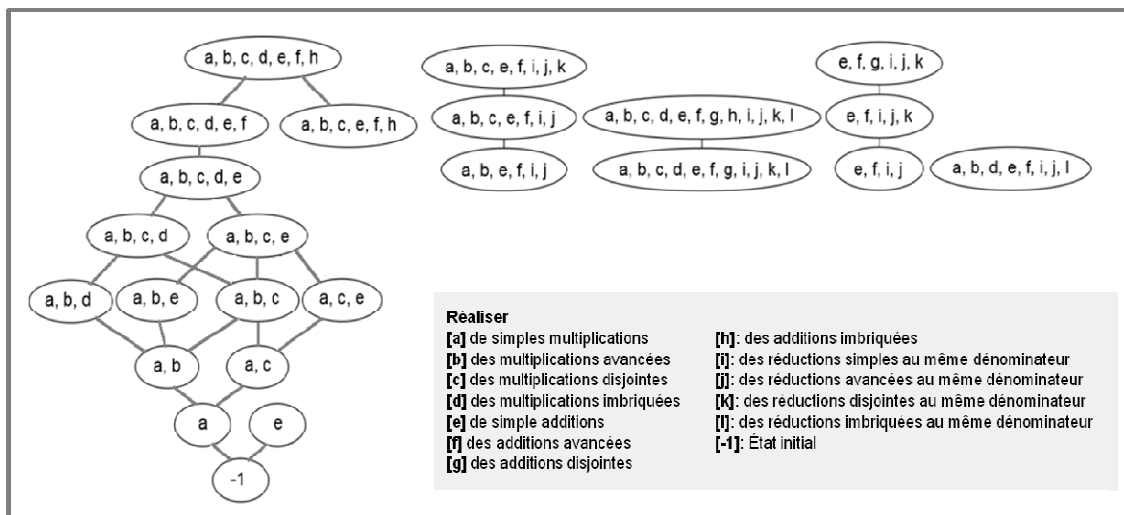


FIGURE 9 –La *compétence structure* de *Refraction* générée par la Q-Matrice.

³ <http://games.cs.washington.edu/refraction/refraction.html>

Pour ce SG, nous mettons en évidence les observations suivantes :

- Observation 1 (Ob. 3.1) : la *compétence structure* générée par la Q-matrice n'est pas complètement connectée puisque nous retrouvons des CS isolés. Par conséquent, l'adaptation ne peut être mise en œuvre à un certain niveau de la *compétence structure* ;
- Observation 2 (Ob. 3.2) : contrairement aux deux autres SG, le sous-graphe connecté n'est pas linéaire.

De l'étude des trois SG, nous tirons plusieurs enseignements qui font l'objet de la section suivante.

5 Les enseignements tirés de l'application de CbKST

Les principales leçons tirées des *compétence structure* générées par les deux approches sont les suivantes :

- La *compétence structure* générée par le modèle du domaine peut être utilisée comme un moyen de valider la conception des niveaux du SG. En effet, en partant de la Q-Matrice, il est possible de constater si tous les niveaux correspondent au modèle du domaine (Ob. 1.3) ou non (Ob. 2.3).
- Les *compétence structure* générées par les Q-Matrices semblent plus simples que celles générées par le modèle du domaine. Quand un SG contient peu de niveaux, la *compétence structure* tend à être une séquence linéaire de CS (Ob. 1.2, Ob. 2.2). Néanmoins, quand il existe plusieurs niveaux dans le SG, cette *compétence structure* est plus intéressante dans le sens où elle correspond à un graphe dans lequel plusieurs parcours d'apprentissage peuvent être envisagés (Ob. 3.2). Par conséquent, l'adaptation peut être mise en œuvre.
- Les *compétence structure* dérivées du modèle du domaine sont plus complètes puisqu'elles couvrent l'ensemble du domaine. À contrario, celles générées par les Q-Matrices sont plus étroitement liées à la conception des niveaux du SG, et de ce fait couvrent seulement un sous-ensemble du domaine. Par conséquent, la *compétence structure* générée par le modèle du domaine peut servir de base de conception et d'analyse pour plusieurs SG qui ciblent ledit domaine. En revanche, celle générée par la Q-Matrice doit être « instanciée » pour chaque SG.
- Tous les CS d'une *compétence structure* générée par la Q-Matrice contiennent des niveaux auxquels ils sont rattachés puisque les CS sont construits à partir de l'indexation des niveaux. À l'inverse, une *compétence structure* générée par le modèle du domaine contient plusieurs CS qui ne correspondent à aucun niveau (Ob. 1.1 et Ob. 2.1). Cela suggère que plusieurs niveaux peuvent être conçus de manière à ce que chaque CS puisse être associé à, au moins, un niveau. Cela étant, un SG n'a pas forcément vocation à (ou la prétention de) couvrir l'ensemble d'un domaine donné (donc tous les CSS possibles). Il est d'usage qu'un SG couvre plus un sous-ensemble particulier d'un modèle de domaine (Ob. 2.4).
- Les compétences doivent être décrites à un bon niveau de granularité. Un niveau trop fin facilite le suivi et l'évaluation de l'apprenant car les compétences de bas niveau correspondent à un niveau opérationnel, c'est-à-dire proche des actions de l'apprenant. En revanche, cette finesse se traduit par une *compétence structure* dense (voir figure 7), ce qui rend le mécanisme d'adaptation plus complexe à mettre en œuvre.
- Il y a des « trous » entre les CS dans la *compétence structure* générée par la Q-Matrice. En effet, relier un CS contenant n éléments (c'est-à-dire n compétences) à un CS contenant exactement les mêmes n éléments plus un autre n'est pas toujours possible en partant de la Q-Matrice (voir figure 8). Autrement dit, il n'y a pas un continuum entre les niveaux existants du SG. Ceci peut constituer une piste de réflexion pour les

