



HAL
open science

Réseaux de Petri et ontologies : des outils pour le suivi de l'apprenant dans les jeux sérieux

Pradeepa Thomas, Amel Yessad, Jean-Marc Labat

► To cite this version:

Pradeepa Thomas, Amel Yessad, Jean-Marc Labat. Réseaux de Petri et ontologies : des outils pour le suivi de l'apprenant dans les jeux sérieux. EIAH 2011 - Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, May 2011, Mons, Belgique. pp.435-447. hal-00605779

HAL Id: hal-00605779

<https://hal.science/hal-00605779>

Submitted on 4 Jul 2011

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.

Réseaux de Petri et ontologies : des outils pour le suivi de l'apprenant dans les jeux sérieux

Pradeepa Thomas, Amel Yessad, Jean-Marc Labat

LIP6

Université Pierre et Marie Curie

4 place Jussieu

75005 Paris

pradeepa.thomas@lip6.fr

amel.yessad@lip6.fr

jean-marc.labat@lip6.fr

RÉSUMÉ. Les jeux sérieux constituent aujourd'hui un outil de formation de plus en plus utilisé en entreprise. La question de l'efficacité de ce type de dispositif sur l'apprentissage constitue un enjeu de recherche. Les indicateurs fournis à l'issue d'un jeu vidéo sont insuffisants pour suivre et comprendre le parcours d'un joueur/apprenant. Il est donc nécessaire de mettre en place non seulement un tracking des actions du joueur, mais aussi des outils d'analyse et de diagnostic automatique des connaissances de l'apprenant. Nous proposons une démarche de suivi de l'apprenant a posteriori basée sur les réseaux de Petri, outil de modélisation de systèmes dynamiques, utilisés ici afin de représenter les comportements experts. Nous complétons notre démarche à l'aide d'une ontologie dont le rôle est de modéliser les connaissances du domaine en décrivant les relations entre les concepts du domaine, entre les actions de jeu et entre les concepts et les actions.

MOTS-CLÉS : jeu sérieux, suivi apprenant, analyse de traces, réseaux de Petri, ontologie, apprentissage humain, diagnostic automatique

1. Introduction

Le CERIMES (Centre de ressources et d'informations sur le multimédia pour l'enseignement supérieur) définit les *Serious Games* (ou jeux sérieux) comme « des applications développées à partir des technologies avancées du jeu vidéo, faisant appel aux mêmes approches de design et savoir-faire que le jeu classique (3D temps réel, simulation d'objets, d'individus, d'environnements...), mais qui dépassent la seule dimension du divertissement ». [FABRICATORE, 00] insiste quant à lui sur l'expérience vécue dans le jeu à travers le *game play*. Pour lui, c'est elle qui permet l'apprentissage. Il s'agit donc pour le *Game designer* d'incorporer les connaissances au sein même des mécaniques de jeu. L'objectif comme le précise [PRENSKY, 03] est de favoriser la motivation et l'engagement de l'apprenant. L'hypothèse sous-jacente, qui reste à vérifier, est que plus l'apprenant rejoue, plus il mémorise et améliore ses connaissances.

Dans ce papier, nous nous limitons à l'utilisation des jeux sérieux dans le contexte de la formation professionnelle. Plus précisément, nous nous concentrons sur les jeux de type simulation, c'est-à-dire ceux dont les interactions sont très proches des procédures métier. Dans ce cadre, les responsables de formation attachent une attention particulière aux indicateurs de suivi fournis par le jeu. Aujourd'hui, ces indicateurs sont directement intégrés de façon ad hoc dans le jeu. Cette méthode implique du temps et des développements importants. C'est donc un processus onéreux lors de la production d'un jeu sérieux.

Nous proposons une démarche et des outils permettant de mettre en œuvre un système automatique à base de traces permettant d'analyser a posteriori le parcours de l'apprenant. L'objectif étant de mettre en évidence les connaissances correctes, mais aussi d'expliquer et de caractériser les erreurs commises. Pour cela, nous avons recours à deux modèles informatiques qui jouent des rôles complémentaires : les réseaux de Petri et les ontologies. Les réseaux de Petri sont utilisés pour diagnostiquer les connaissances procédurales. Nous complétons notre analyse à l'aide d'une ontologie pour représenter les connaissances déclaratives entre concepts du domaine, entre actions de jeu et entre concepts et actions.

Après avoir présenté les enjeux de notre travail, nous dressons un panorama des différentes approches pour le suivi de l'apprenant dans les EIAH de type simulation. Nous présentons ensuite notre démarche en précisant le rôle du réseau de Petri et de l'ontologie. Puis, nous illustrons notre approche à l'aide du jeu Ludiville, développé par KTM-Advance, avec notre participation, pour le groupe BPCE. Nous montrons notamment comment élaborer et intégrer notre outil de suivi et de diagnostic à ce jeu préexistant. Nous concluons par une évaluation de l'approche et les perspectives de notre travail.

