



HAL
open science

Le suivi de l'apprenant dans le cadre du serious gaming

Pradeepa Thomas Benjamin

► **To cite this version:**

Pradeepa Thomas Benjamin. Le suivi de l'apprenant dans le cadre du serious gaming. Autre [cs.OH]. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2015. Français. NNT : 2015PA066115 . tel-01187921

HAL Id: tel-01187921

<https://theses.hal.science/tel-01187921>

Submitted on 28 Aug 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.



Université Pierre-et-Marie-Curie

École doctorale informatique, télécommunications et électronique

Laboratoire d'informatique de Paris 6/Équipe MOCAH

Le suivi de l'apprenant dans le cadre du *serious gaming*

Par Pradeepa Thomas Benjamin

Thèse de doctorat d'Informatique

Dirigée par Jean-Marc Labat

Présentation et soutenance prévue le 10 avril 2015

Devant un jury composé de :

M. Jean-Gabriel Ganascia, Professeur (Université Pierre-et-Marie-Curie, Paris), président de jury

Mme Vanda Luengo, maître de conférences HDR (Université de Grenoble-1), rapporteur

M. Jean-Charles Marty, maître de conférences HDR (Université de Savoie), rapporteur

Mme Valérie Boudier, docteur (KTM Advance), examinatrice

Mme Yessad Amel, maître de conférences (Université Pierre et Marie Curie, Paris),
examinatrice

M. Jean-Marc Labat, professeur (Université Pierre-et-Marie-Curie), directeur de thèse

Remerciements

Je souhaite remercier Jean-Marc Labat pour son soutien et sa confiance depuis le début. Merci pour ton suivi et ton accompagnement durant le master et la thèse. Merci également à Elisabeth Delozanne pour m'avoir mis le pied à l'étrier dans le domaine des EIAH.

Je tiens à remercier Vanda Luengo et Jean-Charles Marty d'avoir accepté d'être rapporteurs de ma thèse ainsi que Jean-Gabriel Ganascia, le président de mon jury.

J'ai toujours conçu la recherche comme un travail très proche du terrain, cela n'aurait pas été possible sans le soutien de KTM Advance et, en particulier, de Valérie Boudier qui m'a permis de participer à la conception de jeux sérieux, merci pour tout ce que tu m'as appris. Le projet Ludiville a marqué mes travaux de recherche. Je tiens à remercier le groupe Banque Populaire Caisse d'Épargne, notamment Claire de Béchillon et Valérie Auré pour leur confiance et pour m'avoir autorisé à utiliser et modifier leur jeu sérieux.

Laalys, le produit de cette thèse n'existerait pas sans Clément Rouanet qui m'a aidé à finir les développements. Merci également aux membres de l'équipe MOCAH : Amel Yessad et Mathieu Muratet pour notre collaboration sur *Play And Cure*. Merci à Thibault Carron, Odette Auzende, Monique Baron, Hélène Giroire, Françoise Le Calvez, Bruno Capdevila Ibáñez et Iza Marfizi pour leur soutien. Mes plus sincères remerciements vont également à Bertrand Marne et Naïma El-Kechaï pour leur présence réelle et « virtuelle » lors de la rédaction : toujours disponibles, toujours à m'épauler. Merci pour vos messages.

Merci à mes proches de m'avoir supportée et portée durant ces années. Je remercie plus particulièrement Gildas, ma complice de toujours, pour son soutien sans faille et ses encouragements à toute heure du jour ou de la nuit. Ce manuscrit ne serait pas ce qu'il est sans l'aide de Cécile et Angèle, les petites fées de la relecture et de la mise en forme, je les remercie très chaleureusement.

Enfin, je dédie cette thèse aux trois hommes de ma vie : Clément et Quentin, mes enfants et Charles mon mari. Vous m'avez permis de réaliser mon objectif. Je vous promets que j'en ai terminé avec les reprises d'études.

Merci à tous pour votre soutien.

Sommaire

Remerciements	2
Sommaire	3
Introduction. Cadre général, problématique et méthodologie de recherche.....	8
1.1 Introduction générale.....	8
1.2 Contexte : les jeux sérieux de type « étude de cas ».....	15
1.3 Problématique et méthodologie	17
1.4 Plan de thèse	22
Chapitre 1. Les méthodes pour le diagnostic des connaissances	24
1.1 Qu'est-ce que le diagnostic ?.....	24
1.2 Une méthode <i>ad hoc</i> comme entrée en la matière : modification du code source et intégration dans une plateforme d'apprentissage	25
1.2.1 Présentation du jeu <i>StarBank The Game</i>	26
1.2.2 Le modèle de connaissances du jeu.....	28
1.2.3 Les objectifs pédagogiques par niveau.....	31
1.2.4 Le suivi de l'apprenant existant	31
1.2.5 Les améliorations en termes de suivi de l'apprenant	33
1.2.5.1 L'intégration du jeu dans une plateforme d'apprentissage	33
1.2.5.2 L'amélioration des interfaces de bilan.....	35
1.2.6 Les inconvénients de cette méthode.....	37
1.3 Un système à base de traces dans les jeux sérieux : <i>Learning Adventure</i>	37
1.4 Les méthodes numériques	41
1.4.1 Les réseaux bayésiens	41
1.4.1.1 Définition et exemple de réseaux bayésiens	41
1.4.1.2 Les réseaux bayésiens pour l'estimation du risque dans un environnement de simulation : HERA (<i>Helpful Agent for Safety Learning in Virtual Environment</i>)..	46
1.4.1.3 Les réseaux bayésiens dans les tuteurs intelligents : ANDES	49
1.4.1.4 Le recours à des réseaux bayésiens de type diagramme d'influence pour des rétroactions efficaces.....	51
1.4.1.5 Les réseaux bayésiens dans les jeux vidéo	54
1.4.1.6 Le recours à un ensemble de réseaux bayésiens	54
1.4.1.7 Les inconvénients et les difficultés de l'utilisation des réseaux bayésiens pour notre situation.....	55
1.4.2 Les outils du <i>data mining</i> pour le diagnostic	55
1.4.2.1 L'analyse des traces dans le cadre du « sport électronique », un objectif de débriefing	56
1.4.2.2 Playtracer : outil de visualisation de parcours basé sur des techniques de <i>visual data mining</i>	57
1.4.3 Les outils statistiques	59
1.4.3.1 L'analyse de traces pour équilibrer la difficulté dans le jeu : TRUE (<i>Tracking Real-Time User Experience</i>).....	59
1.4.3.2 L'analyse de traces pour identifier les styles de jeu	60

1.5	Les méthodes symboliques	61
1.5.1	La reconnaissance de plans	61
1.5.1.1	Le recours à la reconnaissance de plans pour le diagnostic dans les environnements de simulation.....	61
1.5.1.2	Génération automatique de parcours dans un <i>serious game</i>	62
1.5.1.3	Les inconvénients de la reconnaissance de plans	63
1.5.2	<i>Model tracing</i>	64
1.5.3	Modélisation à base de contraintes.....	64
1.5.4	Les réseaux de Petri.....	65
1.5.4.1	Définition d'un réseau de Petri	65
1.5.4.2	Le graphe d'accessibilité, un outil de modélisation puissant.....	67
1.5.4.3	Le recours aux réseaux de Petri pour la supervision de systèmes de surveillance.....	68
1.5.4.4	Le recours aux réseaux de Petri pour la scénarisation de jeux vidéo.....	69
1.5.4.5	Le recours à des machines à états pour le suivi : <i>E-Adventure</i>	70
1.5.5	Les ontologies, outil de modélisation très utilisé dans le cadre du diagnostic... 73	
1.5.5.1	Définition	73
1.5.5.2	Exemples d'utilisation d'ontologies pour le diagnostic.....	76
2.5.5.2.1	Les ontologies pour partager une représentation commune des capacités en géométrie : <i>GeoSkills</i>	76
2.5.5.2.2	Les ontologies pour le diagnostic dans les approches de raisonnement à partir de cas : la plateforme <i>COBRA (Conversational Ontology-based Case based reasoning for Risk Analysis)</i>	76
2.5.5.2.3	Les ontologies pour l'adaptation dans les jeux sérieux : le projet Elektra 78	
2.5.5.2.4	Les ontologies pour la formation des infirmières de pratique avancée ...	79
1.6	L'importance de l'analyse des erreurs.....	80
1.6.1	Définition	80
1.6.2	Exemples de classification des erreurs.....	81
1.6.2.1	Classification des erreurs dans l'enseignement	81
1.6.2.2	Classification des erreurs dans les systèmes critiques	82
1.6.2.3	Exemple de classification d'erreurs dans le jeu vidéo	85
1.7	Un cadre unificateur <i>Evidence Centered Design (ECD)</i>	86
1.7.1	Présentation de la méthode.....	86
1.7.2	Le modèle de compétences (CM).....	87
1.7.3	Le modèle de preuves (EM).....	88
1.7.4	Le modèle de tâches (TM)	89
1.7.5	Conception et diagnostic	90
1.7.6	Exemple d'application d'ECD au jeu Taiga Park	90
1.7.6.1	Le modèle de compétences de Taiga Park.....	92
1.7.6.2	Le modèle de preuves de Taiga Park	92
1.7.6.3	Le modèle d'action de Taiga Park	92
1.7.6.4	Le diagnostic	93

Chapitre 2. Présentation de notre démarche.....	96
2.1 Introduction	96
2.1.1 Le modèle d'actions	96
Étape 1.....	96
Étape 2.....	97
2.1.2 Le modèle de preuves.....	97
2.1.3 Le modèle des compétences.....	98
2.2 Un exemple fil rouge : Ludiville	98
2.3 Le modèle des actions (AM)	103
2.3.1 Objectif 1 : Identifier les propriétés caractérisant les cas dans les jeux de type « étude de cas »	104
2.3.2 Objectif 2 : Construire un modèle d'actions	105
2.3.2.1 Les règles métier dans les jeux de type « étude de cas »	105
2.3.2.2 Nos besoins en termes de modèle d'actions	106
2.3.3 Notre proposition : modéliser les actions de jeu à l'aide d'un réseau de Petri	107
2.3.3.1 Comment utiliser le RdP pour représenter les caractéristiques intrinsèques d'une situation, la disponibilité des actions et les règles métier ?.....	107
2.3.3.2 L'utilisation du graphe d'accessibilité dans notre démarche.....	108
2.3.3.3 Le problème de l'explosion combinatoire et sa gestion.....	108
2.3.3.4 Comment représenter l'enchaînement des niveaux à l'aide d'un RdP ? ..	109
2.3.4 Les composants du modèle d'action pour un jeu sérieux de type « étude de cas »	109
2.3.5 Application à Ludiville.....	110
2.3.5.1 Les paramètres d'initialisation.....	110
2.3.5.2 Les règles métiers	112
2.3.5.3 Les transitions	112
2.3.5.4 Les places.....	113
2.3.5.4.1 Rôle de définition des caractéristiques	113
2.3.5.4.2 Rôle de définition des actions disponibles.....	116
2.3.5.5 Exemple : le modèle complet du cas Lemartine	119
2.4 Le modèle des compétences (CM)	120
2.4.1 Quelles définitions pour les compétences dans les jeux sérieux de type « étude de cas » ?	122
2.4.2 Notre définition du modèle des compétences et connaissances.....	123
2.4.3 Notre proposition : la modélisation des compétences dans les jeux sérieux de type « étude de cas »	124
2.4.3.1 Pourquoi utiliser une ontologie pour représenter les compétences ?.....	124
2.4.3.2 Quelle modélisation de l'étude de cas ?.....	125
2.4.3.3 L'ontologie caractérisant une étude de cas dans un jeu sérieux	126
2.4.3.4 Quelle modélisation du domaine de connaissance dans les jeux de type « étude de cas » ?.....	128
2.4.3.5 L'ontologie générique des jeux sérieux de type « étude de cas ».....	129
2.4.4 Application à Ludiville.....	132

2.4.4.1	Méthodologie de construction du modèle de compétences de Ludiville ..	132
2.4.4.1.1	Le domaine de connaissances	132
2.4.4.1.2	La modélisation du jeu de type « étude de cas ».....	135
2.4.4.2	Extrait de l'ontologie utilisée pour l'analyse du cas Lemartine	138
2.4.4.2.1	Partie de l'ontologie liée au domaine de connaissances	138
2.4.4.2.2	Partie de l'ontologie du cas Lemartine liée au jeu	141
2.5	Le modèle de preuves (EM)	143
2.5.1	Objectif 1 : Définir des indicateurs de performance dans un jeu sérieux de type « étude de cas »	144
2.5.1.1	Les indicateurs de complétion, progression.....	144
2.5.1.2	Les indicateurs de ressources.....	144
2.5.1.3	Les indicateurs de comparaison	145
2.5.1.4	Les indicateurs de collaboration	146
2.5.1.5	Les indicateurs de conseils.....	147
2.5.1.6	Les indicateurs de recours à l'assistance	149
2.5.1.7	Les indicateurs sur les compétences	150
2.5.1.8	Les indicateurs sur les erreurs.....	151
2.5.2	Objectif 2 : Définir un modèle de traces des jeux sérieux de type « étude de cas »	152
2.5.3	Objectif 3 : Produire les indicateurs de diagnostic.....	154
2.5.4	Objectif 4 : Définir des règles pour remonter des indicateurs de performances vers les compétences	154
2.5.5	Notre contribution : une classification des actions erronées et un algorithme de diagnostic de ces erreurs	154
2.5.5.1	Une classification des erreurs	154
2.5.5.2	L'algorithme de diagnostic	156
2.5.5.3	La remontée vers les compétences.....	160
2.5.6	Les composants du modèle de preuves pour les jeux sérieux de type « étude de cas »	161
2.5.7	Application à Ludiville.....	162
2.5.7.1	Le modèle de traces	162
2.5.7.2	Les indicateurs de performance	164
2.5.7.3	L'algorithme de diagnostic	167
2.5.7.4	La remontée vers les compétences.....	167
Chapitre 3.	Architecture informatique et mise à l'épreuve de la démarche.....	169
3.1	Architecture informatique.....	169
3.2	Mise à l'épreuve de la démarche	171
3.2.1	Expérimentations de Laalys en classe de section de technicien supérieur.....	171
3.2.2	Transposition à un autre jeu de type « étude de cas » : <i>Play And Cure</i>	177
3.2.2.1	Le projet <i>Play And Cure</i>	177
3.2.2.2	L'architecture du système du diagnostic.....	179
3.2.2.3	Le modèle des actions	181

3.2.2.4	Le modèle de compétences	186
3.2.2.5	Le modèle de preuves	191
Chapitre 4.	Conclusion et perspectives	198
4.1	Objectifs de recherche	198
4.2	Contributions	199
4.3	Limites et perspectives	200
Chapitre 5.	Annexes	201
5.1	La fiche de consigne pour l'utilisation du jeu Politeco en classe de terminale Sciences et technique de gestion (STG) par Yasmina Soulié	201
5.2	Scénario pédagogique : séance de 2 heures (1 heure de jeu et 1 heure de synthèse) 203	
5.3	La grille d'évaluation du jeu Politeco de Yasmina Soulié	204
5.4	La fiche de suivi du jeu Simuland (Isabelle Colombari)	205
5.5	La richesse des réseaux de Petri en matière de représentation des structures de contrôle.....	206
5.5.1	La séquence	206
5.5.2	La boucle	206
5.5.3	La concurrence	207
5.5.4	La conjonction.....	207
5.5.5	Le parallélisme	208
5.5.6	La synchronisation	208
5.6	Description d'un cas client dans Ludiville	209
5.7	Rdp complet cas Lemartine	211
5.8	Questionnaire d'évaluation des connaissances en crédit immobilier présentes dans Ludiville	212
5.9	Descriptif d'un cas patient « Nadine Rousseau » dans <i>Play And Cure</i>	213
Index des figures	220
Bibliographie	223

Introduction. Cadre général, problématique et méthodologie de recherche

1.1 Introduction générale

L'intégration des TIC (technologies de l'information et de la communication) dans la formation scolaire ou professionnelle est toujours l'objet de préoccupations importantes. En témoignent, les nombreux financements accordés par les différents gouvernements pour des projets en e-éducation. L'idée étant d'adapter la formation aux nouvelles générations, que l'on qualifie de « génération Y » en référence aux écouteurs qu'ils portent fréquemment autour de leur cou.