concepteurs du SG pour les amener à penser d'autres niveaux de manière à ce que la progression dans l'acquisition des compétences soit plus graduelle.

- Par ailleurs, certains CS obtenus par la Q-Matrice ne correspondent à aucun CS de la *competence structure* obtenue par le modèle de domaine (Ob 2.3). Cela met en évidence des problèmes de modélisation du domaine ou des problèmes d'indexation.

Ces enseignements constituent des pistes de réflexion sur tous les aspects à considérer quand on veut appliquer une approche fondée sur la CbKST pour adapter des SG au profil de l'apprenant. Plusieurs perspectives de recherche émergent de ces enseignements.

6 Discussion, travaux en cours et orientations futures

Dans le travail présenté dans cet article, nous considérons deux moyens pour modéliser le modèle du domaine qui est ciblé par le SG, un explicite construit par l'expert et l'autre implicite inféré par la Q-Matrice. Ces deux moyens peuvent être complémentaires. Inférer le modèle (implicite) par la Q-Matrice peut faciliter le travail des experts quand les liens entre les compétences sont difficiles à établir.

Pour utiliser CbKST comme approche pour l'adaptation des parcours d'apprentissage dans les SG, il est nécessaire de prendre en compte deux considérations. D'une part, lorsque le SG s'appuie sur un modèle du domaine explicite défini par l'expert, les niveaux doivent être conçus de manière à ce qu'ils correspondent à des CS admissibles (significatifs). D'autre part, si aucun modèle explicite du domaine n'est disponible pour le SG, les niveaux devraient être conçus de manière à ce que les compétences soient travaillées progressivement. Autrement, plusieurs «trous» peuvent exister et par conséquent, l'adaptation serait difficilement applicable. Dans ce cas, il est nécessaire de proposer une solution pour créer des CS connectés entre eux. Une solution possible est de créer autant de nouveaux CS que nécessaire pour relier les CS isolés.

Comme nous l'avons montré, les *competence structure* des SG générées par le modèle du domaine sont plus complètes que celles générées par les Q-Matrices. Néanmoins, pour un domaine donné, le nombre de CS peut dépasser plusieurs centaines de milliers. Ceci peut constituer un inconvénient s'il faut créer un niveau pour chaque CS. Une solution possible impliquerait de concevoir des SG qui ciblent, à chaque fois, un sous-ensemble de CS (une partie de la *competence structure* générée par le modèle du domaine). En outre, les experts et les concepteurs du SG doivent trouver le bon niveau de granularité pour décrire les compétences du domaine de sorte à rendre possible la mise en œuvre concomitante du suivi et de l'adaptation.

Pour concevoir un SG qui s'adapte à l'apprenant, il est nécessaire de varier les niveaux permettant de travailler divers ensembles de compétences, permettant d'obtenir plusieurs parcours d'apprentissage. En effet, comme nous l'avons constaté, quand il y a peu de niveaux, la *competence structure* tend à être linéaire, par conséquent l'adaptation ne peut être réalisée.

Nous avons vu qu'il peut y avoir des incohérences entre un modèle de domaine proposé par un expert par rapport à l'indexation dans la Q-Matrice. La *competence structure* générée par le modèle du domaine pourrait constituer ainsi un outil pertinent au stade de la conception pour créer de nouveaux niveaux qui combler les lacunes ou les «trous» dans les parcours d'apprentissage et/ou pour vérifier si le SG ne présente pas de défauts de conception au niveau pédagogique du terme.