2. Problématique

En général, à l'issue d'une session de formation en ligne, l'apprenant effectue une évaluation souvent sous forme de quizz. Les plates-formes d'apprentissage stockent comme indicateur de performance le temps passé par l'apprenant et le score obtenu au quizz. Or pour un jeu sérieux, ces indicateurs ne sont pas du tout significatifs en termes d'apprentissage. Nous avons notamment montré dans [THOMAS, 10] les limites de la norme

SCORM, adoptée par la plupart des plates-formes d'apprentissage. En effet une des particularités d'un jeu sérieux est sa rejouabilité a priori sans perte d'intérêt pour le joueur.

Or lorsque le jeu sérieux est intégré dans un parcours de formation en ligne dans une plate-forme d'apprentissage, il est impossible de stocker l'évolution du score par exemple. Les différents scores permettraient de mener des analyses différentielles afin de vérifier si le joueur apprend de ses erreurs. Améliore-t-il sa stratégie et ses performances en fonction des retours qui lui sont faits ?

De plus, la question de l'évaluation des apprentissages par le jeu est souvent soulevée. Qu'apprend-on précisément en jouant ? Cette thématique fait l'objet de nombreuses publications [SHUTE et al., 09], [CONNOLLY et al., 09]. Nous apportons notre contribution à ces travaux en proposant un outil de diagnostic des connaissances de l'apprenant/joueur. L'objectif est de fournir un compte rendu détaillé au tuteur en indiquant notamment les étapes qui ont posé des difficultés à l'apprenant. Nous tentons de répondre aux questions suivantes : Comment évaluer la progression du joueur au cours de la partie et faire une analyse détaillée de son parcours ? Comment suivre le parcours d'un joueur qui se trompe sans intervenir ? Comment caractériser ses erreurs ? Quelles informations présenter au tuteur et à l'apprenant ?

3. Le suivi de l'apprenant

Pour suivre l'apprenant, il convient de tracer ses actions. Nous définissons la trace « comme une séquence temporelle d'observés » [SETTOUTI et al., 06]. Les informations issues du *tracking* dans un jeu sérieux peuvent être utiles pour différentes raisons. Tout d'abord, le *tracking* est principalement utilisé pour évaluer la performance de l'apprenant [GEE, 03]. Le *tracking* peut également contribuer à guider le joueur [SHUTE et al., 09], adapter le jeu en fonction des actions de l'apprenant [CONLAN et al., 09] ou améliorer la conception même du jeu [MARTY et al., 04]. Il existe différentes méthodes pour suivre la progression de l'apprenant. Nous présentons ici celles qui se rapprochent de notre démarche.

De nombreux tuteurs intelligents ont recours au « *model tracing* », basé sur la théorie ACT [ANDERSON, 83] et ACT-R [ANDERSON et al., 97]. Cette démarche consiste à comparer pas à pas les actions de l'apprenant à celles de l'expert. Les connaissances du domaine sont représentées par un système de règles de type « si...alors... ». Ces règles associent à des états du problème des actions et les changements d'état qui en découlent. À chaque étape de la résolution du problème, dès qu'un écart est détecté, le système déclenche un feedback qui impose à l'apprenant de repartir sur le bon chemin.

Les simulations et environnements virtuels tels Steve [RICKEL & JOHNSON, 98] se basent également sur des règles définies par les experts. Pour assister l'apprenant, Steve a recours à une liste d'erreurs prédéfinies et les comportements associés pour remédier à ces erreurs. MASCARET [BAUDOIN et al., 07], quant à lui permet de récolter un grand nombre d'informations concernant le comportement et les actions effectuées. L'analyse et l'interprétation de ces données doivent être effectuées par le tuteur.

Une autre approche est basée sur la reconnaissance de plan. Elle consiste à inférer, à partir d'observations, le (ou les) plan(s) mis en œuvre par l'apprenant. Cette méthode a

notamment été utilisée dans les environnements virtuels de formation [EL-KECHAÏ & DESPRÉS, 06]. Dès qu'un évènement est intercepté, le système définit une liste de plans possibles. Puis en fonction des changements d'états des objets du système et des actions de l'utilisateur, le système affine la liste des plans possibles.

Dans le domaine des jeux sérieux, la plateforme e-Adventure propose un système de suivi basé sur des machines à états [MORENO-GER et al., 08]. Dès qu'un état prédéfini par le tuteur est atteint, le système enregistre les actions effectuées. Aucune analyse ou interprétation n'est proposée actuellement. Il s'agit juste de fournir au tuteur un ensemble de variables observées à des moments donnés.