Le jeu sérieux constitue l'un des outils innovants de ces dernières années en matière de pratique pédagogique, comme le confirme le succès important d'*America's Army*, jeu de tir multi-joueurs développé par l'armée américaine pour valoriser son image et susciter des vocations.

L'année 2002, année de sortie d'*America's Army*, est le point de départ de la « vague actuelle des *Serious Games* » (Djaouti, 2011). Nous considérons *America's Army* comme une référence de jeu sérieux.

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 ». (Dupire, Labat, & Natkin, 2011) utilisent le terme de « jeu utile ».

(Fabricatore, 2000) insiste, quant à lui, sur l'expérience vécue dans le jeu à travers le *gameplay*. Pour lui, c'est elle qui permet l'apprentissage. Il s'agit donc pour le *game designer*, c'est-à-dire le concepteur du jeu, d'incorporer les connaissances au sein même des mécaniques de jeu. Les travaux de vulgarisation de (Prensky, 2003) mettent en avant la motivation et l'engagement de l'apprenant. Bien que nous nous focalisions sur l'utilisation du jeu sérieux en tant qu'outil de formation, il convient de préciser que les jeux sérieux peuvent

être utilisés pour d'autres usages tels que la communication, le marketing, la sensibilisation collective à des causes sociales et/ou écologiques. C'est, par exemple, le cas du jeu Écoville¹ dont l'objectif est de faire construire au joueur une ville propre tout en tenant compte de la population, de sa consommation d'énergie et d'un budget limité. Le site de la Marine nationale² est un bon exemple d'utilisation de jeux sérieux à des fins de communication. L'objectif est ici de communiquer sur le métier de marin et de susciter des vocations.

Dans le cas où le jeu sérieux est un outil de formation, il est d'autant plus important de maintenir le joueur/apprenant dans une expérience de jeu optimale. L'hypothèse sous-jacente est que plus l'apprenant reste dans le jeu, plus il est susceptible d'apprendre. L'expérience optimale fait référence à l'état subjectif de se sentir bien (Csikszentmihalyi & Patton, 1997). Selon (Csikszentmihalyi, 2004), il y a des milliers de possibilités ou de défis susceptibles de favoriser le développement de soi (par l'expérience optimale). L'expérience peut donc être provoquée. L'idée est d'aider l'apprenant à avancer dans le jeu, de contribuer au succès de ses missions.

Le débriefing peut être un moyen de soutenir le *flow* optimal de l'apprenant. Les bilans et les conseils prodigués permettent, en principe, à l'apprenant d'avancer et de mieux réussir dans le jeu. De nombreux travaux de recherche portent sur le débriefing et son importance d'un point de vue pédagogique notamment dans les jeux sérieux (Hays et al., 2009) (Lane et al., 2008). « *To be educational, feedback should be constructive. In other words, the feedback should not just reveal to learners that their knowledge is incomplete, inconsistent, or unparsimonious, but should help them see how to change their knowledge to become more complete, consistent, or parsimonious* » (Malone, 1981).

Or, très peu de jeux sérieux proposent des *feedbacks* à destination du joueur et des interfaces de bilan permettant de favoriser l'apprentissage et le « rejeu ». Dans (P. Thomas, 2012), nous analysons les connaissances mises en œuvre dans les jeux sérieux en économie-gestion. Nous montrons également les différents types de débriefing existants dans les jeux sérieux.

¹ <http://www.ecovillejeu.com/>

² <http://www.etremarin.fr/dans-la-peau-dun-marin>

Un premier type de débriefing consiste seulement à montrer à l'apprenant les connaissances maîtrisées par rapport à une performance maximale. C'est le cas, notamment, dans Ma cyber Auto-Entreprise³ ou Hair Be12. Ma cyber Auto-Entreprise est à destination des auto-entrepreneurs. Le jeu permet de découvrir les différentes étapes de la création de ce statut. Hair Be12, quant à lui place le joueur dans le rôle d'un gestionnaire de salon de coiffure. Dans les deux cas, les bilans proposés au joueur montrent les connaissances acquises et manquantes sans aucune autre précision. Sur la Figure 1, le suivi de l'activité du joueur indique qu'il maîtrise la facturation des clients et la gestion des impayés. Dans le cas de Hair Be12 à la Figure 2, le joueur a progressé sur sa maîtrise de la relation client, tandis que la compétence de consultation est en baisse. Ce bilan ne permet pas au joueur de progresser mais juste de situer son niveau. Il s'agit d'une évaluation sommative.



Figure 1 : Le bilan de Ma cyber Auto-Entreprise

³ <http://www.macyberautoentreprise.pme.gouv.fr/>



Figure 2 : Le bilan de Hair Be12

Dans Simuland, le débriefing a une valeur stimulante. Il s'agit de comparer la performance de l'apprenant à celle des autres joueurs afin d'encourager le challenge. La Figure 3 nous montre les indicateurs d'évaluation de la performance : le score, le niveau atteint et le nombre de parties jouées. Il s'agit de ce que l'on appelle les *Hall of Fame*, salle des trophées. Ils ont vocation à stimuler les joueurs et à les inciter à améliorer leurs performances par rapport aux autres.

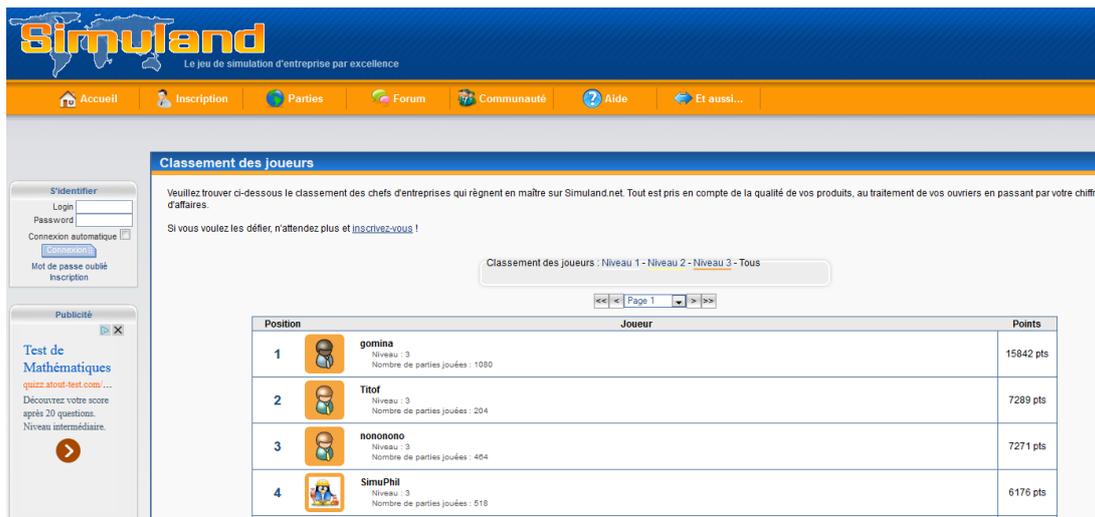


Figure 3 : Le palmarès de Simuland

Néanmoins, on constate une nette amélioration des interfaces de bilan depuis quelques années avec le recours important aux jeux sérieux dans la formation professionnelle. Dans (Lavergne Boudier & Dambach, 2010), les auteurs montrent, notamment, comment les jeux sérieux sont utilisés en tant qu'outil de formation en entreprise. Ils analysent plusieurs jeux dont le projet *StarBank*, jeu de découverte des différentes activités bancaires, développé par KTM Advance, pour BNP Paribas. Dans ce jeu, le débriefing est un moyen de guider et d'accompagner l'apprenant vers l'apprentissage en l'aidant à comprendre ses erreurs. Dans la Figure 4, le joueur comprend les raisons de la faillite de la banque. Certaines activités lancées par le joueur, telles que l'assurance ou l'immobilier, l'ont conduit à la faillite. Dans (Carron & Marty, 2012), les auteurs présentent également des interfaces permettant de suivre la progression et le comportement de l'apprenant.



Figure 4 : Le bilan de *StarBank*



Figure 5 : Les conseils prodigués au joueur dans *StarBank*

Dans la Figure 5, le jeu explique au joueur qu'il a réalisé les activités d'assurance et d'immobilier prématurément. D'autre part, il n'a pas assez développé sa clientèle : sa banque ne possède que 56 100 clients alors qu'il en faudrait 60 000 pour le développement du réseau bancaire.

La mise en place d'indicateurs de suivi et de performance de l'apprenant reliés aux connaissances, tels que ceux présentés pour le jeu *StarBank*, est coûteuse et souvent *ad hoc*, c'est-à-dire intégrée directement dans le code source du jeu.

Parallèlement, lorsque le jeu fait partie d'un dispositif de formation à distance et/ou en présentiel, le tuteur ou l'animateur de la formation manque également de retours. (Labat, 2002) a montré les difficultés pour le tuteur de percevoir l'activité de l'apprenant dans le cadre de formations à distance.

En général, à l'issue d'une session de formation en ligne, l'apprenant effectue une évaluation, souvent sous forme de quiz. Les plateformes d'apprentissage stockent comme indicateur de performance le temps passé par l'apprenant et le score obtenu au quiz. Ces indicateurs sont insuffisants en termes d'apprentissage.

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, 2009) (Connolly, Stansfield, Hainey, & Cousins, 2009).

Enfin, lorsqu'un enseignant utilise un jeu sérieux en classe (virtuelle ou réelle), il lui est difficile d'avoir un retour sur les actions effectuées par l'élève. 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 jeux sérieux proposent des interfaces à destination des enseignants. Quand cette interface existe, elle est souvent limitée. Certains enseignants 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 du jeu, un questionnaire d'évaluation pour identifier si les connaissances sont acquises. Par exemple, Yasmina Soulié, enseignante en économie-gestion, dans son compte rendu d'expérimentation⁴ du jeu Politeco⁵, demande à ses élèves de remplir une fiche de suivi du jeu (*cf.* annexe 5.3). Dans ce jeu, le joueur incarne un président de la République et prend des décisions telles que l'allocation du budget, la réglementation du travail, la politique fiscale. L'objectif étant de prendre des mesures adaptées aux situations rencontrées et de se faire réélire.

⁴ Disponible en ligne : http://www.ac-aix-marseille.fr/pedagogie/jcms/c_278908/fr/politeco

⁵ Disponible en ligne : <http://www.animeco.fr/politeco/index.html>

Dans cette fiche de suivi de jeu, l'enseignante demande en effet aux étudiants de reprendre les indicateurs de jeu et de lister les décisions prises (cf. annexe 5.3).

De même, Isabelle Colombari, enseignante en économie-gestion en classe de BTS MUC (Management des unités commerciales) demande à ses étudiants un compte rendu⁶ (cf. annexe 5.4) des décisions prises dans le cadre du jeu d'entreprise Simuland⁷. Il s'agit d'un jeu multijoueur au tour par tour, dans lequel les joueurs adoptent le rôle d'un chef d'entreprise. Ils prennent des décisions stratégiques telles que la politique commerciale (fixation du prix, lancement de nouveaux produits), la politique de ressources humaines (recrutement, licenciement). L'enseignante demande à ses étudiants de récapituler l'ensemble des décisions prises à chaque tour à l'aide d'un tableau (cf. annexe 5.4).

Des outils pour concevoir le suivi et le diagnostic de l'apprenant à travers un jeu sérieux semblent donc nécessaires pour utiliser le jeu sérieux comme outil d'apprentissage et de formation.

Nous nous intéressons donc à outiller l'enseignant et l'apprenant pour le diagnostic des connaissances, l'analyse de l'activité et l'identification des erreurs et des performances réalisées.

1.2 Contexte : les jeux sérieux de type « étude de cas »

Dans le cadre de nos travaux, nous nous focalisons sur les domaines de la formation professionnelle et de l'enseignement scolaire en économie-gestion. En effet, il s'agit de notre discipline de prédilection, de nombreuses ressources destinées à la communication et/ou à la formation professionnelle ont été reprises par les enseignants pour les intégrer en classe. Le site de Bernard Leconte, enseignant dans l'académie d'Aix-Marseille, contient un panel de jeux sérieux et des retours sur les pratiques associées⁸.

Une des thématiques fréquemment abordée en économie-gestion est l'étude de cas. Plusieurs jeux sérieux adoptent la méthodologie de l'étude de cas.

⁶ Disponible en ligne : http://www.ac-aix-marseille.fr/pedagogie/jcms/c_274241/fr/utilisation-de-simuland-en-bts-muc

⁷ <http://www.simuland.net/fr/index.php>

⁸ Disponible ici : http://www.pearltrees.com/#/N-u=1_122254&N-p=27920508&N-fa=1323199&N-f=1_3603128&N-s=1_3603128

L'étude de cas (ou méthodologie des cas) a été inventée dans les années 1920 pour l'enseignement du droit à la Harvard Business School. « *Un cas est un objet, un événement, une situation constituant une unité d'analyse. Cette unité est découpée dans la réalité et s'inscrit donc dans un contexte qui ne doit pas être négligé* » (Leplat, 2002). Une étude de cas consiste donc à résoudre un problème posé à l'aide d'outils techniques et/ou théoriques dans un contexte donné. L'apprenant se retrouve dans une démarche d'investigation et de prise de décision. Les jeux sérieux de type étude de cas sont souvent des simulations, le jeu est assez proche de la réalité (peu de métaphores ou d'enrobage ludique). Les actions de jeu correspondent à des actions métier réelles.