Les pistes de recherche que nous explorons actuellement sont nombreuses. Parmi celles-ci, nous étudions les possibilités (a) de considérer le modèle du domaine réalisé par l'expert comme un outil de validation pour la conception des niveaux du SG ; (b) de comparer les scénarios faits par des enseignants à ceux générés automatiquement par la *competence structure*.

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 FUI Play Serious. Nous tenons à remercier également Bertrand Marne pour sa relecture et ses conseils avisés.

Références

- Augustin, T., Hockemeyer, C., Kickmeier-Rust, M. D., Podbregar, P., Suck, R., & Albert, D. (2013). The simplified updating rule in the formalization of digital educational games. *Journal of Computational Science*, 4(4), 293-303. doi :10.1016/j.jocs.2012.08.020
- Bernard, N., & Yessad, A. (2014). Framework Multidimensionnel d'Analyse de Niveaux de Jeux Sérieux. Dans *TICE 2014* (pp. 13-24). Béziers, France. Repéré à <http://ticeconf.org/fr/fr/images/actes-SCI-provisoires.pdf>
- Csikszentmihályi, M. (1991). *Flow : the psychology of optimal experience*. New York : HarperPerennial.
- Doignon, J.-P., & Falmagne, J.-C. (1985). Spaces for the assessment of knowledge. *International Journal of Man-Machine Studies*, 23(2), 175-196. doi :10.1016/S0020-7373(85)80031-6
- Doignon, J.-P., & Falmagne, J.-C. (1999). *Knowledge Spaces*. (S.l.) : Springer Berlin. Repéré à <http://www.springer.com/computer/ai/book/978-3-540-64501-6>
- Dondlinger. (2007). *Journal of Applied Educational Technology*, 4(1), 21-31.
- Falmagne, J.-C., Cosyn, E., Doignon, J.-P., & Thiéry, N. (2006). The Assessment of Knowledge, in Theory and in Practice. Dans R. Missaoui & J. Schmidt (Éds), *Formal Concept Analysis* (pp. 61-79). (S.l.) : Springer Berlin Heidelberg. Repéré à http://link.springer.com/chapter/10.1007/11671404_4
- Göbel, S., Wendel, V., Ritter, C., & Steinmetz, R. (2010). Personalized, Adaptive Digital Educational Games Using Narrative Game-Based Learning Objects. Dans X. Zhang, S. Zhong, Z. Pan, K. Wong, & R. Yun (Éds), *Entertainment for Education. Digital Techniques and Systems* (pp. 438-445). (S.l.) : Springer Berlin Heidelberg. Repéré à http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-14533-9_45
- Heller, J., Mayer, B., & Albert, D. (2005). Competence-based Knowledge Structures for Personalised Learning. Dans *1st International ELeGI Conference on Advanced Technology for Enhanced Learning*. Vico Equense-Naples, Italy. Repéré à <http://telearn.archives-ouvertes.fr/hal-00190482/>
- IEEE, & ACM. (2001). *Computing Curricula 2001, Computer Science*. Repéré à http://www.acm.org/education/curric_vols/cc2001.pdf
- Kickmeier-Rust, M. D., Göbel, S., & Albert, D. (2008). 80Days: Melding Adaptive Educational Technology and Adaptive and Interactive Storytelling in Digital Educational Games. Dans *International Workshop on Story-Telling and Educational Games*. Maastricht.
- Kopeinik, S., Nussbaumer, A., Bedek, M., & Albert, D. (2012). Using CbKST for Learning Path Recommendation in Game-based Learning. Dans *20th International Conference on Computers in Education* (pp. 26-30).
- Peirce, N., Conlan, O., & Wade, V. (2008). Adaptive Educational Games: Providing Non-invasive Personalised Learning Experiences (pp. 28-35). Communication présentée au 2nd IEEE International Conference on Digital Games and Intelligent Toys Based Education. doi :10.1109/DIGITEL.2008.30
- Play Serious Project. (2013). *Site officiel*. Repéré à <http://www.playserious.fr/>
- Shute, V. J., & Zapata-Rivera, D. (2012). Adaptive educational systems. *Adaptive technologies for training and education*, 7-27.
- Tatsuoka, K. K. (1983). Rule Space: An Approach for Dealing with Misconceptions Based on Item Response Theory. *Journal of Educational Measurement*, 20(4), 345-354. doi :10.1111/j.1745-3984.1983.tb00212.x