

# Le suivi de l'apprenant : une approche fondée sur le cadre méthodologique *Evidence Centered Design*

## Application aux Serious Games

Naïma El-Kechaï, Mathieu Muratet, Amel Yessad, 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, mathieu.muratet, amel.yessad, jean-marc.labat}@lip6.fr

**Résumé** Le suivi de l'apprenant-joueur dans les serious games est un processus complexe qui nécessite des modèles spécifiques dans le but de diagnostiquer l'état des connaissances/compétences de l'apprenant-joueur. Dans cet article, nous proposons de nous appuyer sur le cadre méthodologique *Evidence Centered Design* (ECD) pour concevoir et développer l'outil de suivi de l'apprenant-joueur. Nous illustrons notre démarche sur un exemple concret.

**Mots-clés.** Évaluation de l'apprenant, *Evidence centered design*, Jeux sérieux, Modélisation de l'apprenant-joueur, Modélisation des compétences.

## 1 Contexte

Le travail que nous présentons dans cet article est réalisé dans le cadre du projet FUI (fonds unique interministériel) *Play Serious* [1]. La cible visée est la formation professionnelle pour adultes dans une perspective de développement des compétences. La finalité du projet est de développer une solution logicielle pour la production et l'exécution de serious games (SG).

Un apport important de ce projet est de mettre en œuvre un système de suivi de l'apprenant. Ce système consiste à produire un diagnostic fin sur l'état des compétences de l'apprenant afin d'assister le formateur dans la gestion des sessions d'apprentissage et d'adapter le dispositif de formation au profil de l'apprenant. En effet, lorsqu'un formateur utilise un SG en classe (virtuelle ou réelle), il lui est difficile d'avoir un retour sur les actions effectuées par l'apprenant. Or ce type de retour est intéressant et pourrait être exploité afin d'organiser un débriefing collectif en analysant les choix, en montrant les causes de succès et d'échec de ces choix. Très peu de SG proposent des interfaces à destination des formateurs. Quand cette interface existe, elle est extrêmement limitée. Certains formateurs contournent ce manque en demandant aux élèves d'imprimer les bilans intermédiaires produits par le jeu à destination du joueur ou en faisant remplir en parallèle ou à la fin du jeu un questionnaire d'évaluation pour identifier si les connaissances sont acquises.

Dans cet article, nous exposons les résultats de notre travail dans ce projet sous la forme d'une architecture pour le suivi de l'apprenant. Dans la première section, nous précisons ce que nous entendons par suivi de l'apprenant. Dans la section suivante, nous présentons l'approche *Evidence Centered Design* (ECD) [2–4] qui constitue notre cadre méthodologique. Dans la section 3, nous en décrivons les *aspects*

*statiques*, au sens spécifications, en détaillant les différents modèles qui composent les éléments relatifs au suivi. Enfin, nous décrivons une mise en œuvre dans un environnement de SG et nous mettons en avant nos perspectives de recherche.

## 2 Suivi de l'apprenant dans notre approche

Derrière le terme « suivi de l'apprenant », on trouve différentes sortes de travaux. Certains se centrent principalement sur la modélisation de l'apprenant [5, 6] d'autres sur la modélisation du domaine. Une partie des travaux se concentre sur les phases en aval comme l'analyse de l'activité, le diagnostic [7], l'observation des usages, etc. Enfin, on trouve des travaux de recherche qui se focalisent sur l'utilisation de ces résultats pour adapter la session pédagogique et proposer un parcours adapté à la progression de l'apprenant [8, 9].

Tous ces travaux relèvent du « suivi de l'apprenant » et illustrent la complexité du problème pour prendre en compte chacun des aspects évoqués ci-dessus. Dans cet article, nous montrons comment nous répondons à la problématique du suivi dans le cadre du projet Play Serious en nous appuyant sur un certain nombre de travaux existants. Pour illustrer notre approche sur un cas concret, nous nous appuyons sur les SG qui complexifient le suivi de l'apprenant, en raison de la dimension dynamique et interactive des Serious Games, mais qui pourrait être adapté à d'autres EIAH.