L'étude de cas au sens général se décompose en différentes étapes :

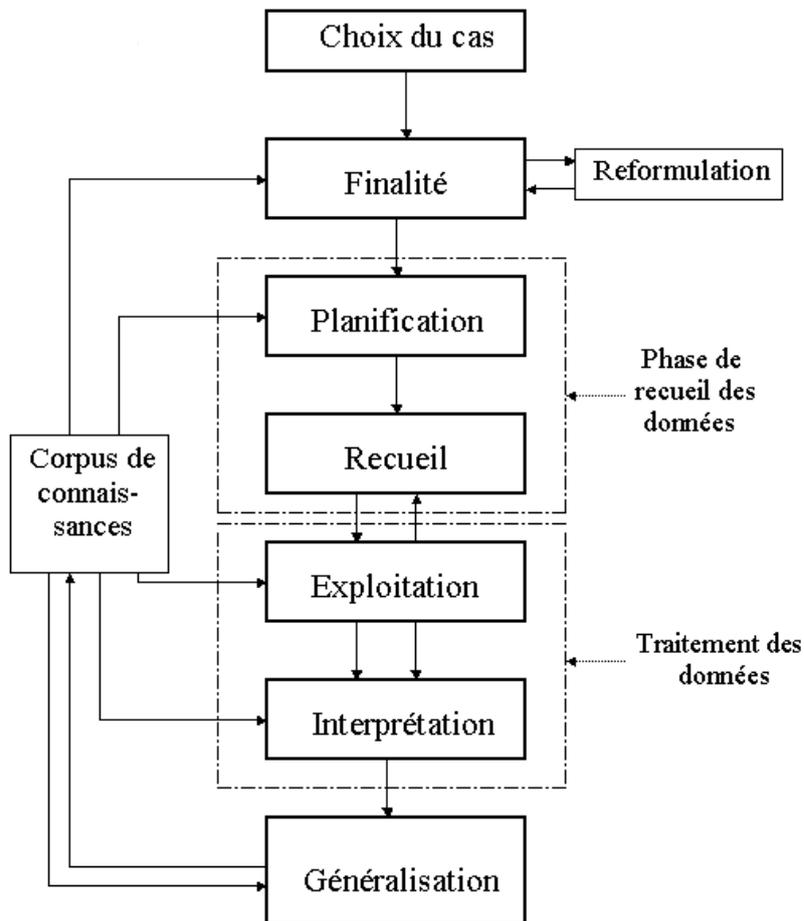


Figure 6 : Les étapes de l'étude de cas (Leplat, 2002)

D'après la Figure 6, l'étude de cas peut se décomposer en trois étapes principales qui sont le recueil de données, leur traitement et la généralisation.

Dans les jeux sérieux de type « étude de cas », l'apprenant enchaîne les différents cas, souvent classés dans un ordre de difficulté croissante. Il répète, pour chaque cas, les étapes de collectes et de traitement de l'information. Des décisions, positionnements, formulations d'hypothèse par l'apprenant sont également présentes. Un cycle peut être mis en place afin de conduire le joueur/apprenant à ajuster ses hypothèses en fonction des données collectées et de leur analyse. La phase d'analyse n'est pas forcément explicite dans le jeu.

Dans le cadre de la formation professionnelle, le recours aux études de cas en version papier et/ou en mode « jeu de rôle » est très fréquent. Cela permet de mettre l'apprenant dans son contexte de travail réel et de simuler son activité.

Les jeux sérieux adoptent la même perspective en utilisant notamment les technologies du jeu vidéo pour réaliser les simulations et favoriser l'immersion du joueur dans le contexte.

Nous avons participé, en tant que consultant, au projet de conception du jeu sérieux Ludiville, réalisé par KTM Advance, pour le groupe Banque Populaire Caisse d'Épargne⁹. Il permet aux conseillers clientèle particulier du groupe de s'entraîner au montage de dossiers de prêt immobilier. Le joueur se retrouve dans la position d'un conseiller *clientèle particuliers* qui doit monter les dossiers de prêt de différents clients se présentant à l'agence. Il s'agit non seulement pour l'apprenant d'identifier les documents requis mais aussi d'adopter les bonnes procédures métier selon le profil du client.

Notre collaboration à ce projet se situe sur deux aspects : l'ingénierie des connaissances et la conception d'un outil de suivi et de diagnostic de l'apprenant.

Ce projet va nous servir de fil rouge pour la présentation de notre démarche.

1.3 Problématique et méthodologie

Notre objectif est donc de fournir un outil de suivi et de diagnostic des connaissances de l'apprenant dans le cadre de jeux sérieux de type étude de cas. Il s'agit d'outiller le tuteur, le formateur pour comprendre ce qu'il s'est passé durant le jeu. L'idée est également de

⁹ http://www.ktm-advance.com/viewProject_fr.php?id=117

permettre à l'apprenant de comprendre ses erreurs et d'identifier les éléments qu'il ne maîtrise pas.

Nous aborderons cette problématique en tentant de répondre aux questions de recherche suivantes :

- Quelles méthodes sont à mettre en place pour concevoir le suivi de l'apprenant à des fins de diagnostic à destination de l'enseignant et de l'apprenant ?
- Quels indicateurs doit-on proposer à l'enseignant pour analyser l'activité de l'apprenant ?

Dans un premier temps, comme entrée en matière, nous avons analysé le jeu sérieux *StarBank The Game* afin de comprendre les éléments constitutifs du jeu et les besoins en matière de suivi de l'apprenant.

Nous avons mis en évidence la nécessité de modéliser les connaissances du domaine et les objectifs pédagogiques associés. Nous avons eu également besoin de modéliser les actions à disposition du joueur. Enfin, afin de relier les actions aux connaissances du domaine, il a été nécessaire d'analyser les traces et de mettre en place des règles pour remonter des traces vers les connaissances de l'apprenant/joueur.

Ces éléments sont constitutifs du cadre méthodologique de l'*Evidence Centered Design* (ECD) (Mislevy, Steinberg, & Almond, 2003). Les fondements sous-jacents d'ECD viennent de (Messick, 1994). Le processus commence par identifier ce qu'on veut 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 performances 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 trois modèles théoriques qui travaillent de concert : le *modèle de compétences*, le *modèle de preuves* et le *modèle de tâches*.

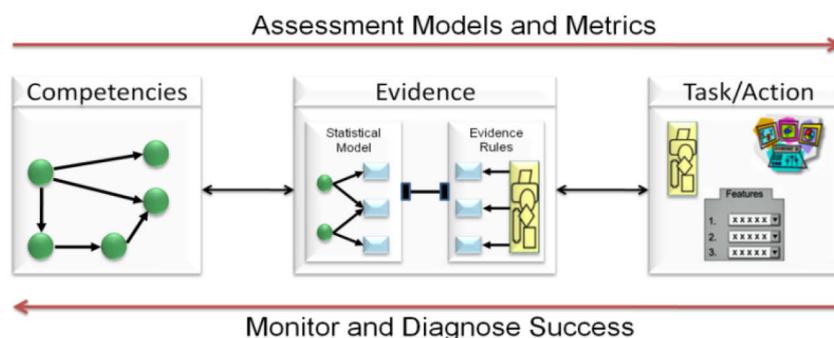


Figure 7 : Les trois principaux modèles de l'*Evidence Centered Design*

Le modèle de compétences permet de mesurer les connaissances de l'apprenant. Il est composé d'items du modèle du domaine. Des inférences sont effectuées afin d'évaluer le degré de maîtrise de ces items par l'apprenant.

Le modèle de preuves fait le lien entre les traces observées et la remontée aux connaissances du modèle de l'apprenant. Il permet par exemple de définir des règles de *scoring* pour inférer la maîtrise ou non de telle ou telle compétence à partir des observables et du contexte.

Le modèle de tâches est le modèle d'actions. Il fournit un cadre pour la caractérisation et la construction de situations avec lesquelles l'apprenant va interagir pour fournir des preuves sur des aspects ciblés de connaissances ou d'attitudes liées aux compétences. Il s'agit des séquences d'actions qui sont modélisées de manière dynamique afin de les utiliser pour les inférences. Les actions représentent ce que l'apprenant fait pour réaliser une mission ou résoudre un problème.

Nous nous appuyons donc sur ce cadre méthodologique pour nos travaux de recherche. Notre système Laalys (*Learner Activity ANALYSer*) décline les différents modèles ECD.

Conformément à la première étape de la méthode ECD et en nous appuyant sur le contexte de Ludiville, nous nous sommes intéressés à la modélisation des tâches de l'apprenant (le modèle de tâches). Pour un jeu sérieux, il s'agit plutôt de modéliser les actions effectuées par l'apprenant et leur contexte. Les règles de preuves témoignent de la maîtrise des connaissances métier. Pour modéliser les règles métier, nous nous sommes tournés vers les méthodes formelles. En effet, les méthodes formelles constituent une base solide en informatique pour construire des outils, aussi nous nous penchons sur les travaux qui ont

utilisé ces méthodes afin de construire un suivi et un diagnostic de l'apprenant. Nous distinguons les méthodes numériques des méthodes symboliques. Les méthodes numériques nécessitant un volume de données important, que nous n'avons pas, nous nous sommes donc tournés vers les méthodes symboliques.

Les réseaux de Petri ont attiré notre attention. En effet, il s'agit d'un outil formel et graphique qui permet de modéliser les systèmes dynamiques. Il permet de représenter les notions de séquentialité, de parallélisme et concurrence. À partir d'un réseau de Petri initial, il est possible à l'aide du graphe d'accessibilité de calculer l'ensemble des états possibles.

(Brom, Šisler, & Holan, 2007) ont utilisé les réseaux de Petri pour modéliser les scénarios de jeu sérieux. (Del Blanco et al., 2010) recourent, quant à eux, à des machines à état afin d'automatiser le suivi du joueur.

Le réseau de Petri est construit à partir de la modélisation des caractéristiques du domaine. Il intègre ensuite les procédures et comportements recueillis auprès des experts du domaine.

Le modèle de preuves se situant entre le modèle d'actions et les modèle de compétences, nous commençons par présenter le modèle de compétences.

Ce modèle a pour objectif d'identifier ce que l'on veut évaluer en termes de compétences, connaissances de l'apprenant. Il s'agit donc de construire le modèle des connaissances et de compétences du domaine.

Des outils tels que les cartes conceptuelles et les ontologies sont mobilisés. Pour construire le modèle du domaine du montage de dossiers de prêt immobilier, nous nous sommes basés sur des descriptions textuelles de cas clients fournies par des formateurs du groupe BPCE. Une quinzaine de cas de formations nous ont été fournis sous forme textuelle. Ces cas nous ont permis d'identifier les données constitutives d'un dossier de prêt mais aussi des règles métier quand le formateur a jugé utile d'ajouter un commentaire. Des entretiens semi-directifs (environ 50 heures au total) avec le formateur nous ont permis de comprendre et d'extraire les procédures et leur contexte d'utilisation.

Ce travail d'ingénierie des connaissances a servi également de base à la conception du jeu sérieux. Nous avons adopté une posture d'intermédiaire entre le *game designer* et l'expert

du domaine. Notre modélisation des connaissances a permis au concepteur du jeu d'appréhender le contexte du crédit immobilier et les notions clés à transmettre à l'apprenant joueur.

Ensuite, dans la mesure où l'acquisition des compétences n'est pas directement observable, nous avons identifié les comportements et les performances qui peuvent être mesurables. Il s'agit de construire le modèle de preuves. Nous nous sommes basées sur les traces produites par l'apprenant lorsqu'il traite les différents cas clients. À partir de l'analyse de ces traces, nous avons construit des indicateurs de performance de l'apprenant.

Nous nous focalisons sur l'erreur car c'est une caractéristique essentielle du jeu sérieux : l'apprenant peut se tromper sans conséquences dans la réalité. L'objectif est justement d'apprendre par essais/erreurs. L'apprentissage se fait par prise en compte et analyse des conséquences des erreurs et modification de la stratégie mise en œuvre. Comme le montre Astolfi, dans *L'erreur, un outil pour enseigner* (Astolfi, 1997), l'erreur a un statut dans l'apprentissage, il ne faut pas la nier ou l'éliminer mais plutôt l'utiliser :

*« Se confronter à des difficultés, à des défis, à des opinions variées, à des “errances” passagères constitue un véritable moteur pour l'apprenant qui est amené à rechercher de l'information, à s'appropriier des matières scientifiques, à se questionner de façon autonome, etc. Si à chaque erreur ou hésitation, la seule réponse qu'il/elle reçoit est une sanction, il y a peu de chance qu'il/elle persévère. »*¹⁰

Pour construire les indicateurs, nous sommes basés sur la classification des erreurs de Hollnagel que nous avons adaptée aux jeux sérieux (Hollnagel, 1998b).

Ainsi, dans le cadre de nos travaux sur les études de cas, nous avons identifié des erreurs liées à la séquence des actions, à la pertinence ou à l'optimalité par exemple.

De plus, pour la remontée aux connaissances à travers le modèle de preuves, nous utilisons, en complément, une ontologie des actions de jeu qui représente les relations entre actions de jeu et leur contexte d'utilisation. Cette ontologie est rattachée au modèle du domaine afin d'identifier le contexte d'utilisation de telle ou telle action. Nous avons également choisi les ontologies pour leur puissance sémantique. Celle-ci pourrait s'avérer utile si l'on souhaite implémenter des règles de *feedback* précises en fonction des erreurs de

¹⁰ Extrait de : <http://pedagogieuniversitaire.wordpress.com/>

l'apprenant. La régulation n'étant pas notre objet d'étude, nous n'avons pas implémenté ces fonctionnalités mais avons mis en place les éléments nécessaires pour cela.

Enfin, nous présentons les résultats de l'analyse à l'enseignant et à l'apprenant. L'objectif est de fournir un retour pertinent au tuteur afin de lui permettre d'identifier les situations de blocage, les difficultés rencontrées par les joueurs apprenants : les cas problématiques (nombre de tentatives important), les étapes difficiles dans le cadre d'un cas (erreurs fréquentes) par exemple. Il s'agit de fournir des interfaces simples, synthétiques en recourant à des schémas, des codes couleurs, afin de ne pas surcharger cognitivement l'enseignant par trop d'informations.

Concernant l'apprenant, l'objectif est de favoriser la métacognition : lui faire comprendre pourquoi une action de jeu est erronée. L'erreur est par exemple liée à une mauvaise compréhension du contexte, l'action est inadaptée au cas traité.

Comme notre outil a été construit sur la base de Ludiville, nous l'avons mis à l'épreuve sur un autre jeu de type étude de cas : *Play And Cure*. L'objectif de ce projet est de former des étudiants en médecine à l'analyse différentielle et la détection de pathologies.