4. Démarche proposée : le recours aux Rdp et aux ontologies

4.1. Cadre général

Le suivi de l'apprenant s'intègre dans une réflexion plus globale en termes de méthodologie de conception d'un jeu sérieux. Nous avons montré l'importance d'intégrer la conception du suivi lors de la conception du jeu lui-même [THOMAS, 10].

La figure 1 résume les différents éléments à prendre en compte dans la construction d'un jeu sérieux. Dans ce papier, nous nous intéressons à l'aspect suivi de l'apprenant.

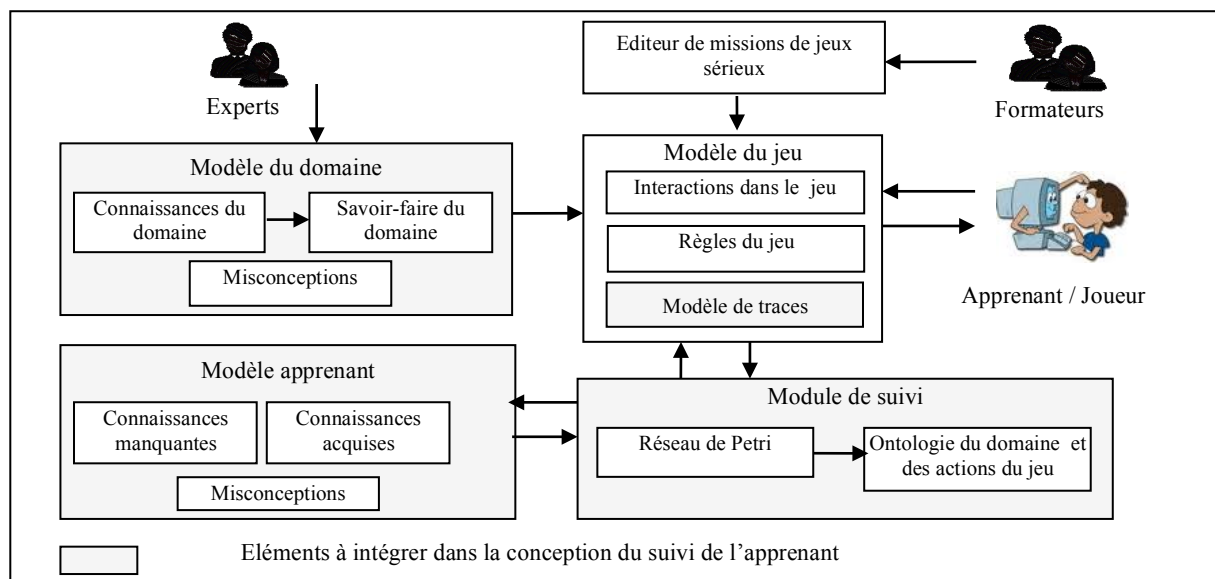


Figure 1. La conception du suivi de l'apprenant dans un jeu sérieux

À partir de traces collectées lors du jeu, l'outil de suivi constitué principalement d'un réseau de Petri et d'une ontologie, analyse et diagnostique les connaissances de l'apprenant. Nous considérons ici que l'apprenant révèle des connaissances et/ou des *misconceptions* par les décisions qu'il prend lors de ses parties de jeu.

Pourquoi le réseau de Petri ? Un jeu sérieux peut être vu comme un système dynamique composé d'objets de jeu qui évoluent dans le temps de manière concurrente, parallèle ou séquentielle en réponse aux actions du joueur et d'autres évènements du jeu. Ces actions ou évènements contribuent à modifier l'état de la partie défini par les valeurs des différents indicateurs de jeu tels que le score, le nombre de vies d'un personnage, la position d'un

objet, etc. Ces caractéristiques nous permettent de modéliser le jeu sérieux à l'aide d'un réseau de Petri [YESSAD et al., 10] car c'est un modèle à états qui permet de vérifier les propriétés des systèmes dynamiques (sûreté, vivacité, interblocage, etc.)

De nombreux travaux ont utilisé les réseaux de Petri pour la simulation de systèmes réels, car ils sont adaptés pour modéliser et évaluer les systèmes asynchrones et concurrents. Cependant, il y a peu de recherche qui traite de l'utilisation des réseaux de Petri pour les jeux sérieux et encore moins pour l'évaluation de l'apprenant. Dans [NATKIN & VEGA, 03] et [ARAUJO & ROQUE, 09] les réseaux de Petri sont utilisés pour analyser les jeux de manière formelle et pour détecter les comportements indésirables. Les *game designers* les utilisent également afin de modéliser le scénario du jeu, c'est un outil de communication entre *game designers* et développeurs [BROM et al., 07].