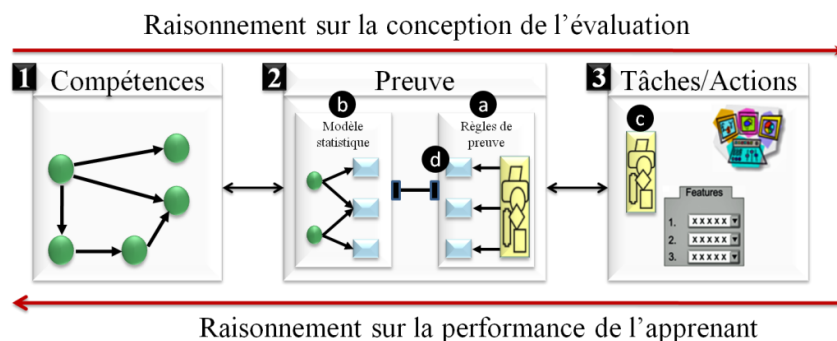
Les SG apportent un contexte scénaristique intéressant qui s'ajoute au scénario pédagogique « classique ». En effet, l'apprenant va pouvoir accomplir des actions qui ne relèvent pas forcément de l'apprentissage comme le déplacement dans un monde virtuel, l'accomplissement de quêtes annexes, la configuration de son personnage, etc. Dans le contexte de notre travail, nous cherchons à (a) identifier les compétences de l'apprenant que nous cherchons à évaluer ; (b) établir les critères qui nous permettent de l'évaluer et de ce fait, inférer l'état courant de ses compétences ; (c) identifier les activités et les situations dans lesquelles nous pouvons observer ce que fait l'apprenant et obtenir les "preuves" qui nous permettent de les relier aux compétences.

Les éléments qui correspondent à nos besoins cités ci-dessus (points a, b et c) correspondent justement aux étapes identifiées dans l'approche *Evidence Centered Design* ECD [2–4]. Celle-ci nous apporte un cadre méthodologique qui dans le contexte de notre travail, nous permet de compléter et présenter plus facilement l'architecture et sa mise en œuvre.

## 3 Suivi de l'apprenant à la lumière de l'approche *Evidence Centered Design* (ECD)

Les fondements sous-jacents à *Evidence Centered Design* (ECD) ont été posés par Messick [2]. Le processus commence par identifier ce que nous voulons évaluer en termes de compétences, connaissances et d'autres traits de l'apprenant. Ces variables, ne pouvant être observées directement, il faut alors identifier les comportements et les résultats qui peuvent être mesurables et observables. Ensuite, il faut identifier les types de tâches/situations dans lesquelles ces comportements peuvent être observés.

Dans ce cadre, il y a donc 3 modèles théoriques qui travaillent de concert : le modèle de compétences, le modèle de preuves et le modèle de tâches (voir Figure 1).



**Fig. 1.** Les trois principaux modèles et le processus d'évaluation de ECD (adapté de [4])

-**Le modèle de compétences (MC)** (1 sur le schéma ci-dessus). Dans le MC, les nœuds (cercles) décrivent un ensemble de variables de l'apprenant sur lesquelles se font les inférences. Ces variables peuvent être des connaissances, des compétences ou d'autres attributs. Le modèle de l'apprenant correspond en fait à une instance du MC et les valeurs dans ce modèle représentent la croyance actuelle que l'évaluateur (système) a sur chaque variable du MC. Les inférences peuvent être à différents niveaux de granularité, de générales (ex. Tom a un bon niveau en mathématiques) à plus spécifiques (ex. Jerry a des problèmes pour la résolution d'équations linéaires).

-**Le modèle de tâche (MT)** (3 sur le schéma) fournit un cadre pour caractériser des situations avec lesquelles l'apprenant va interagir pour fournir des preuves sur des aspects liés aux compétences. Le MT indique ce que l'apprenant peut et doit faire ; quelles réponses sont autorisées, quels formats sont disponibles, et d'autres considérations : l'apprenant est-il chronométré, est-il autorisé à utiliser des outils (calculatrice, dictionnaire, etc.) ? Appliqué aux SG, le MT correspond au modèle d'actions, c'est-à-dire les séquences d'actions et des indicateurs d'évaluation de chaque action. Les actions représentent ce que l'apprenant-joueur peut faire pour réaliser une mission ou résoudre un problème.