L'étudiant adopte le rôle d'un médecin se trouvant confronté à un patient avec différents symptômes. Le but de l'apprenant est donc de mener les différentes étapes d'un diagnostic et au fur à mesure de son avancement d'infirmier et/ou confirmer ses hypothèses sur telle ou telle pathologie.

Dans le cadre de ce jeu, une adaptation de Laalys fournit un diagnostic en temps réel à l'apprenant à la fin de chaque étape du jeu.

1.4 Plan de thèse

Dans le chapitre 1, nous nous focalisons sur les méthodes de diagnostic. Nous commençons par l'étude d'un jeu sérieux et l'implémentation d'un système de suivi *ad hoc*. Nous étudions ensuite un système à base de traces dans les jeux sérieux, puis nous explorons les méthodes utilisées dans le suivi en distinguant les méthodes numériques des méthodes symboliques.

Dans le chapitre 2, nous présentons notre démarche en nous appuyant sur le cadre méthodologique de l'*Evidence Centered Design*. Afin d'expliquer notre approche, nous illustrons les différents modèles à l'aide de Ludiville, jeu sérieux à destination des conseillers bancaires, projet auquel nous avons participé.

L'architecture informatique de Laalys et sa mise à l'épreuve sont présentées dans le chapitre 3. L'objectif est de montrer ici le fonctionnement de Laalys puis de rendre compte des expérimentations menées. Enfin, nous avons transposé notre méthodologie et appliqué Laalys à un autre jeu sérieux de type « étude de cas », dans le domaine du diagnostic médical : *Play And Cure*.

Chapitre 1. Les méthodes pour le diagnostic des connaissances

1.1 Qu'est-ce que le diagnostic ?

Le *Petit Larousse* en ligne définit le diagnostic comme étant l'« identification de la nature d'une situation, d'un mal, d'une difficulté, etc., par l'interprétation de signes extérieurs »¹¹.

Le diagnostic consiste donc à identifier ce qui ne va pas à partir d'observables. Dans le domaine des environnements informatiques d'apprentissage, la définition proposée par (Hibou & Py, 2006) nous semble la plus appropriée à notre démarche. Les auteurs définissent le diagnostic comme étant « un processus visant à inférer les caractéristiques cognitives d'un sujet à partir de son comportement : on fait l'hypothèse que les observables recueillis à l'interface manifestent un certain état de connaissances, et l'on cherche à reconstruire cet état de connaissances sur la base des observations ». Nous présentons donc ici les systèmes qui permettent, à partir d'observables, d'inférer le niveau de connaissance de l'apprenant. Nous nous situons à la fois sur une analyse comportementale et épistémique dans la mesure où, à partir du comportement, nous déterminons les éléments maîtrisés ou pas.

Les méthodes formelles constituent une base solide en informatique pour construire des outils, aussi nous nous penchons sur les travaux qui ont utilisé ces méthodes afin de construire un suivi et un diagnostic de l'apprenant. Après avoir présenté une méthode *ad hoc* permettant un suivi précis dans le jeu sérieux *StarBank The Game* ainsi qu'un système à base de traces pour les jeux sérieux, nous distinguons les méthodes numériques des méthodes symboliques. Dans les deux cas, nous prendrons appui non seulement sur des travaux dans le domaine des environnements informatiques pour l'apprentissage humain mais aussi dans le jeu vidéo et le jeu sérieux.

¹¹ <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/diagnostic/25154>

1.2 Une méthode *ad hoc* comme entrée en la matière : modification du code source et intégration dans une plateforme d'apprentissage

Même les jeux vidéo les plus simples disposent d'un outil de suivi, c'est-à-dire un outil permettant d'identifier la progression du joueur. L'outil n'est pas explicite en lui-même et n'a pas d'existence propre mais c'est le suivi qui permet le passage de niveaux.

Pour passer au niveau supérieur, le système attend du joueur un ou plusieurs des éléments cités ci-dessous :

- exécution d'une ou plusieurs actions (parfois selon un ordre précis) ;
- respect du temps (minuteur) ;
- atteinte d'un seuil pour des indicateurs du jeu (nombre d'objets collectés, type d'objets...) ;
- atteinte d'une zone spécifique.

Ces éléments ont été repris dans les jeux sérieux utilisant des méthodes que nous qualifierons d'*ad hoc*.

Lorsque l'on souhaite ajouter un outil de suivi pédagogique précis à ce type de jeu sérieux, la démarche peut s'avérer complexe. En effet, il est nécessaire d'adopter une procédure de *reverse engineering* afin de reconstruire le modèle des connaissances du jeu. Les actions pertinentes du joueur doivent ensuite être identifiées et reliées aux items du modèle de connaissance.

À des fins d'exploration, au début de nos travaux, nous sommes intéressés à l'ajout d'un outil de suivi des actions du joueur au jeu *StarBank*. Dans sa version initiale, le jeu identifiait l'exécution de certaines actions clés et/ou l'atteinte de seuils pour des paramètres du jeu afin de permettre le passage de niveau.

1.2.1 Présentation du jeu *StarBank The Game*

*StarBank The Game*¹² a été développé par l'entreprise KTM Advance pour le groupe BNP Paribas.

L'objectif principal de ce jeu est d'informer les nouveaux entrants sur :

- l'organisation du groupe (les différentes activités) ;
- le collaborateur (et sa carrière, progression, mobilité) dans le Groupe ;
- les grands principes du groupe (citoyenneté, développement durable).

Le jeu est de type « builder », le joueur reconstruit dans l'espace une filiale de BNP Paribas en créant des agences, en développant le siège ainsi que tous les services d'un grand groupe bancaire tout en respectant des principes d'éthique et de responsabilité. Le jeu se décompose en six niveaux correspondant chacun à des missions à remplir.

Le moteur de jeu est complexe et intègre un modèle économique conforme à celui du groupe BNP Paribas. Le passage de niveau, lui, est très simple et n'est que très peu lié au modèle économique. L'examen du code montre que ce passage se fait généralement sur la valeur d'une ou deux variables tout au plus. Ce n'est pas pour autant facile pour le joueur débutant de progresser dans les niveaux.

À des fins de tests, un simulateur du domaine a été développé (Figure 8 : Les indicateurs du simulateur).

Ce simulateur, dépouillé des éléments de jeux, permet de rendre compte des effets d'une décision telle que la création d'agences ou d'un service sur la rentabilité, les dépenses et les recettes sur les indicateurs de jeu.

¹² Version de démonstration accessible à l'adresse suivante : <http://starbankthegame.bnpparibas.com/>

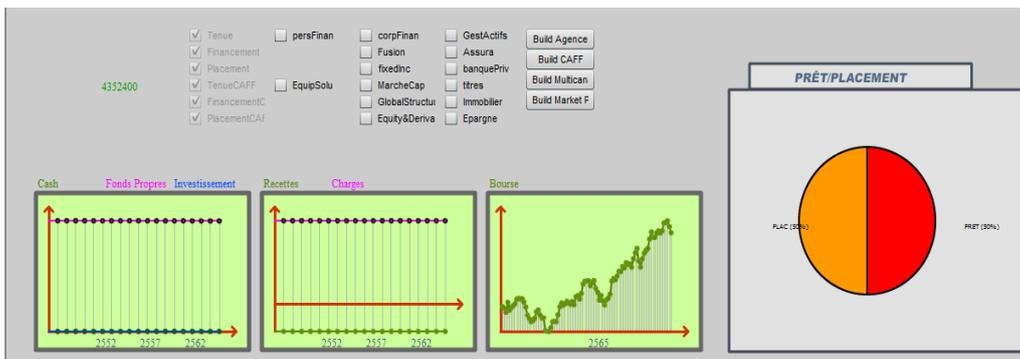
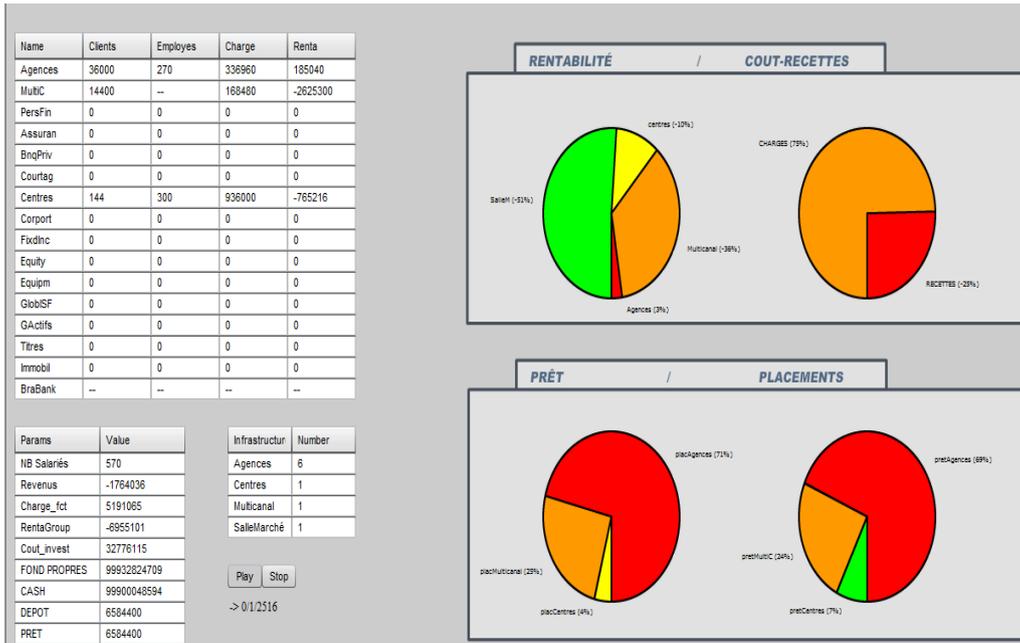


Figure 8 : Les indicateurs du simulateur

Lors d'une partie, le joueur dispose de plusieurs indicateurs :



Figure 9 : Les indicateurs de jeu

Ces différents indicateurs ont pour rôle de représenter respectivement, la banque, les actionnaires, les clients et les employés. L'ensemble de ces quatre indicateurs constitue le score du joueur. Il ne dispose donc pas d'un score à proprement parler mais d'un ensemble de quatre valeurs. La trésorerie est mise clairement avant dans l'interface. Le joueur a donc tendance à se focaliser dessus.

StarBank a constitué pour KTM Advance un projet exploratoire dans le domaine des jeux sérieux, sa conception dura plus de deux ans avec de nombreuses modifications. De ce fait, l'urgence des contraintes de production a conduit l'équipe de développement à minimiser la documentation du code.

1.2.2 Le modèle de connaissances du jeu

L'objectif de *StarBank* est de présenter le groupe BNP Paribas aux nouveaux entrants dans le groupe. Il s'agit plus d'un projet d'information que de formation.

Par l'intermédiaire du jeu, les nouvelles recrues doivent être sensibilisées aux différents métiers et, donc, comprendre à quel moment un métier doit être appelé pour permettre la progression du groupe. Il s'agit donc de vérifier la compréhension de l'organisation bancaire autour de la demande de la clientèle et des caractéristiques du marché mais aussi de prendre conscience des valeurs éthiques et morales du groupe. À travers l'étude des divers documents échangés entre KTM et BNP, ainsi que l'étude du code source du jeu, nous avons extrait le modèle de connaissances présenté en Figure 10.

Le groupe se décline en fonctions, métiers et services. Les métiers constituent le cœur du groupe et regroupent l'ensemble des activités stratégiques. Les fonctions assurent les missions relevant de la gouvernance et de la cohérence du groupe pour les activités transversales et les obligations réglementaires. Les services constituent les briques permettant à une agence (pour les particuliers ou les entreprises) de remplir totalement ses objectifs de satisfaction des clients.

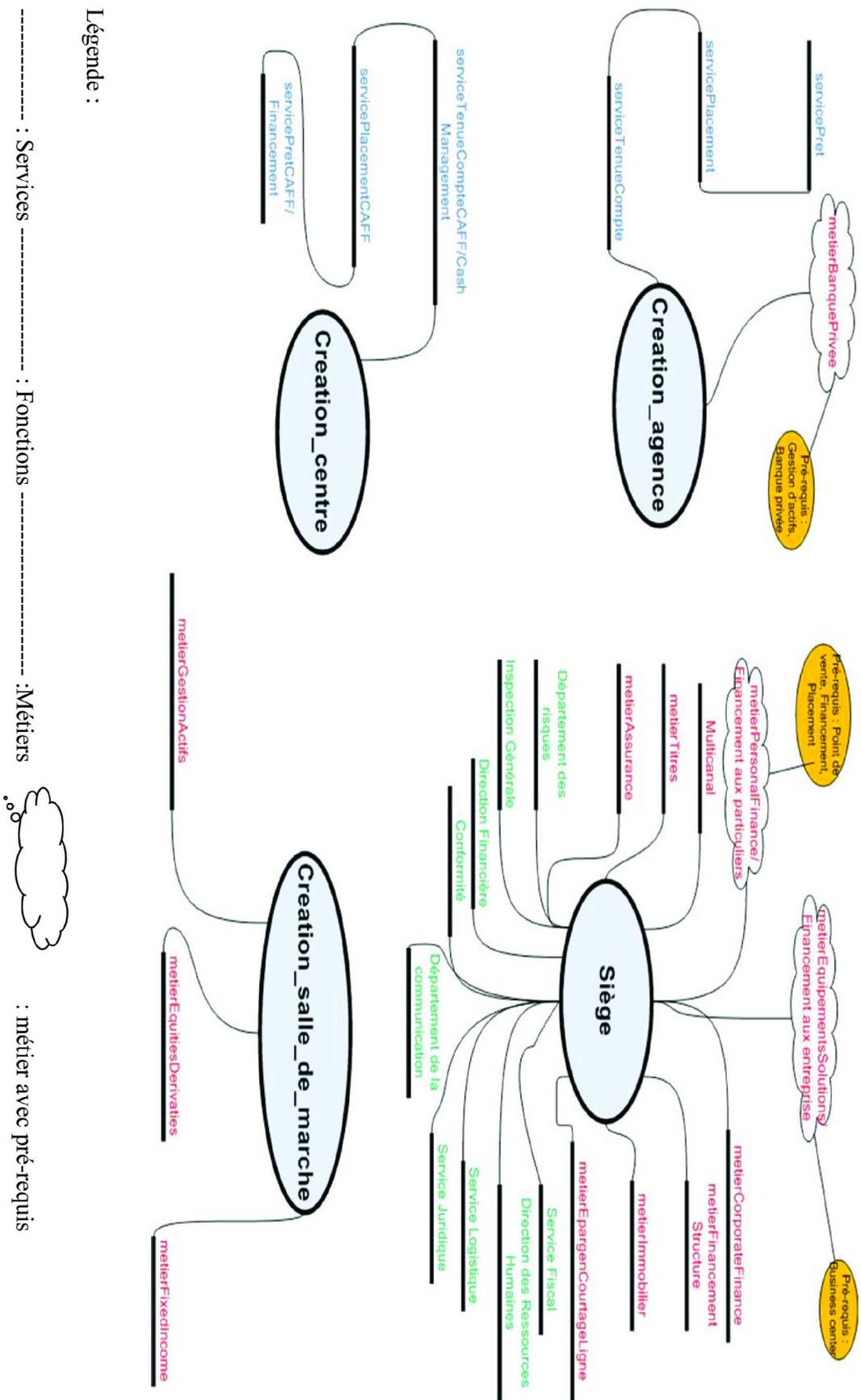


Figure 10 : Le modèle de connaissances du jeu

1.2.3 Les objectifs pédagogiques par niveau

Le jeu se découpe en 6 niveaux. Au début de chaque niveau, le joueur se voit fixer des objectifs à accomplir, tels que le développement de la clientèle des particuliers ou la maîtrise des risques. Il doit donc être capable d'associer à ces différents objectifs, les actions de jeu correspondantes tout en respectant les pré-requis. En effet, certaines actions de jeu ne peuvent être exécutées si d'autres n'ont pas été lancées auparavant.