Concrètement, le réseau de Petri est un graphe biparti valué composé de deux types de sommets : des places et des transitions. Les arcs relient les places aux transitions et les transitions aux places. Le poids d'un arc est par défaut égal à un. À chacune des places est associé un nombre de jetons supérieur ou égal à 0. Dans ce type de réseau, seules les transitions franchissables (sensibilisées) peuvent être exécutées.

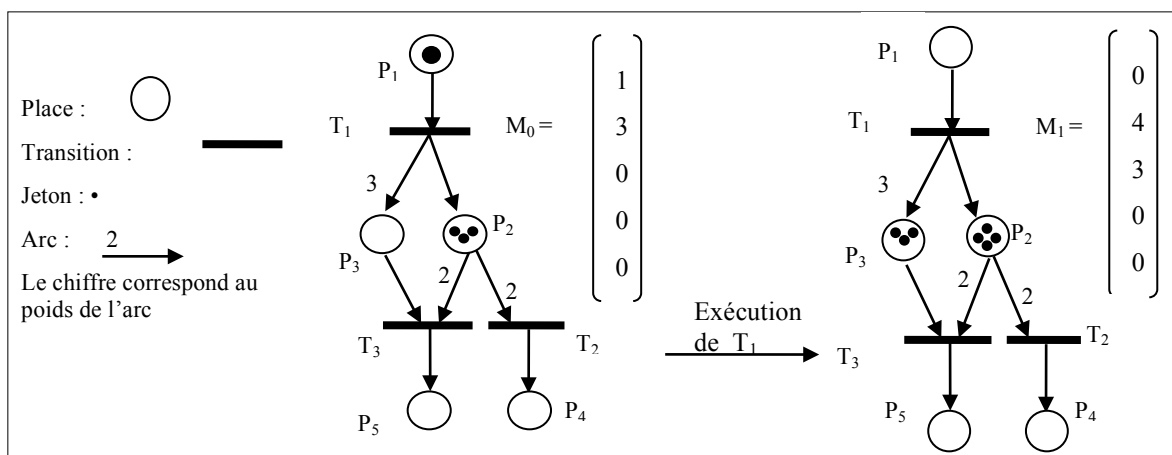


Figure 2. Le réseau de Petri (RdP)

Une transition est franchissable lorsque chacune des places en entrée comporte un nombre de jetons supérieur ou égal au poids de l'arc qui relie la place d'entrée à la transition. L'état du réseau est représenté par un vecteur M (le marquage) ayant pour dimension le nombre de places. Ce vecteur a pour valeur le nombre de jetons présents à chaque place à un moment donné. L'ensemble des places et de leurs jetons représente l'état du système à un instant t .

Dans notre démarche nous recourons au réseau de Petri, afin de suivre la progression de l'apprenant. Le réseau de Petri représente le comportement expert dans le jeu : une fois que le réseau est initialisé, grâce au marquage des places, par les données d'un problème à résoudre, il permet de lister toutes les solutions, i.e. le graphe des actions menant à la résolution experte du problème. Nous nous situons entre le « *model tracing* » et la reconnaissance de plan.

En effet, contrairement au *model tracing*, nous laissons une liberté très importante au joueur : il n'existe pas une bonne solution, plusieurs alternatives sont possibles. Cet aspect

nous rapproche de la reconnaissance de plan. De plus, nous analysons les actions après coup et ne proposons pas de correction immédiate comme c'est le cas dans les systèmes de tuteurs intelligents basés sur le *model tracing*. Nous ne recourons pas à des systèmes d'inférence puisque c'est le réseau de Petri qui a pour rôle de représenter le comportement expert.

Nous adoptons la sémantique suivante :

- la place représente un objet du jeu ou une caractéristique d'un objet du jeu (le type de projet du client, le nombre de vies de l'avatar),
- le nombre de jetons dans une place définit l'état de la place (carte jouable, 3 vies restantes pour l'avatar),
- l'ensemble des places avec leur jeton respectif constitue un vecteur modélisant l'état du jeu à chaque instant t (nous supposons que le temps est discrétisé),
- la transition représente une action du joueur (jouer une carte, tirer sur un ennemi).

À chaque action « pédagogiquement significative », c'est-à-dire une action « métier » effectuée par l'apprenant, le module de suivi consulte le réseau de Petri afin de vérifier si cette action, représentée par une transition dans le RdP, est exécutable, i.e. franchissable du point de vue de l'expert. Si tel est le cas, alors le module de suivi considère que le joueur adopte un comportement expert. Dans le cas contraire, si des places en entrée de la transition (action) non franchissable ne sont pas marquées, un algorithme détermine la liste des actions amont manquantes. Nous avons également défini un algorithme qui, pour un problème donné, détermine si une action exécutée par le joueur n'est *jamais* utilisée par l'expert dans le contexte du problème traité.