-**Le modèle de preuves (MP)** (2 sur le schéma) exprime comment les interactions avec (ou les réponses à) un problème constituent des preuves sur les variables du MC. MP est composé de 2 parties : *les règles de preuves* et *le modèle statistique*.

*Les règles de preuve* ou modèle de scoring (a sur le schéma) prennent comme entrée les productions de l'apprenant (c sur le schéma) qui correspondent aux interactions de l'apprenant avec la tâche ou avec l'environnement. Ces productions dépendent du type de tâche : réponse courte, une séquence d'actions, etc. Les règles de preuve produisent en sortie des variables observables que sont l'évaluation des productions, c'est-à-dire des scores (d sur le schéma). *Le modèle statistique* peut représenter de simples nombres, (scores), comme il peut utiliser des réseaux bayésiens avec des probabilités conditionnelles.

**La conception d'une évaluation se fait de gauche à droite**, comme illustré dans la Figure 1, bien que dans la pratique c'est un processus itératif. L'évaluateur identifie

les compétences, établit les critères d'évaluation et conçoit les tâches pour obtenir les preuves sur le niveau de l'apprenant.

**Le diagnostic (ou les inférences) se fait (se font) dans le sens inverse.** Quand une évaluation est menée, les réponses fournies par les apprenants durant le processus de résolution donnent des preuves qui sont analysées par le MP. Les résultats de cette analyse sont des données (ex. des scores) qui passent dans le MC, lequel met à jour les croyances sur les compétences.

#### 4 ECD appliquée à notre contexte

Nous pensons qu'ECD constitue une approche structurante dans le sens où elle distingue les différentes étapes nécessaires à l'évaluation de l'apprenant-joueur.

**MC.** Nous rappelons que nous nous intéressons aux SG destinés à la formation dans une perspective de développement des compétences. Par conséquent, le MC est composé de l'ensemble des compétences que l'on cherche à faire acquérir à l'apprenant-joueur à travers le SG. Ces compétences constituent évidemment une partie de l'ensemble des compétences du domaine.

**MT.** Dans le projet *Play Serious*, l'outil qui permet d'évaluer l'apprenant-joueur est le SG et le MT correspond au modèle d'actions que l'apprenant-joueur doit réaliser pour finir une mission, résoudre un problème ou atteindre un objectif. Nous proposons de modéliser les tâches/actions par un réseau de Petri (RdP) [10] parce qu'un SG peut être vu comme un système dynamique. Les autres caractéristiques des tâches/activités (ex. le niveau de difficulté) telles qu'elles sont évoquées dans ECD sont, quant à elles, décrites dans les métadonnées des activités.

**MP.** Les actions/tâches que doit réaliser l'apprenant-joueur sont associées à des indicateurs d'évaluation qui sont préalablement définis conjointement par le concepteur pédagogique et le concepteur du SG. Par exemple pour atteindre un objectif donné, il est nécessaire de réaliser une tâche qui consiste en une séquence d'actions à réaliser dans un ordre précis. Ces actions ordonnées représentent un indicateur d'évaluation pour la tâche en question. Pour pouvoir alimenter ces indicateurs, il est alors nécessaire de faire le diagnostic de son activité. Pour cela, nous utilisons les RdP [10] pour identifier ses erreurs. Concrètement, le diagnostic est réalisé en comparant les actions de l'apprenant-joueur à celles de l'expert. Nous tentons alors d'identifier les écarts qui sont labélisés selon une classification que nous proposons : action correcte, erronée, inutile, de rattrapage, etc. Cette analyse est couplée avec des règles de scoring qui ont été établies en fonction des labels obtenus dans un niveau et du nombre de tentatives réalisées par l'apprenant-joueur pour finir un niveau. Ces règles permettent de modifier la croyance sur les compétences de l'apprenant-joueur en propageant ses scores dans un réseau bayésien. Les variables aléatoires du réseau correspondent aux compétences à travailler dans le SG et la distribution des probabilités de ces variables correspond aux croyances sur ces compétences. Ce travail a été testé sur le SG « Les Cristaux d'Éhère » développé par l'équipe MOCAH (LIP6, UPMC) et qui permet de faire travailler des apprenants sur la physique des changements d'état de l'eau. Ce travail fait suite à de précédentes recherches [11–13] que nous visons à étendre en nous appuyant sur des méthodes