Le tableau ci-dessous fait correspondre à chaque objectif pédagogique la ou les actions correspondantes. Cette correspondance nous sera utile pour évaluer les performances du joueur.

Niveau	Objectifs dans le jeu	N°	Actions correspondantes	Type d'action	Actions pré-requis(s)
0	Développer la clientèle particuliers	1	Creation_agence	Creation	
0	Développer les services des points de vente	4	ServiceTenueCompte	Service	1
0		5	ServicePlacement	Service	4
0		6	ServicePret	Service	5

Figure 11 : Les objectifs pédagogiques et les actions de jeu correspondantes pour le niveau 0

1.2.4 Le suivi de l'apprenant existant

Celui-ci se résume à l'accomplissement d'actions de jeu critiques définies au préalable dans le code. Il est extrêmement simple et n'inclut pas toutes les actions correspondant aux objectifs pédagogiques fixés. Il est donc possible de passer un niveau sans forcément remplir les objectifs fixés au début du niveau. Cela nous paraît assez incohérent en termes d'évaluation de l'apprenant.

À travers l'étude du code et de nombreuses parties tests, nous avons construit les étapes indispensables à la progression dans le jeu. En comparant ce tableau avec le précédent (les objectifs pédagogiques), nous constatons ainsi qu'au niveau 1, il n'est pas indispensable de maîtriser les risques en créant le « département des risques » pour passer au niveau suivant, or, celui-ci figure dans les objectifs du niveau.

Niv	Actions	Indicateurs	Critères	Indicateurs déduits
0	Creation_agence			
		nbAgences	>=10	
	ServiceTenueCompte			
	ServicePlacement			
1	ServicePret			
	Creation_agence			
	Creation_centre			
	ServiceTenueCompteCAFF			
		nbCentres	>=1	
		nbEntreprises	>600	nbAgences>=27
	Multicanal			

Figure 12 : Les conditions de passage de niveaux

De plus, lorsque le joueur passe un niveau, le bilan fourni à celui-ci est fixe, il s'agit de textes prédéfinis dans un fichier XML, identiques quels que soient les choix stratégiques du joueur.

Une analyse personnalisée est effectuée lorsque le joueur perd mais elle n'est pas sauvegardée. En voici un exemple.



Figure 13 : L'analyse de fin de partie

Le commentaire fait apparaître une analyse en termes de prématurité des actions. En fait, pour chaque niveau, dans le code, les actions prématurées ont été prédéfinies avec un coefficient allant de -1 à -3 . Le bilan est donc construit dynamiquement par comparaison entre les actions du joueur et le code prédéfini.

Des indicateurs de rentabilité sont calculés et permettent de montrer au joueur quelles sont les activités qui grèvent son budget.

1.2.5 Les améliorations en termes de suivi de l'apprenant

Les objectifs du nouvel outil de suivi l'apprenant sont les suivants :

- identifier plus précisément l'ensemble des décisions prises par le joueur ;
- fournir le retour de ces actions de jeu au formateur ;
- améliorer les interfaces de bilan fournies à l'apprenant.

1.2.5.1 L'intégration du jeu dans une plateforme d'apprentissage

Pour identifier précisément l'ensemble des actions du joueur, il a fallu modifier le code source du jeu. En effet, le jeu était codé de manière à détecter l'accomplissement d'actions clé pour déclencher le passage de niveau, les autres actions de jeu n'étaient pas sauvegardées.

Nous avons donc fait le choix de sauvegarder l'ensemble des actions du joueur. Le jeu étant développé en Flash Action Script, les données ont été sauvegardées sous forme de cookies (*Shared Object*).

L'objectif étant de fournir un retour à un formateur, le jeu a été intégré dans une plateforme d'apprentissage. Les plateformes possèdent une architecture permettant un suivi de base des activités de l'apprenant : score, temps passé, nombre de tentative, date de dernière connexion. Néanmoins, ces éléments sont insuffisants par rapport aux objectifs de suivi assez précis.

Nous avons donc fait appel au champ « Suspend_data » existant dans les plateformes d'apprentissage de la norme SCORM (*Sharable Content Object Reference Model*).

Ce champ permet de stocker des données et de les récupérer par la suite dans la plateforme.

Le jeu a ensuite été transformé en package compatible SCORM : un SCO (*Sharable Content Object*). Une API permet d'envoyer les données récupérées par le jeu vers le module de suivi de l'apprenant de la plateforme d'apprentissage.

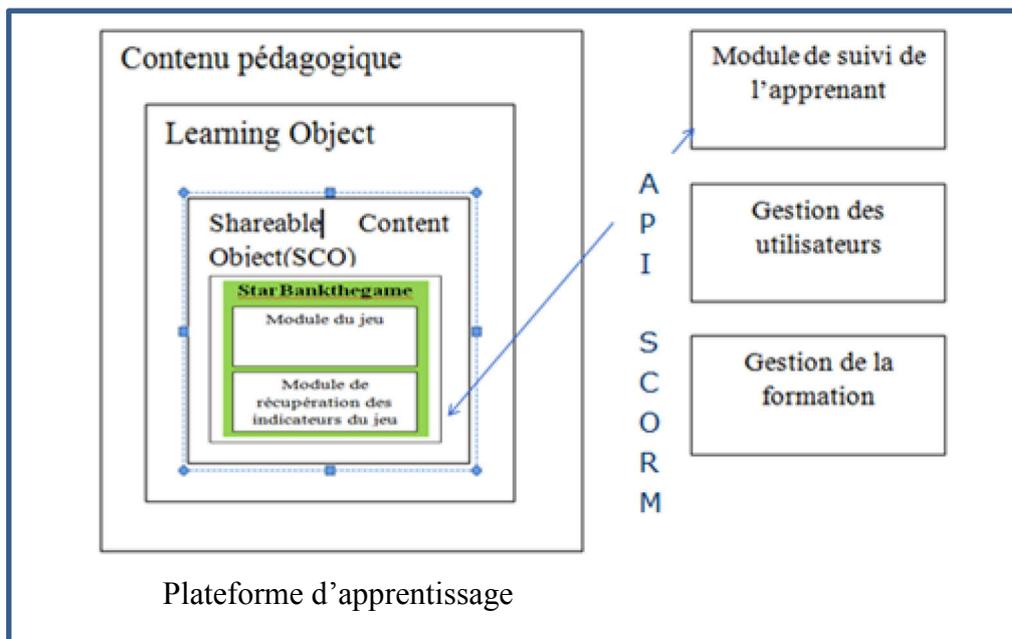


Figure 14 : L'intégration du jeu dans une plateforme d'apprentissage

Le formateur peut donc suivre en détail l'accomplissement des objectifs pédagogiques via son interface de suivi habituelle.

Pour chaque niveau de jeu, les objectifs pédagogiques sont affinés et le pourcentage de complétion est calculé en fonction des actions du joueur par rapport à celles qui sont nécessaires.

Attemp 1 Failed		StarBank the game			
Order	Objective ID	Objective status	Objective learner score	Objective max score	Objective min score
1	Niveau 0	Completed	59	100	0
1.1	Développer la clientèle des particuliers	Completed	100	100	0
1.2	Développer les services des points de vente	Completed	100	100	0
2	Niveau 1	Failed	0	100	0
2.1	Capter la clientèle des particuliers	Not attempted	0	100	0
2.2	Maîtriser les risques	Completed	100	100	0
2.3	Multiplier les canaux relationnels avec les clients	Not attempted	0	100	0

Figure 15 : L'interface de suivi du formateur

1.2.5.2 L'amélioration des interfaces de bilan

Dans le même esprit que l'amélioration du suivi à destination de l'enseignant, les interfaces de bilan à destination de l'apprenant ont été modifiées en visant un double objectif : fournir un bilan encourageant de ses performances et prodiguer des conseils afin d'améliorer les performances.

La nouvelle interface de bilan se décompose en deux écrans successifs :

- un écran présentant le bilan du joueur avec l'accomplissement ou non des objectifs pédagogiques du niveau et la répartition des activités développées avec leur rentabilité ;
- un écran de conseil analysant les causes de l'échec.

Afin de mieux traduire les informations transmises au joueur, nous avons décidé d'utiliser les codes couleurs courants : un objectif validé ou une activité rentable sont marqués en vert, les échecs ou les activités non rentables en rouge.



Figure 16 : Le nouveau bilan

Concernant la précocité des actions, nous passons du jaune (un peu tôt) à l'orange (tôt) puis au rouge (très prématuré). En cliquant sur chacune des activités prématurées, le joueur a la possibilité de faire apparaître l'effet sur la rentabilité de sa décision.

À droite, il peut également comparer sa performance en termes de clientèle par rapport au seuil requis.



Figure 17 : Les conseils de fin de partie

1.2.6 Les inconvénients de cette méthode

Cette première approche efficace est assez difficilement transférable. En effet, les solutions étaient directement intégrées dans le code source du jeu. Pour chaque niveau, des fichiers XML indiquent les solutions attendues. Il serait intéressant d'avoir un outil capable de calculer automatiquement les solutions du jeu à partir du modèle de connaissances.

Par ailleurs, le travail de rétroconception peut être difficile à mener. Il n'est pas toujours simple d'associer un objectif pédagogique à une action de jeu.

1.3 Un système à base de traces dans les jeux sérieux :

Learning Adventure

Dans (Marty, Carron, & Pernelle, 2012) et (Carron & Marty, 2012) notamment, les auteurs présentent un environnement virtuel d'apprentissage basé sur le jeu : *Learning Adventure*. Il s'agit d'un jeu d'aventure et de quêtes en mode multijoueurs. Dans le jeu, les joueurs disposent d'un avatar. L'enseignant peut également être présent avec son propre avatar. Le scénario d'apprentissage est représenté par des régions sur une carte que le joueur

doit explorer. L'ordre d'accès aux activités est géré par des personnages qui indiquent les pré-requis pour accéder à telle ou telle zone. Les activités peuvent être menées individuellement ou collectivement. L'objectif est de résoudre un problème donné à travers les quêtes. Plusieurs outils sont mis à la disposition des apprenants afin de collaborer : le mur de post-it ou l'écriture collaborative par exemple.

Le système à base de traces intégré à *Learning Adventure* (cf. Figure 18) permet d'outiller l'enseignant pour suivre les activités des apprenants et les réguler. L'idée est donc de fournir un ensemble d'indicateurs afin de détecter des situations nécessitant une intervention, une adaptation de l'environnement de jeu.

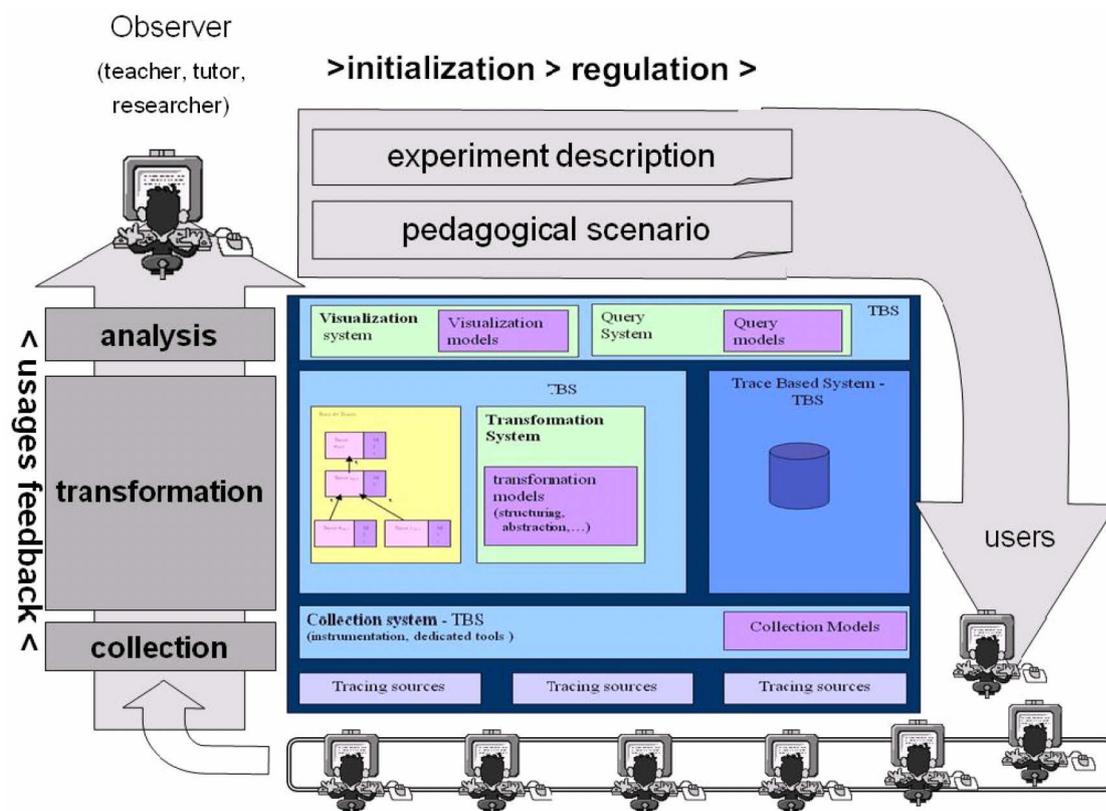


Figure 18 : Architecture du système à base de traces

D'un point de vue technique, un ensemble d'indicateurs génériques a été défini. On peut citer par exemple : les entrées et sorties dans un atelier, les créations et suppressions de groupes de travail ou l'appel à l'enseignant. Ces indicateurs permettent à l'enseignant de comprendre ce qu'il se passe dans le jeu. Néanmoins, il s'avère qu'ils sont insuffisants pour interpréter certains aspects du comportement des joueurs, notamment identifier les situations de mise en retrait par rapport au groupe ou de difficulté. Pour résoudre ce problème, le système permet de construire des indicateurs plus complexes à partir des indicateurs de base

définis précédemment en utilisant des opérateurs logiques tels que le « ET », le « OU » ou le « ALORS ». Il s'agit d'identifier des profils de comportements tels que collaboratif, hésitant, volubile, etc (cf. Figure 19).