4.2. Ontologie du domaine et des actions de jeu : complément au réseau de Petri

Le réseau de Petri représente la transcription des bonnes pratiques, mais il ne peut être exhaustif. Représenter l'ensemble des bonnes actions peut s'avérer complexe et laborieux dans certains cas. Ainsi lorsque le joueur effectue une action non franchissable dans le réseau de Petri, l'ontologie des actions de jeu permet de vérifier par exemple s'il a effectué une action équivalente à celle prévue dans le réseau de Petri.

En effet, cette ontologie décrit les concepts du domaine, les relations entre ces concepts et les relations entre les actions de jeu et les concepts. Dans notre approche, l'objectif de l'ontologie est de représenter :

- les concepts du domaine et leurs équivalences en termes d'action de jeu
- les variables/paramètres influant sur l'état courant du jeu et leurs liens avec les actions de jeu

Ainsi, la consultation de l'ontologie par le module de suivi permet de caractériser et d'expliquer pourquoi une action est non valide. L'apprenant a pu par exemple effectuer une action imprécise par rapport à celle de l'expert ou une action plus coûteuse en termes de ressources.

Le réseau de Petri représente donc les connaissances expertes, procédurales. Les connaissances déclaratives, quant à elles, sont intégrées dans l'ontologie.

4.3. Conception du réseau de Petri

La construction du réseau de Petri constitue une étape importante dans notre approche. En effet, c'est le réseau de Petri qui traduit les règles métier, les bons comportements à adopter par le joueur/apprenant. Tout d'abord, un travail d'ingénierie des connaissances permet de construire avec les experts un modèle du domaine. Celui-ci contient en fait les concepts que l'apprenant doit intégrer et prendre en compte lors d'une décision dans le jeu. Les concepts correspondent donc aux places du réseau de Petri.

À partir du modèle du domaine, le *game designer* définit les interactions avec le système et les règles du jeu. Celles-ci intègrent non seulement des aspects ludiques, mais surtout des règles métier. C'est cette intégration des connaissances et des procédures métier lors du *game design* qui permet l'apprentissage par le jeu. De même, dans le contexte des jeux sérieux de type simulation, les interactions correspondent à des décisions et/ou à des tâches effectuées dans la situation professionnelle. Parmi les interactions définies dans le *game design*, les actions « pédagogiquement significatives » sont tracées dans un fichier XML. Ces interactions constituent les transitions du réseau de Petri. Les règles métier formulées sous forme de conditions de type « si...alors... » sont traduites dans les pré-conditions et les post-conditions des transitions du réseau de Petri.

4.4. Processus d'analyse et de caractérisation des erreurs

En nous inspirant des travaux de [HOLLNAGEL, 98] nous avons défini les actions erronées (celles qui ne contribuent pas à la progression dans le jeu) et les actions interdites (celles que le système refuse d'exécuter pour non respect des règles du jeu) [THOMAS, 10]. Nous approfondissons cette démarche en analysant les phénotypes (observations du comportement) à l'aide de la méthode CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method) [HOLLNAGEL, 98]. Dans le cas de l'analyse des erreurs dans les jeux sérieux, il nous paraît pertinent, suivant les cas, de retenir en plus des actions erronées et interdites, les actions prématurées, tardives, inutiles ou imprécises.

Les actions inutiles sont des actions qui n'ont pas d'impact négatif sur le déroulement du jeu, mais ne permettent pas d'accomplir les objectifs fixés. Les actions imprécises permettent d'avancer dans le jeu sans pour autant satisfaire pleinement les objectifs d'apprentissage fixés. La multiplication de ces actions par l'apprenant révèle une maîtrise imparfaite du domaine et des connaissances approximatives. Le joueur arrive à contourner les difficultés sans pour autant recourir à la solution adéquate. Les actions prématurées sont des actions nécessaires pour résoudre le problème en cours, mais arrivant prématurément dans l'enchaînement des actions. Les actions tardives sont aussi celles nécessaires, mais arrivant tardivement dans le jeu. Enfin, les actions manquantes sont des actions non exécutées par le joueur, mais nécessaires (obligatoires) pour résoudre le problème (éventuellement de manière optimale).

Le suivi s'effectue en deux temps :

- Grâce aux algorithmes mentionnés à la fin du paragraphe 4.2, le réseau de Petri permet de qualifier chaque action suivant les qualificatifs mentionnés ci-dessus : actions erronées, interdites, prématurées, tardives, inutiles. Le réseau de Petri note les écarts, mais n'intervient pas dans le comportement du joueur. Le module de

suivi modifie même le marquage du réseau de Petri de manière à suivre le raisonnement de l'apprenant même s'il commet une erreur.

- Lorsque le module de suivi termine son analyse du parcours de l'apprenant, l'ontologie est consultée afin de compléter l'analyse. L'idée est de rechercher un lien sémantique entre l'action de l'expert et celle de l'apprenant. Il peut s'agir par exemple d'un lien d'imprécision, ou de coût en termes de ressources.