formelles que sont les réseaux bayésiens. En résumé, dans le MP, nous procédons ainsi : pour évaluer les actions de l'apprenant-joueur, nous utilisons les RdP et une classification des erreurs pour typer les écarts ; pour alimenter le modèle de l'apprenant-joueur (modifier les croyances sur ses compétences), nous utilisons des règles de scoring qui tiennent compte des erreurs de l'apprenant-joueur. Les scores permettent de mettre à jour le réseau bayésien du modèle de l'apprenant-joueur.

## 5 Architecture fonctionnelle générale du suivi de l'apprenant

Nous illustrons maintenant le suivi de l'apprenant à travers la partie qui y est consacrée dans l'architecture fonctionnelle proposée dans Play Serious.

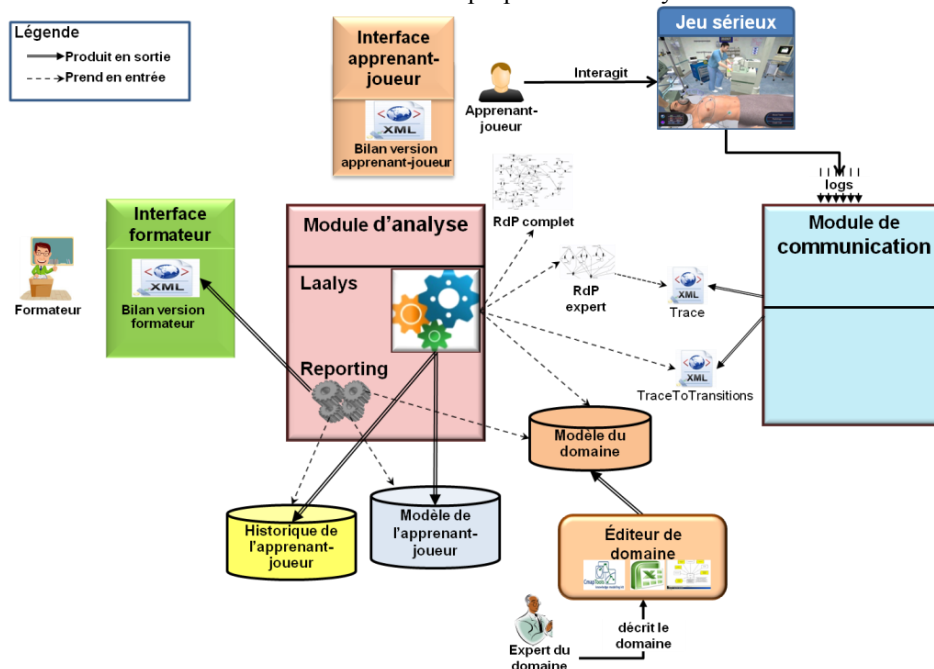


Fig. 2. L'architecture générale proposée pour le suivi de l'apprenant.

Cette partie de l'architecture a pour principales fonctions de décrire le domaine en utilisant un éditeur de domaine ; de réaliser l'analyse de l'activité de l'apprenant ; de construire et mettre à jour le modèle de l'apprenant ; de faire le reporting pour l'enseignant et/ou l'apprenant-joueur.

Cette architecture fonctionnelle est composée de deux modules principaux : *le module de communication* et *le module d'analyse* comme illustré par la figure 2. Mais avant de détailler les deux modules, nous explicitons les modèles de données sous-jacents, à savoir le modèle de domaine, le modèle de l'apprenant-joueur et le modèle de trace.