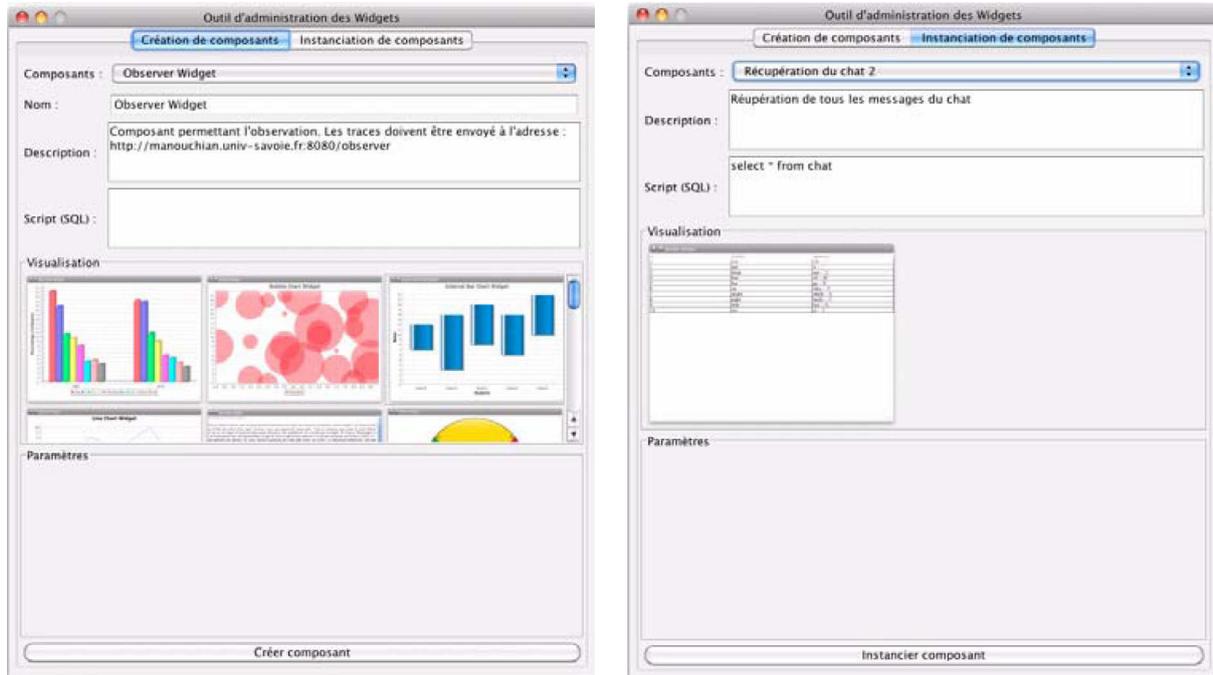


Figure 19 : L'interface de construction d'indicateurs spécifiques

Une fois le bilan de la situation effectué, l'enseignant peut décider de mettre en place des rétroactions telles que la création de sous-groupes, la proposition de quêtes complémentaires ou adaptées aux compétences de l'apprenant.

En termes de modèle de l'apprenant, les spécificités de l'approche sont présentées dans (Carron & Marty, 2009) et (Carron & Marty, 2011). La progression des connaissances du joueur est représentée par les objets en possession de l'avatar. Cela permet au joueur de montrer ces compétences aux autres mais aussi à l'enseignant de repérer rapidement les connaissances et lacunes de chacun (cf. Figure 20).



Figure 20 : Les objets de l'avatar en fonction des connaissances

D'autre part, le jeu permet de définir des cibles, c'est-à-dire des objectifs d'apprentissage. Ces cibles vont déterminer le parcours du joueur. Le joueur définit des *cibles personnelles*, qui consistent souvent à améliorer les caractéristiques physiques et/ou les objets en possession de l'avatar. L'enseignant s'intéressera plus aux objectifs pédagogiques et aux connaissances essentielles. Il peut donc proposer à l'élève de travailler sur les aspects qu'il juge nécessaire via des *cibles académiques*. Il y a donc intervention de l'enseignant dans la progression et le parcours du joueur.

À partir de ces cibles, l'environnement de jeu peut adapter les activités proposées au joueur. Les activités sont indexées en fonction des compétences et un plan d'activité est généré.

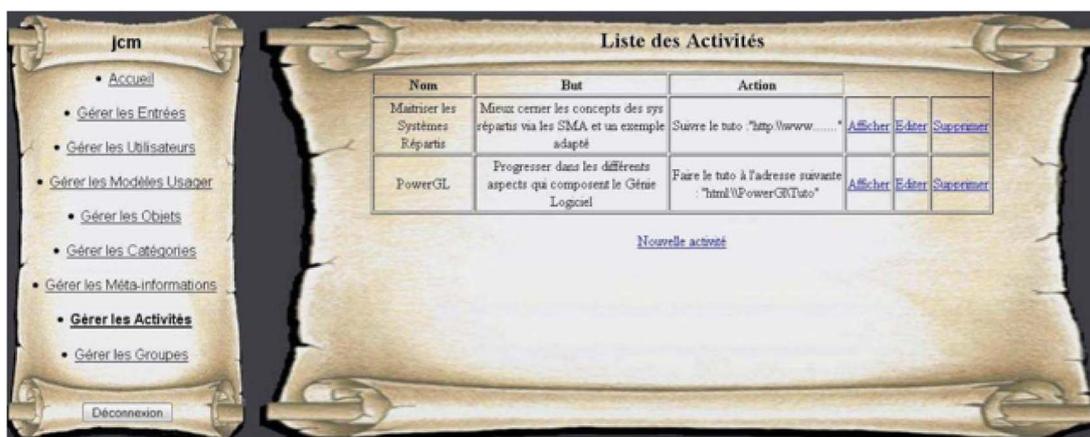


Figure 21 : Exemple de plan d'activité

Le jeu a été testé sur des étudiants en informatique dans le cadre d'une aventure dont l'objectif pédagogique était l'apprentissage des commandes Unix sur les fichiers. Les syntaxes Unix permettent aux élèves d'effectuer des actions sur l'environnement de jeu via

des métaphores : par exemple, la copie permet, en fait de cloner, des éléments ; le déplacement permet de téléporter...

Du point de vue de l'enseignant, le recours au système de suivi lui donne la possibilité de repérer les élèves en difficulté et d'apporter des remédiations à l'intérieur même du jeu via son avatar. Selon les cas, il a pu donner des indices au joueur en temps réel en envoyant un personnage dans l'environnement de jeu, ajouter des objets représentant des ressources pour l'apprentissage, ou envoyer un message pour donner la solution directement.

1.4 Les méthodes numériques

Les méthodes numériques permettent d'analyser les données sur la base de modèles mathématiques formels tels que les réseaux bayésiens mais également sur la base d'outils statistiques élaborés. Elles nécessitent en général un volume de données important afin de dégager des résultats pertinents.

1.4.1 Les réseaux bayésiens

1.4.1.1 Définition et exemple de réseaux bayésiens

Un réseau bayésien est un graphe orienté acyclique dont les nœuds représentent des variables aléatoires et dont les arcs expriment des interdépendances, des influences entre ces variables. C'est l'absence d'arc entre deux variables qui indique l'absence de lien direct entre elles. Pour quantifier « la force » de l'influence d'une variable sur l'autre, on ajoute à chaque nœud sa loi de probabilité conditionnellement à ses parents dans le graphe (Gonzales & Willemin, 1998).

Dans (Gonzales & Willemin, 1998), les auteurs présentent un état de l'art de l'utilisation des réseaux bayésiens dans le cadre de la modélisation de l'apprenant. Selon les auteurs, le recours aux réseaux bayésiens se fait dans trois catégories de situation : l'évaluation de connaissances, la reconnaissance de but et la prédiction de comportements. Ces catégories ne sont pas mutuellement exclusives et une fois le réseau bayésien construit, il est possible de l'utiliser aussi bien pour l'évaluation des connaissances que pour la reconnaissance de plans ou la prédiction de comportements.

Nous nous focalisons sur le recours aux réseaux bayésiens dans le cadre de l'évaluation des connaissances puisque notre objectif principal dans nos travaux est le diagnostic. Nous présentons néanmoins les travaux qui utilisent les réseaux bayésiens pour la reconnaissance de but dans un objectif de diagnostic des connaissances.

Pour effectuer le diagnostic des connaissances de l'apprenant, les réseaux bayésiens sont utilisés pour définir le degré de maîtrise d'une compétence (exprimé par une probabilité) à partir des interactions de l'apprenant avec le système (Hibou & Py, 2006). Les principaux avantages du réseau bayésien est qu'il permet de représenter graphiquement le comportement de l'expert et de gérer les situations d'information incertaine. Le réseau peut être construit selon deux méthodes qui peuvent se combiner :

- sur la base de valeurs définies par les experts du domaine. Ils définissent les liens entre les nœuds et les probabilités conditionnelles. Ainsi, ce sont les experts qui indiquent le degré de maîtrise d'une compétence A sachant que le joueur maîtrise la compétence B ;
- sur la base de statistiques à partir d'un nombre important de données collectées.

Ensuite, le réseau est instancié à partir des interactions relevées. Le mécanisme de propagation des probabilités permet de mettre à jour le modèle probabiliste de l'apprenant.

Pour illustrer l'utilisation d'un réseau bayésien et la propagation des probabilités, nous prenons un exemple tiré du site de Marc Bouissou¹³ et simulons le comportement du réseau bayésien à l'aide du logiciel de simulation Elvira¹⁴.

Il s'agit de représenter l'impact de la grève des trains sur le retard de Gaston et Fantasio. De plus, il est à noter que Gaston peut également être victime d'un problème de réveil (ce n'est pas le cas de Fantasio).

L'arbre des causes est représenté à la Figure 22.

¹³ <http://marc.bouissou.free.fr/siteRB/default.htm>

¹⁴ <http://leo.ugr.es/elvira/>

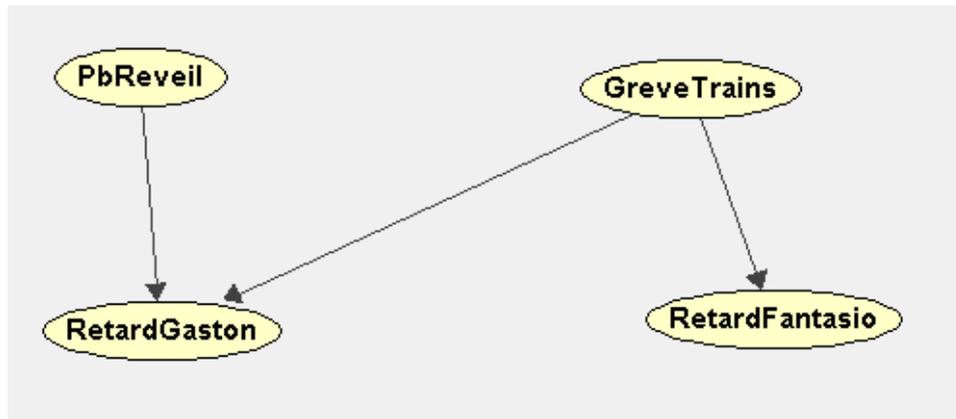


Figure 22 : Arbre des causes

Les probabilités, *a priori*, nous sont fournies :

- $P(\text{grève des trains}) = 0,1$
- $P(\text{pb réveil}) = 0,4$
- $P(\text{retard Fantasio} | \text{grève des trains}) = 0,6$
- $P(\text{retard Fantasio} | \text{non grève des trains}) = 0,1$
- $P(\text{non retard Fantasio} | \text{grève des trains}) = 0,4$
- $P(\text{non retard Fantasio} | \text{non grève des trains}) = 0,9$

Pour les retards de Gaston, il est nécessaire de combiner les deux variables, ce qui donne le tableau ci-dessous :

Pb réveil	Vrai		Faux	
Grève des trains	Vrai	Faux	Vrai	Faux
P(Retard Gaston)	0,7	0,5	0,4	0,1

Toutes ces valeurs sont saisies dans Elvira, notre éditeur de réseaux bayésiens (*cf.* Figure 23).

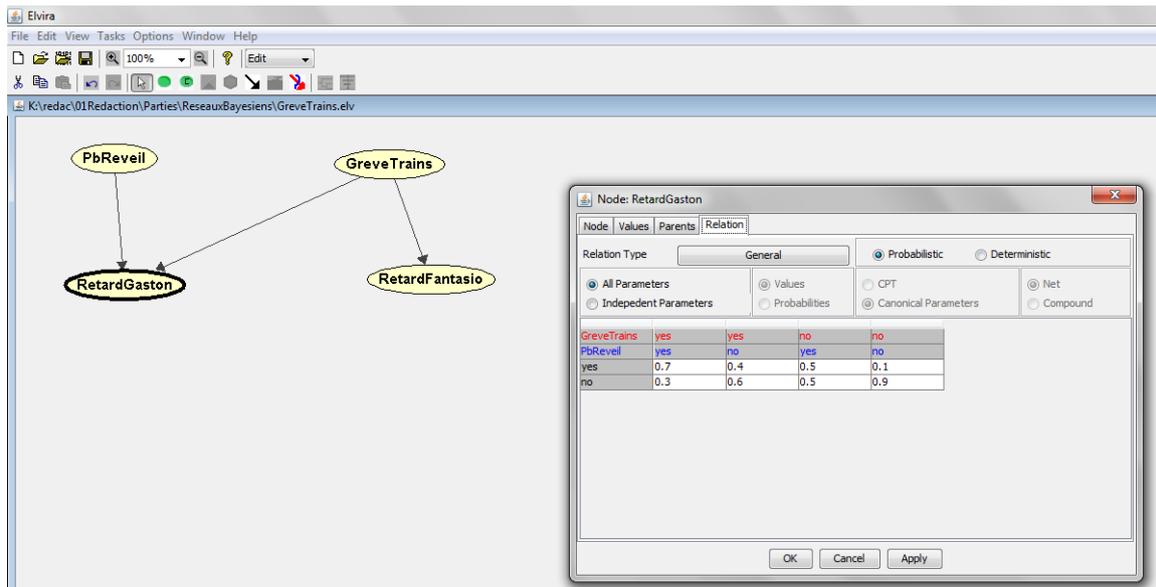


Figure 23 : Exemple d'insertion des probabilités dans Elvira

Une fois les connaissances de la situation renseignées, il suffit de demander au logiciel d'effectuer les inférences. Il est également possible de calculer manuellement les probabilités en appliquant le théorème de Bayes qui stipule que :

$$Pr(B/A) = \frac{Pr(A/B)Pr(B)}{Pr(A)}$$

À la suite de la propagation des informations initiales, la Figure 24 nous indique que Gaston a 30 % de risque d'être en retard alors que Fantasio n'a que 15 % de risque d'être retard.