5. Le jeu Ludiville

Notre démarche est illustrée dans ce papier à l'aide du jeu Ludiville réalisé par KTM Advance avec notre participation pour le groupe Banque Populaire Caisse d'Épargne. Il est destiné aux conseillers clientèle débutants. L'objectif est de leur faire acquérir les bons réflexes et les bonnes pratiques sur le montage des dossiers de financement immobilier.

Nous nous plaçons dans un contexte de simulation de l'activité quotidienne du salarié. L'interface de jeu représente le dossier découpé en quatre onglets correspondant aux différentes étapes du traitement d'un dossier : le client, le projet, le prêt et la finalisation. Un travail d'ingénierie des connaissances à partir de documents fournis par le client nous a permis de définir ces étapes. Il s'agit pour le joueur de satisfaire la demande d'un client potentiel en traitant son dossier de prêt plus ou moins pré-rempli. Il doit dans un premier temps collecter les bons documents et informations sur le client et son projet, puis proposer une offre de prêt adaptée aux besoins et à la situation de son client, et enfin compléter cette offre par des produits complémentaires tels qu'une assurance habitation ou des placements. Enfin il débloque les fonds correspondant au prêt lorsqu'il reçoit les documents appropriés. Le challenge pour le joueur est de maximiser son score en traitant correctement un nombre important de dossiers. Il s'agit de prendre la bonne décision finale d'octroyer un prêt adapté en ayant réuni les documents adéquats.

Les actions de jeu sont matérialisées par des cartes à jouer permettant de poser des questions au client, de lui demander des pièces ou de lui faire des propositions sur le prêt, les assurances ou les garanties. Une des particularités du jeu est de permettre au joueur de recourir à des cartes génériques lorsqu'il ne sait pas précisément quel type d'information demander au client. Par exemple, la carte « demande de pièce » peut être utilisée à la place de la carte « contrat de mariage ». Ces cartes génériques permettent de ne pas frustrer l'apprenant/joueur. Il peut avancer dans le jeu sans être bloqué par un manque de connaissances sur certains aspects. En revanche, ces cartes rapportent moins de points que les cartes spécifiques qui, elles, révèlent a priori des compétences métier.

6. Suivi de l'apprenant dans Ludiville

6.1. Construction du RdP

La construction du réseau de Petri dans Ludiville s'effectue selon les étapes citées précédemment en section 4.3. La première étape consiste à mettre en évidence les différentes variables, paramètres à prendre en compte pour l'application des procédures métier. Ces éléments peuvent être représentés à l'aide d'une carte conceptuelle.

La deuxième étape consiste à définir les interactions avec le *game designer*. Ici les interactions consistent à simuler par des cartes l'ensemble des actions d'un conseiller

clientèle : poser des questions, demander des documents, calculer, proposer, etc. Il s'agit ensuite de définir les règles métier. Par exemple, si le client s'engage dans un projet de construction, les documents obligatoires pour le montage du dossier de prêt sont : l'attestation nominative d'assurance, l'attestation générale d'assurance, le contrat de construction, le permis de construire, le titre de propriété du terrain.

6.2. Le réseau de Petri de Ludiville

Tous les éléments du réseau de Petri disposent d'une sémantique comme nous l'avons montré en 4.1. La place représente un objet du jeu : le projet du client, les caractéristiques du client, les cartes à disposition du joueur. Le marquage d'une place (présence de jetons dans une place) représente l'état d'un ou plusieurs objets du jeu. Ainsi un jeton dans la place projet de construction signifie que le cas actuellement traité consiste en un projet de construction (voir figure 3). La transition correspond à une action exécutée par le joueur.