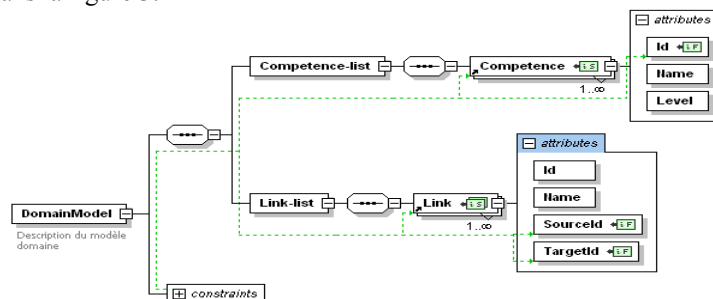
### 5.1 Les modèles nécessaires aux différents modules

Les différents modèles sont utilisés pour réaliser le suivi de l'apprenant et pour adapter son parcours d'apprentissage. Pour faciliter l'échange de données entre les différents modules de l'architecture fonctionnelle, nous réifions les différents modèles sous forme de schémas XML.

**Le modèle du domaine** est utilisé, entre autres, pour interpréter l'activité de l'apprenant-joueur et pour personnaliser son parcours d'apprentissage. Les compétences n'ont pas toutes le même niveau de granularité et il existe une hiérarchie entre compétences. Pour rendre l'approche utilisable, nous nous sommes limités à trois niveaux hiérarchiques.

Le niveau le plus haut correspond aux compétences abstraites, par exemple « Identifier un état physique à partir de ses propriétés ». Le niveau le plus fin correspond aux compétences qui sont directement observables, par exemple « Reconnaître l'eau à l'état liquide ». Par directement observables, nous ne présumons pas qu'à une compétence de bas niveau correspond une action mais plutôt une séquence d'actions dans le SG. Les compétences sont reliées entre elles par des liens. Nous avons utilisé deux types de liens : le lien de composition et le lien de précedence. Nous nous sommes volontairement limités à ces deux liens parce que nous pensons qu'elles suffisent pour décrire les relations qui peuvent exister entre les compétences. Ajouter d'autres liens pourrait nuire à la lisibilité du graphe de compétences et occasionnerait des confusions dans l'interprétation des liens. Par ailleurs, d'un point de vue opérationnel, multiplier les liens augmenterait la complexité du mécanisme de propagation des croyances dans les réseaux bayésiens.

Le modèle de domaine que nous proposons sous format d'un schéma XML est illustré dans la figure 3.



**Fig. 3.** Le schéma XML du modèle du domaine qui est circonscrit au modèle de compétences.

Le **modèle de l'apprenant-joueur**, conformément à la méthodologie ECD, correspond à une instance du modèle de compétences (MC) avec des valeurs qui représentent la croyance actuelle que l'évaluateur (le système) a sur chaque variable du MC, c'est-à-dire sur chaque compétence. Ce modèle peut être étendu en incorporant d'autres informations qui serviront notamment au module de décision chargé de l'adaptation du parcours de l'apprenant-joueur que nous ne présentons pas ici, voir [14] pour plus de détails. Parmi ces informations, il y a l'historique de l'apprenant-joueur avec des informations sur les activités qu'il a réalisées (identifiant et nom de l'activité/niveau, score obtenu, temps passé, niveau de difficulté, nombre

de tentatives, etc.). Ces informations sont notamment importantes pour garder en mémoire le parcours pédagogique de l'apprenant-joueur ainsi que ses résultats. Ces informations serviront pour le module de décision sur le choix des niveaux/activités à proposer à l'apprenant-joueur (par exemple, ne pas proposer des activités déjà réalisées). Elles serviront également pour afficher le bilan pour le formateur ou l'apprenant-joueur lui-même. Nous avons spécifié un schéma XML du modèle de l'apprenant-joueur qui intègre l'historique de l'apprenant-joueur, tel qu'illustré par la figure 4. Ce modèle est mis à jour, notamment en fonction du module d'analyse.