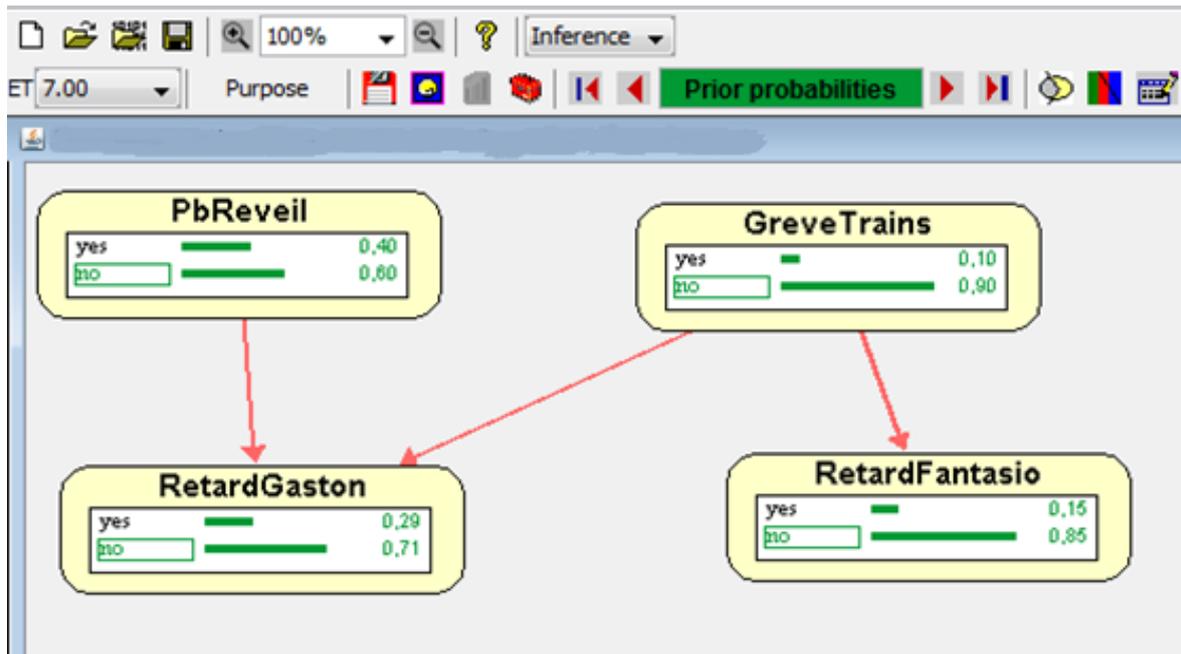


Figure 24 : Résultats de la propagation des informations initiales

Dans la modélisation des connaissances, l'intérêt des réseaux bayésiens est dans leur capacité à se mettre à jour rapidement dès qu'une information est connue. Ici, supposons que l'on constate le retard de Gaston et l'on souhaiterait savoir quelle est la cause la plus probable de son retard (réveil ou grèves ?).

Nous mettons donc à jour la table de probabilité concernant le retard de Gaston et propageons cette information sur l'ensemble du réseau.

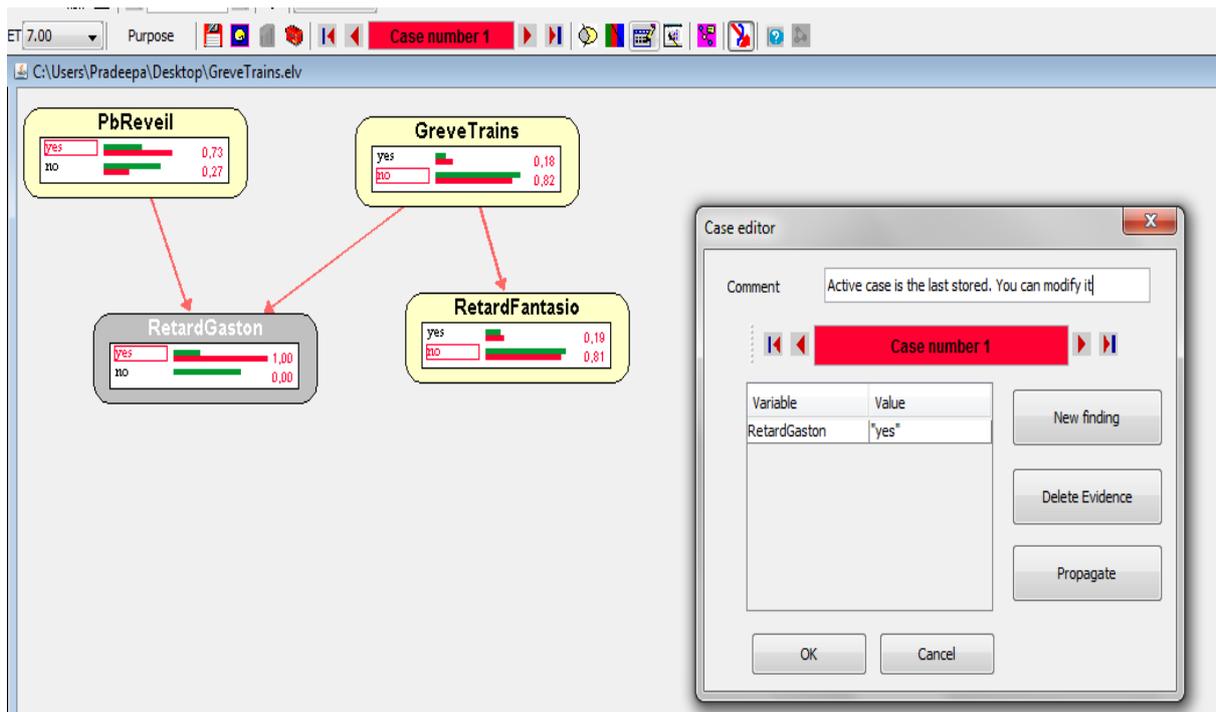


Figure 25 : Mise à jour du réseau et propagation des probabilités

Nous constatons qu'il y a plus de chances que le retard de Gaston soit dû à une panne de réveil (73 %) plutôt qu'à une grève des trains (18 %).

1.4.1.2 Les réseaux bayésiens pour l'estimation du risque dans un environnement de simulation : HERA (*Helpful Agent for Safety Learning in Virtual Environment*)

HERA est un tuteur intelligent permettant l'apprentissage de procédures à risque sur des sites de type SEVESO (Amokrane & Lourdeaux, 2010). SEVESO est une directive européenne qui impose aux États membres d'identifier les sites industriels présentant un haut risque en matière d'accident. L'objectif de ce tuteur est d'aider l'apprenant à comprendre l'impact de ses décisions, évaluer les conséquences de ses actes à risque. Il s'agit ici pour l'apprenant de planifier ses actes, d'adopter une démarche de prévention et d'améliorer ses compétences. C'est donc un simulateur relativement proche de la réalité.

Nous nous focaliserons uniquement sur les éléments d'HERA ayant une proximité avec nos travaux sur le suivi de l'apprenant. Ainsi nous présentons ici l'outil de suivi et de guidage d'HERA.

Celui-ci est basé sur cinq modèles et cinq modules (*cf.* Figure 26). Les modules effectuent des traitements spécifiques sur la base des éléments définis dans les modèles.

- Le modèle de l'activité est basé sur le langage Hawai-DL qui permet une description hiérarchique des tâches, les actions autorisées, les erreurs mais aussi des tâches ayant des conditions limites tolérées par l'usage.
- Le modèle de traces modélise les traces de l'activité de l'apprenant, ses erreurs, les causes et les conséquences de ces erreurs et les risques qu'elles engendrent.
- Le modèle des erreurs se base sur la classification de Hollnagel (présentée dans le chapitre 4) en l'étendant à des éléments sur le point de vue adopté par l'utilisateur, par exemple, les changements d'observations, etc.
- Le modèle pédagogique contient toutes les règles d'apprentissage du tuteur intelligent sur les modalités de son intervention auprès de l'apprenant. Les interventions se basent sur l'observation de la situation pédagogique, les conditions de l'environnement, le profil de l'élève (degré d'expertise de celui-ci).
- Le modèle des risques liste, quant à lui, les différents risques et les moyens d'y remédier. Il s'agit par exemple de messages d'alerte, de commentaires ou d'adaptation de l'environnement. Ce modèle est basé sur les réseaux bayésiens. Ceux-ci sont utilisés ici afin de déterminer la fréquence d'apparition d'un risque en fonction de l'erreur commise par l'apprenant. Nous analysons plus en détail ce modèle afin d'explicitier le recours aux réseaux bayésiens.

Le modèle des risques est construit à partir de cinq concepts : le risque, l'erreur de l'apprenant, la tâche concernée par l'erreur, le contexte de l'environnement et la barrière de sécurité. Le contexte joue un rôle essentiel car une même action dans un contexte pourrait ne pas générer de risque. La barrière de sécurité est une sorte de « garde-fou » : il s'agit d'une tâche qui permet de prévenir, éviter ou gérer le risque.

Les réseaux bayésiens sont utilisés pour représenter les relations de causalité entre les cinq concepts cités précédemment. Les réseaux bayésiens sont utilisés ici dans un objectif de prévision. Il s'agit de prévoir en fonction des erreurs de l'apprenant et/ou des variables d'environnement le déclenchement d'un risque potentiel. Du point de vue de la sémantique, les risques potentiels sont représentés par des nœuds. Ces nœuds ont pour parents la tâche

résolue de manière erronée et les valeurs de l'environnement déclenchant ce risque. Les probabilités initiales sont définies par des experts du domaine.

L'ensemble de ces modèles et les modules associés sont utilisés par le module pédagogique afin de proposer une rétroaction à l'apprenant.

Le module d'interface récupère les productions de l'apprenant et les transmet au module de reconnaissance. Le module de reconnaissance détermine les tâches susceptibles d'être réalisées par l'apprenant et les erreurs éventuellement associées. Le module de l'apprenant identifie précisément la tâche réalisée à partir d'heuristiques et transmet la tâche et les erreurs au module de risque et au module pédagogique. Le module de risque reçoit les erreurs de l'apprenant et calcule la probabilité de déclenchement d'un risque en fonction de la tâche réalisée et des erreurs commises. Pour cela, il consulte le modèle de risque. La probabilité de déclenchement du risque est transmise au module pédagogique qui a en charge la rétroaction auprès de l'apprenant. En fonction de la probabilité transmise par le module de risque, le module pédagogique peut décider de déclencher le risque pour faire comprendre à l'apprenant la gravité de la situation mais aussi pour évaluer ses capacités de réaction.

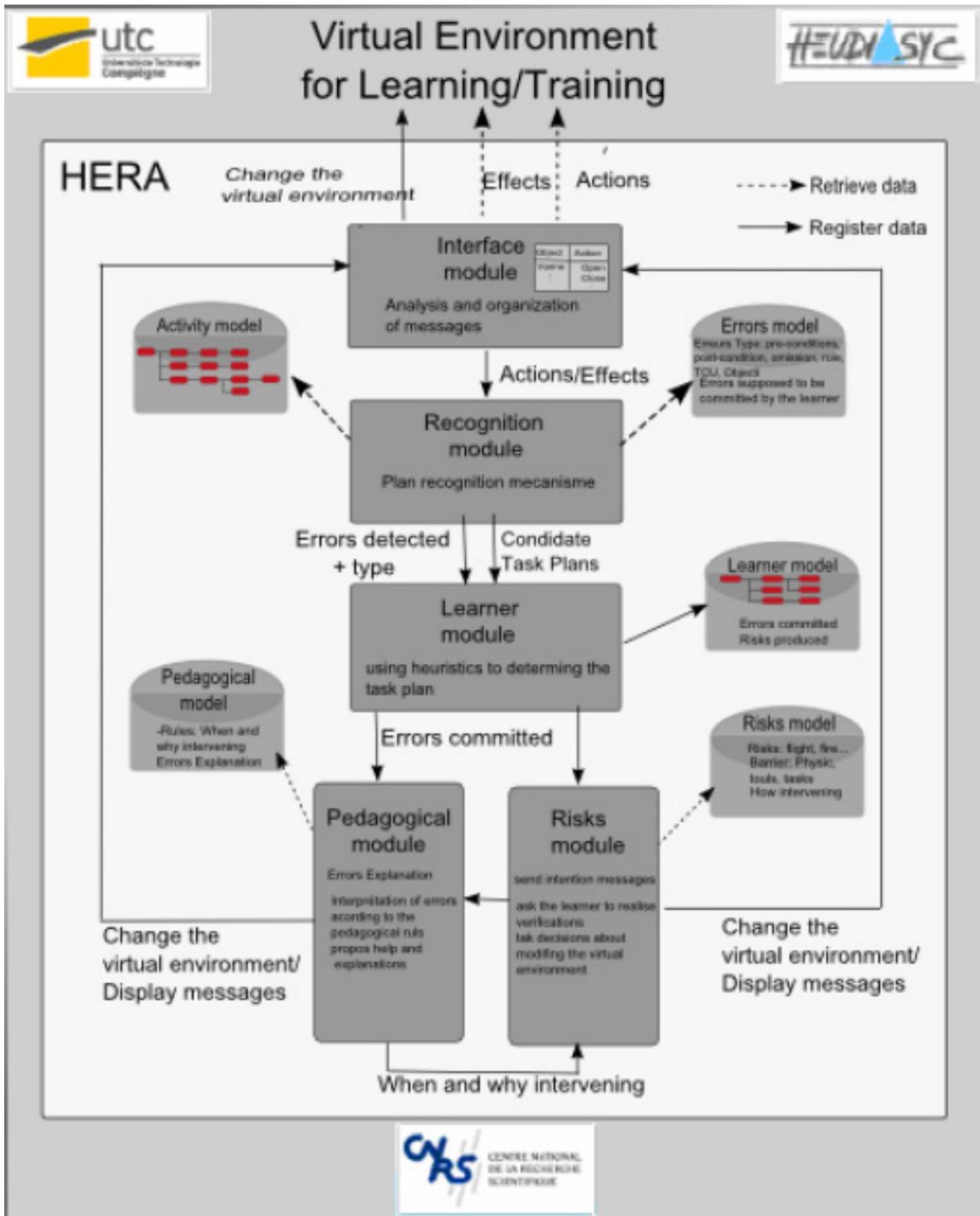


Figure 26 : L'architecture d'HERA

1.4.1.3 Les réseaux bayésiens dans les tuteurs intelligents : ANDES

Les réseaux bayésiens sont également utilisés dans le tuteur intelligent en physique ANDES¹⁵ qui a pour objectif de former les étudiants entrant à l'université sur le thème de la physique de Newton. ANDES utilise les réseaux bayésiens en vue de satisfaire trois objectifs :

¹⁵ <http://www.andestutor.org/>

la reconnaissance de plan suite aux actions de l'apprenant, la prédiction des actions futures et l'évaluation des connaissances de l'apprenant (Conati, Gertner, & VanLehn, 2002). Comme précisé en introduction de cette partie, c'est le même réseau bayésien qui est utilisé pour satisfaire ces trois objectifs.