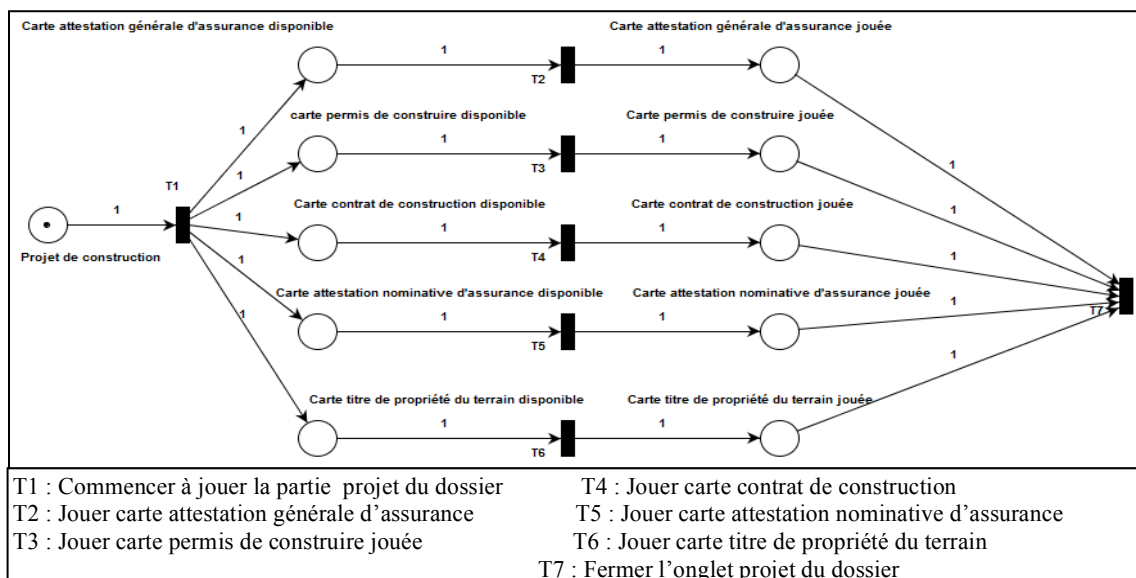


Figure 3. Extrait du RdP correspondant à un projet de construction

Les règles métier énoncées précédemment nous permettent de définir l'ensemble des actions de jeu à effectuer. Dans cette phase, le joueur doit donc jouer les cartes qui permettent de collecter les documents concernant le projet de construction. Lorsque le joueur ouvre l'onglet projet, la transition T1 est exécutée. Les places correspondant aux cartes citées précédemment disposent chacune d'un jeton. Si le joueur joue la carte permis de construire alors la transition T3 est exécutée et ainsi de suite.

6.3. Ontologie de Ludiville

De par ses actions, le joueur révèle ses connaissances. Dans le *game design*, les actions du jeu « pédagogiquement significatives », telles que nous les avons définies en 4.1, sont liées au modèle de connaissances. Il s'agit de représenter ce lien dans l'ontologie afin de mettre à jour le modèle apprenant en termes d'acquisition des bonnes procédures métier en fonction du comportement du joueur/apprenant. Nous adoptons un modèle apprenant de type *overlay* [BRUSILOVSKY, 96]. Notre démarche consiste donc à lister l'ensemble des

niveau 1 du jeu, traduit des actions imprécises. Le module de suivi met à jour le modèle apprenant en indiquant que le joueur dans la partie projet a effectué une action imprécise dans la phase d'identification du projet du client.

7. Perspectives et évaluation

Le dispositif d'évaluation de notre approche et de nos outils auprès d'utilisateurs est en cours. Il s'agit de tester le jeu Ludiville auprès d'étudiants en BTS Banque afin de recueillir des traces d'utilisation. Les traces seront analysées à l'aide du module de suivi qui fournit un diagnostic. Les bilans du diagnostic automatique seront comparés aux résultats de l'analyse des captures vidéo par les enseignants, « experts du domaine ».

Notre approche a été validée d'un point de vue interne. En effet, l'utilisation des réseaux de Petri pour modéliser les jeux sérieux a été testée sur différents projets en cours : « Ludiville », « Play and Cure » à destination d'étudiants de médecine et « Star Bank » [YESSAD et al., 10]. Les comportements experts de ces jeux sont modélisables à l'aide d'un réseau de Petri. Le réseau de Petri du jeu Ludiville comporte 110 places et 68 transitions. Nous avons codé une application capable de détecter un comportement de l'apprenant non conforme au RdP. Cette application permet surtout de laisser l'apprenant continuer dans son parcours erroné et de pouvoir malgré tout comprendre ses actions grâce au RdP et à l'ontologie. La mise en relation informatique de l'ontologie et du RdP est effectuée et donne des résultats satisfaisants.

Les outils construits pour le module de suivi de l'apprenant peuvent également servir à d'autres étapes de la conception du jeu sérieux. Ainsi, l'ontologie du domaine permet au *game designer* de mieux appréhender le domaine représenté dans le jeu notamment les dépendances entre notions ou les relations de précedence qui doivent être respectées dans le jeu. Le réseau de Petri quant à lui permettrait également de vérifier la cohérence du jeu et des différents parcours en détectant les situations de blocage.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier secrétariat d'État au Développement de l'économie numérique ainsi que la région Île-de-France pour leur soutien financier.