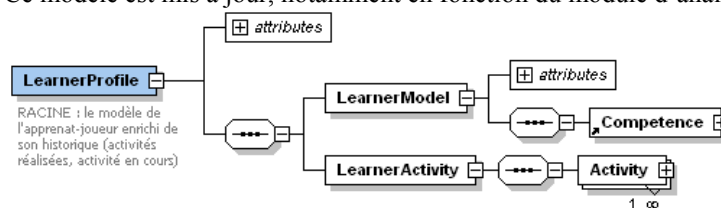


Fig. 4. Le schéma XML du modèle de l'apprenant-joueur.

La *trace* du parcours de l'apprenant-joueur est composée de l'ensemble des traces des activités du parcours. La trace de l'activité est, quant à elle, composée de l'enchaînement chronologique des actions réalisées par l'apprenant-joueur et des modifications du monde (actions générées automatiquement par le système).

Après avoir passé en revue les différents modèles, nous revenons sur les deux modules chargés du suivi en explicitant leur fonctionnement.

## 5.2 Les modules chargés du suivi

**Le module de communication** sert d'interface entre le SG et le *module d'analyse*. Il traduit les interactions de l'apprenant-joueur avec le SG (logs) en *trace* interprétable. Il est composé de deux parties, une première partie se charge de transformer les logs purs en un fichier xml *Trace* formalisé. Cette première transformation se fait de manière ad hoc puisqu'elle dépend de chaque SG. En revanche, le résultat de cette transformation, c'est-à-dire le fichier *Trace* respecte un schéma XML qui est défini dans le projet de manière générique.

La seconde transformation du module de communication s'opère sur le résultat de la première transformation, c'est-à-dire le fichier *Trace*. En effet, pour pouvoir utiliser les RdP comme outil de diagnostic, nous avons besoin de projeter l'activité de l'apprenant-joueur sur le RdP expert pour analyser ce qu'il fait.

**Le module d'analyse** prend alors comme entrée cette *trace* qu'il va interpréter en faisant une analyse, de plus haut niveau, de l'activité de l'apprenant-joueur. En fonction de cette analyse, il construit et met à jour le *modèle de l'apprenant-joueur*. Autrement dit, il initialise et met à jour les croyances sur les compétences de l'apprenant-joueur. Il est composé de deux sous-modules le sous-module *Laalys* (learner activity analyser) et le sous-module *Reporting*. *Laalys* prend en entrée le fichier qui a été généré préalablement par le module de communication. Il prend également en entrée deux autres fichiers représentant respectivement le RdP complet du jeu et le RdP expert qui représente les actions correspondant aux solutions

expertes. Le réseau expert est donc un sous-réseau du Rdp complet où les transitions non utilisées par l'expert sont éliminées. Cela permet à *Laalys* de projeter la trace de l'apprenant-joueur sur les 2 réseaux et comparer ainsi les écarts. Le marquage initial des Rdp de chaque activité est initialisé à partir de l'état du jeu au début de l'activité.

En sortie *Laalys* produit et met à jour le modèle de l'apprenant-joueur qui est composé de l'ensemble des compétences avec les croyances correspondantes. Il produit et met à jour d'autres données que sont l'historique de l'activité de l'apprenant-joueur. Pour mettre à jour les croyances, le module d'analyse a besoin également du *modèle du domaine*. Les *règles de scoring* et le *modèle statistique* nécessitent de connaître les liens qui existent entre les compétences afin de répercuter la mise à jour des croyances. Cette propagation va donc nécessiter d'utiliser le *modèle de domaine* construit préalablement par l'expert du domaine.

Le sous-module *Reporting* est chargé de générer le bilan de l'activité de l'apprenant-joueur et de l'afficher au niveau de l'interface du formateur et/ou de celle de l'apprenant-joueur lui-même. Par bilan, nous pouvons proposer un bilan « succinct », c'est-à-dire la valeur des croyances du système sur les compétences d'un apprenant-joueur. Il est également possible de présenter une vision plus détaillée avec des données de diverses natures (score, temps, erreurs courantes, nombre de tentatives,...).

## 6 Mise à l'épreuve de notre approche

Nous avons testé les différents modèles proposés et les modules de communication et d'analyse sur les traces obtenues au cours d'une expérimentation avec 13 élèves de seconde sur le SG « Les Cristaux d'Éhère ». Les Rdp modélisant les différents niveaux du jeu ont été générés automatiquement grâce à un outil développé en interne qui permet, à partir de la description des objets du niveau (chaudière, glaçon, clé, etc.) dans un éditeur graphique appelé Tiled, de transformer cette description vers un Rdp,

c'est-à-dire un ensemble de places avec des jetons, des transitions et des arcs pondérés qui relient les places aux transitions et/ou les transitions aux places.

A partir du Rdp complet,

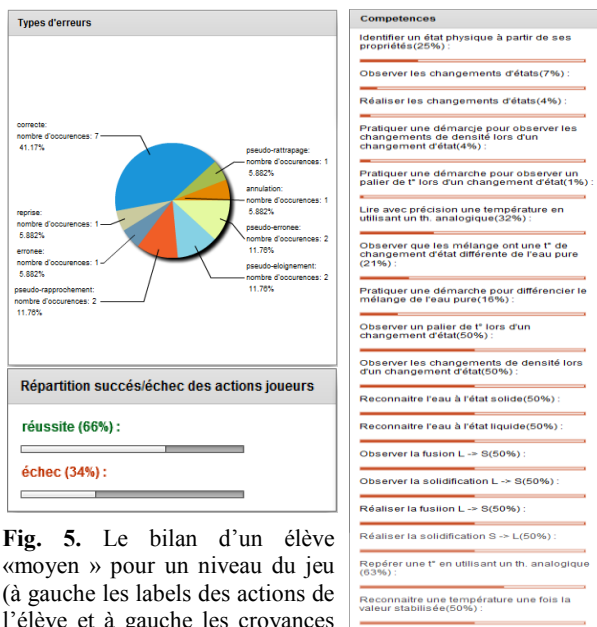


Fig. 5. Le bilan d'un élève «moyen» pour un niveau du jeu (à gauche les labels des actions de l'élève et à gauche les croyances sur l'état de ses compétences).



le Rdp expert est construit en collectant la trace de l'expert, c'est-à-dire en ne conservant que les transitions qui sont impliquées dans les solutions préconisées par les experts participant au projet (des enseignants de physique).

Nous avons analysé la trace transformée de chaque élève grâce à, Laalys qui permet la labélisation de chaque action de l'apprenant-joueur. Laalys utilise comme entrées le RdP du niveau et le RdP expert. En sortie, il génère des labels pour les différentes actions du joueur. Les labels caractérisent finement des situations où le joueur s'écarte de la résolution experte (action erronée, action inutile, etc.) et sont utilisés pour mettre à jour les compétences des joueurs à l'aide d'une méthode de scoring.

Les figures 5 et 6 synthétisent les résultats obtenus (les labels et les niveaux des compétences) respectivement pour un élève « moyen » et un élève « faible ».

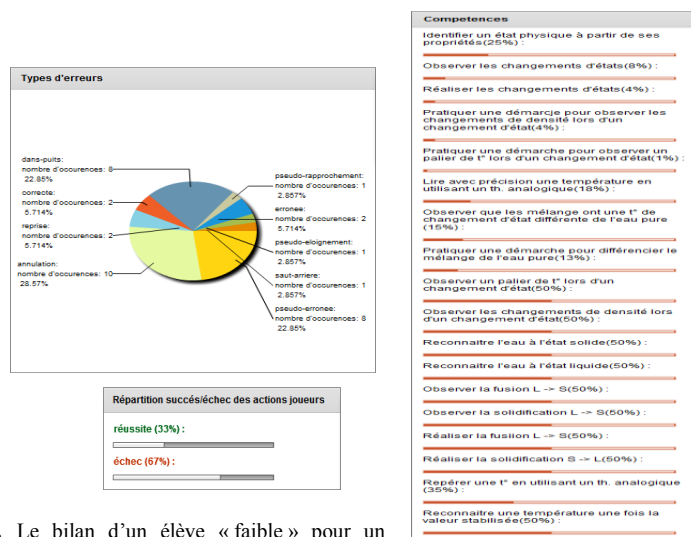


Fig. 6. Le bilan d'un élève « faible » pour un niveau du jeu (à gauche les labels des actions de l'élève et à gauche les croyances sur l'état de ses compétences)