8. Bibliographie

- [ANDERSON, 83] Anderson J. R., *The architecture of cognition*. Harvard University Press, 1983.
- [ANDERSON & al., 97] Anderson J. R., Matessa M., Lebiere C., « ACT-R: a theory of higher level cognition and its relation to visual attention », *Human Computer Interaction*, Décembre 1997, vol. 12, p. 439-462.
- [ARAUJO & ROQUE, 2009] Araujo M., Roque L., « Modeling Games with Petri Nets ». In : *Breaking New Ground: Innovation in Games, Play, Practice and Theory*. DIGRA2009. Londres, Royaume Uni, 2009.
- [BAUDOIN & al., 07] Baudoin C., Beney M., Chevaillier P., Le Pallec A., « Recueil de traces pour le suivi de l'activité d'apprenants en travaux pratiques dans un environnement de réalité virtuelle ». STICEF, vol. 14, 2007, p. 389-418.

- [BROM & al., 07] Brom C., Šisler V., Holan T., « Story Manager in 'Europe 2045 ' Uses Petri Nets ». In : ICVS-VirtStory, LNCS. Springer, Heidelberg, Germany, 2007. p. 38-50.
- [BRUSILOVSKY, 96] Brusilovsky P. « Adaptive Hypermedia: an Attempt to Analyze and Generalize », *Multimedia, hypermedia, and virtual reality*, vol. 1077, 1996, p. 288--304.
- [CONLAN & al., 09] Conlan O., Hampson C., Peirce N., Kickmeier-Rust M., « Realtime Knowledge Space Skill Assessment for Personalized Digital Educational Games ». In : *Advanced Conference Learning Technologies*, ICALT, Riga, Lettonie , 2009, p. 538-542.
- [CONNOLLY & al., 09] Connolly T., Stansfield M., Hailey T., Cousins I., « Arguing for Multilingual Motivation in Web 2.0: A Game-Based Learning Platform for Language Learning ». In : *European Conference on Games Based Learning*, Graz, Autriche, 2009.
- [EL-KECHAI & DESPRES, 06] El-Kechai N., Després C., « A plan recognition process, based on a task model, for detecting learner's erroneous actions ». In : *Lecture Notes in Computer Science. Intelligent tutoring systems, eight international conference*, Jhongli, Springer Taiwan, Berlin, 2006, p. 329-338.
- [FABRICATORE, 00] Fabricatore C., « Learning and VideoGames : an Unexploited Synergy ». In : *AECT National Convention*, Long Beach, CA : Secaucus : Springer Science + Business Media, 2000.
- [GEE, 03] Gee J. P., « What video games have to teach us about learning and literacy », *Computer Entertainment 2003*, vol. 1, n°1, p. 20-20.
- [HOLLNAGEL, 98] Hollnagel E., *Cognitive reliability and error analysis method: CREAM*, Elsevier, 1998. p 303.
- [MARTY & al., 04] Marty J. C., Heraud J., Carron T., France L., « A quality approach for collaborative learning scenarios », *Learning Technology Newsletter of IEEE*, 2004, vol. 6, n°24, 2004.
- [MORENO-GER & al., 08] Moreno-Ger P., Burgos D., Martínez-Ortiz I., Sierra J. L., Fernández-Manjón B., « Educational game design for online education », *Computers in Human Behavior*, 17 Septembre 2008, vol. 24, n°6, p. 2530-2540.
- [NATKIN & VEGA, 03] Natkin S., Vega L., « Petri Net Modelling for the Analysis of the Ordering of Actions in Computer Games ». In : *4th International Conference on Intelligent Games and Simulation (GAME-ON 2003)*, Londres, Royaume Uni, 2003.
- [PRENSKY, 03] Prensky M. « Digital game-based learning ». Octobre 2003, vol. 1, n°1, 2003.
- [RICKEL & JOHNSON, 98] Rickel J., Johnson W. L., « STEVE: A Pedagogical Agent for Virtual Reality ». In *Proceedings of the second international conference on autonomous agents*, 1998, p. 332--333.
- [SETTOUTI & al., 06] Settouti L., Prié Y., Mille A., Marty J. C., « Systèmes à base de traces pour l'apprentissage humain ». In : *TICE*, Toulouse, France , 2006.
- [SHUTE & al., 09] Shute V., Ventura M., Bauer M., Zapata-Rivera D., « Melding the Power of Serious Games and Embedded Assessment to Monitor and Foster Learning: Flow and Grow ». In : *The Social Science of Serious Games: Theories and Applications*, Philadelphia : U. Ritterfeld, M. J. Cody, & P. Vorderer, 2009, p. 293-319.
- [THOMAS, 10] Thomas P., « Le suivi de l'apprenant dans un serious game au sein d'une plateforme d'apprentissage ». In : *Rencontres Jeunes Chercheurs EIAH*, Lyon, France, 2010.

[YESSAD, THOMAS, CAPDEVILLA, & LABAT, 10] Yessad A., Thomas P., Capdevilla B., Labat J. « Using the Petri Nets for the Learner Assessment in Serious Games ». In : *Lecture Notes in Computer Science. ICWL*, Springer, Shangai, China, 2010, p. 339-348.