## 7 Travaux en cours et orientations futures

L'approche ECD nous semble intéressante à utiliser car elle offre un cadre méthodologique pertinent et complet pour le suivi de l'apprenant-joueur en passant par la modélisation du domaine, de l'apprenant-joueur et du processus d'évaluation. Actuellement, nous menons une évaluation préliminaire de l'outil de diagnostic. Nous utilisons les traces et les captures vidéo de 13 élèves qui ont utilisé « Les Cristaux d'Éhère ». Nous comparons les résultats du diagnostic automatique basé sur les traces à ceux du diagnostic fait par un enseignant de physique qui visionne les captures vidéo. Cette comparaison est toujours en cours mais les résultats partiels obtenus sont encourageants.

Nous poursuivons également ces travaux en cherchant à généraliser cette démarche, en élargissant son spectre de validité à d'autres types de SG.

**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. Play Serious Project, <http://www.playserious.fr/>.
2. Messick, S.: The Interplay of Evidence and Consequences in the Validation of Performance Assessments. *Educ. Res.* 23, 13–23 (1994).
3. Mislevy, R.J., Steinberg, L.S., Almond, R.G.: Focus Article: On the Structure of Educational Assessments. *Meas. Interdiscip. Res. Perspect.* 1, 3–62 (2003).
4. Shute, V.J., Masduki, I., Donmez, O.: Conceptual framework for modeling, assessing, and supporting competencies within game environments. *Technol. Instr. Cogn. Learn.* 8, 137–161 (2010).
5. Eyssautier-Bavay, C.: Modèles, langage et outils pour la réutilisation de profils d'apprenants, (2008).
6. Lefevre, M.: Processus unifié pour la personnalisation des activités pédagogiques : méta-modèle, modèles et outils., (2009).
7. El-Kechaï, N.: Suivi et assistance des apprenants dans les environnements virtuels de formation, <http://www.theses.fr/128713658>, (2007).
8. Pilet, J., El-Kechaï, N., Delozanne, E., Grugeon, B., Chenevotot, F.: Séances différenciées en algèbre élémentaire : une étude de cas. Sixième édition de la conférence en Environnements informatiques pour l'apprentissage humain. pp. 5–16. , Toulouse (2013).
9. Guin, N., Lefevre, M.: From a Customizable ITS to an Adaptive ITS. In: Lane, H.C., Yacef, K., Mostow, J., and Pavlik, P. (eds.) *Artificial Intelligence in Education*. pp. 141–150. Springer Berlin Heidelberg (2013).
10. Petri, C.A.: Kommunikation mit Automaten. [Httpdocs.uni-hamburg.de/informatik/volltexte/2011/160/pdf/disspetrid.pdf](http://docs.uni-hamburg.de/informatik/volltexte/2011/160/pdf/disspetrid.pdf). (1962).
11. Thomas, P., Labat, J.-M., Muratet, M., Yessad, A.: How to Evaluate Competencies in Game-Based Learning Systems Automatically? In: Cerri, S.A., Clancey, W.J., Papadourakis, G., and Panourgia, K. (eds.) *Intelligent Tutoring Systems*. pp. 168–173. Springer Berlin Heidelberg (2012).
12. Thomas Benjamin, P., Yessad, A., Labat, J.-M.: Réseaux de Petri et Ontologies : des Outils pour le Suivi de l'Apprenant dans les Jeux Sérieux. Actes de la Conférence EIAH 2011. pp. 435–446. , Mons, Belgique (2011).
13. Yessad, A., Thomas, P., Capdevilla, B., Labat, J.-M.: Using the Petri Nets for the Learner Assessment in Serious Games. *ICWL*. pp. 339–348. Springer, Shanghai (2010).
14. El-Kechaï, N., Melero, J., Labat, J.-M.: Adaptation de serious games selon la stratégie choisie par l'enseignant : approche fondée sur la Competence-based Knowledge Space Theory. Actes de la Conférence EIAH 2015. p. (à paraître). , Agadir, Maroc (2015).