L'apprenant a pour objectif de résoudre des exercices qui lui sont proposés sur différents items de la physique newtonienne. Au niveau de l'interface graphique, l'étudiant peut dessiner des schémas, écrire des équations. Du point de vue pédagogique, deux types de retour peuvent être faits à l'apprenant : exactitude ou non de la solution et proposition d'aide. L'aide proposée peut être centrée sur l'erreur (l'étudiant indique l'erreur mentionnée par le tuteur et demande pourquoi sa solution est erronée) ou centrée sur la tâche en cours (en situation de blocage, l'étudiant demande au tuteur de lui indiquer l'étape suivante ou de lui donner un indice).

Dans la mesure où les problèmes posés peuvent être résolus de plusieurs façons, le tuteur a besoin d'identifier le chemin de résolution adopté par l'élève afin de l'accompagner correctement dans sa démarche. Pour identifier le plan adopté par l'élève, le système commence par définir pour chaque exercice l'ensemble des solutions possibles sous la forme d'un graphe (*cf.* Figure 27). Ce graphe est ensuite transformé en réseau bayésien dans lequel les relations du graphe représentent des relations de causalité. Les probabilités sont ensuite ajoutées. En fonction des données collectées au fil de la résolution de l'exercice, ANDES affine son estimation du plan adopté par l'apprenant. Les indices et les aides sont adaptés au plan adopté par l'apprenant.

En ce qui concerne le modèle de l'apprenant, la partie du réseau modélisant les connaissances du domaine est définie une fois pour toute dès le paramétrage du tuteur. Elle n'est pas modifiée en fonction des problèmes posés à l'apprenant. Il convient de préciser ici que la résolution des problèmes posés dans ANDES peut être modélisée par l'application de plusieurs règles. Les connaissances de l'apprenant liées au domaine sont modélisées sous forme de règles avec deux états possibles : maîtrisée ou non. Or, une règle peut s'appliquer dans différents contextes. Elle est donc considérée comme maîtrisée lorsqu'elle est appliquée correctement dans tous les contextes possibles.

Le modèle de l'apprenant et le modèle de la tâche en cours fonctionnent de concert dans ANDES. L'identification des plans permet de mettre à jour les connaissances de l'apprenant. L'état des connaissances de l'apprenant est également une information précieuse pour l'identification des plans de résolution adoptés par l'élève.

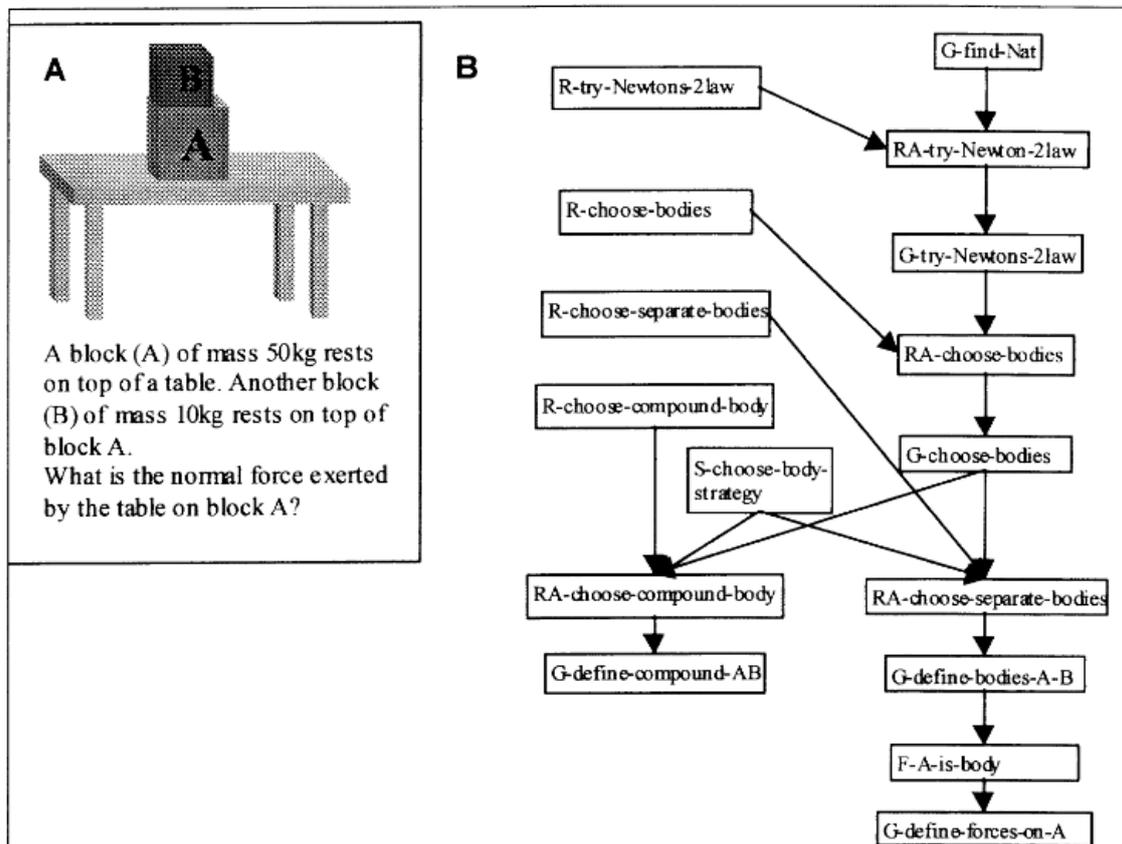


Figure 27 : Un exemple de problème et le graphe solution correspondant (Conati et al., 2002)

1.4.1.4 Le recours à des réseaux bayésiens de type diagramme d'influence pour des rétroactions efficaces

Le système TELEOS (*Technology Enhanced Learning Environment for Orthopaedic Surgery*) (Luengo, 2009), EIAH conçu pour la formation des chirurgiens orthopédiques débutants, dispose d'un outil de diagnostic basé sur la combinaison d'ontologies et de réseaux bayésiens de type diagramme d'influence. L'objectif de TELEOS est de permettre aux jeunes chirurgiens de s'exercer à des gestes précis dans le domaine du vissage percutané notamment. La particularité de cet EIAH est sa capacité à transmettre des connaissances perceptivo-gestuelles. Il est capable de capter très précisément les mouvements de l'apprenant et de fournir des rétroactions adaptées. L'outil joue en quelque sorte un compagnonnage dans l'apprentissage de la chirurgie.

TELEOS est constitué de trois modèles :

- modèle de connaissances du domaine ;
- modèle de diagnostic ;
- modèle de décision.

(Luengo, Vadcard, Dubois, & Mufti-Alchawafa, 2006).

Le modèle de connaissances est basé sur la théorie des champs conceptuels de (Vergnaud, 1990) et comporte quatre ensembles :

- « Un ensemble de problèmes P ;
- un ensemble R d'opérateurs (ou actions) servant à la résolution d'un problème ;
- un ensemble Σ de structures de contrôles (ou connaissances déclaratives) ;
- un ensemble L de systèmes de représentation utilisés au cours de la résolution d'un problème.

Dans les relations de dépendances, un problème P est résolu si les opérateurs associés R sont appliqués de manière valide. Un opérateur R est appliqué d'une manière valide si les contrôles associés et utilisés lors de la résolution du problème P sont valides. Un contrôle est valide si les variables de situation (VS), traces des actions de l'apprenant lors de la résolution, sont jugées correctes » (Toussaint, Luengo, Vadcard, & Tonetti, 2014).

Les réseaux bayésiens sont utilisés pour identifier avec un certain niveau de probabilité les contrôles mobilisés par l'apprenant lors de l'exécution du geste technique. Pour cela, les relations décrites précédemment sont modélisées à l'aide d'un réseau bayésien. La Figure 28 représente un extrait du modèle de connaissances. Des éléments de contexte sont ajoutés à ce modèle, ce sont les variables de situation (*cf.* Figure 29), issues des traces collectées. La propagation des probabilités permet d'identifier les contrôles probablement mobilisés par l'apprenant.

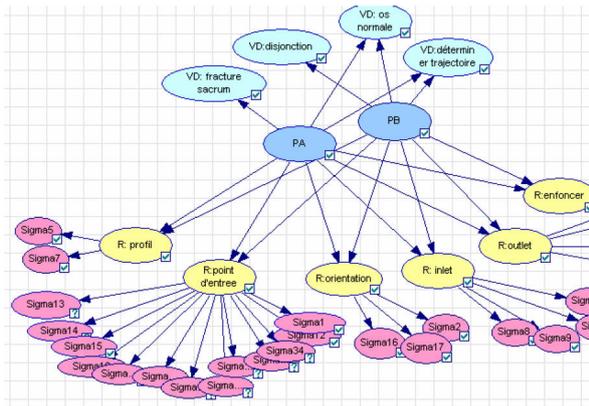


Figure 28 : Le modèle de connaissance représenté par un réseau bayésien (Luengo et al., 2006)

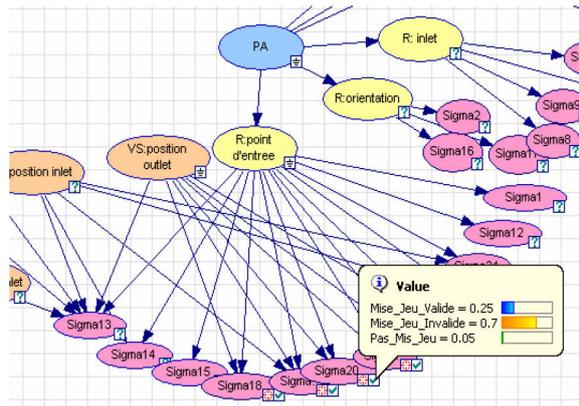


Figure 29 : Ajout des variables de situation (Luengo et al., 2006)

Le résultat de ce travail de diagnostic alimente le modèle de décision afin d'identifier la rétroaction la plus adaptée. Il est nécessaire d'identifier plus particulièrement dans la rétroaction : l'item de connaissance concerné mais aussi le type de rétroaction (consulter le cours, résoudre un autre problème, consulter un cas clinique). Pour identifier la rétroaction, des diagrammes d'influence sont ajoutés au réseau bayésien (cf. Figure 30). Ces diagrammes contiennent deux types de nœuds : des nœuds d'utilité et des nœuds de décision. Les nœuds d'utilité sont au cœur de ces diagrammes. Ils prennent en entrée les hypothèses liées aux contrôles et les décisions. Pour chaque couple contrôle/décision, le diagramme associe l'utilité, la pertinence de ce couple (cf. Figure 31). Les valeurs de départ sont définies par les experts puis alimentées par autoapprentissage du système. L'application des inférences permet ensuite d'obtenir le sujet et la forme de la rétroaction.

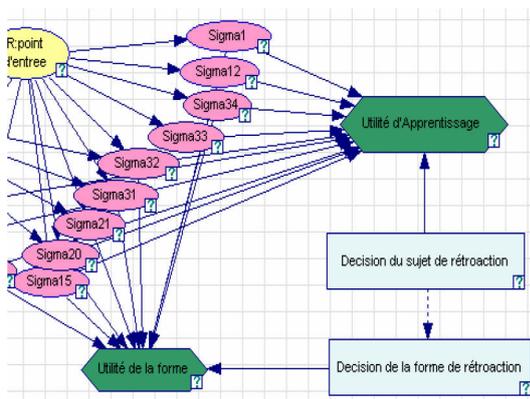
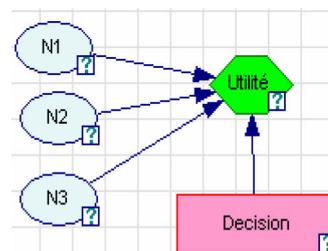


Figure 30 : Le diagramme d'influence (Luengo et al., 2006)



Decision	D1							
N1	State0N1				State1N2			
N2	State0N2	State1N2	State0N2	State1N2	State0N2	State1N2	State0N2	State1N2
N3	State0N3	State1N3	State0N3	State1N3	State0N3	State1N3	State0N3	State1N3
Value	10	-22	30	-5	12	25	-3	

Figure 31 : La fonction d'utilité (Luengo et al., 2006)

Ces travaux sont très intéressants pour notre sujet dans la mesure où ils se situent dans le domaine de la simulation. Ils nécessitent le recours à de nombreux experts du domaine de par la précision des actions évaluées. Dans notre cas, les actions sont plus facilement identifiables. Néanmoins, nous retenons la pertinence de ces outils pour des jeux sérieux intégrant des simulateurs et/ou des dispositifs de réalité virtuelle ou augmentée.

1.4.1.5 Les réseaux bayésiens dans les jeux vidéo

Dans (Synnaeve & Bessiere, 2011), les auteurs utilisent les réseaux bayésiens dans les jeux vidéo de stratégie en temps réel. Dans ces jeux, le joueur interagit en temps réel avec le moteur de jeu contrairement aux jeux de type tour par tour. Dans les jeux de type tour par tour, le temps est discrétisé et les actions incluant le temps de décision sont considérées comme instantanées, le joueur analyse la situation, prend ses décisions et les soumet au moteur de jeu. Celui-ci intègre les décisions du joueur et lui fournit un retour, et ainsi de suite. En général, les jeux de stratégies en temps réel sont des jeux de combat, de conquête de territoire (par exemple, StarCraft¹⁶). L'objectif des auteurs est de rendre ces jeux encore plus intéressants et motivants. En effet, dans la mesure où il est possible de rejouer les parties, certains joueurs finissent par affiner leur stratégie et comprendre le fonctionnement du moteur de jeu. L'idée est donc de recourir aux techniques d'intelligence artificielle afin d'adapter dynamiquement les réponses du moteur aux stratégies du joueur. Les réseaux bayésiens sont utilisés pour reconnaître les plans du joueur à partir de ses actions.

1.4.1.6 Le recours à un ensemble de réseaux bayésiens

Dans (Hibou & Labat, 2007), les auteurs mettent en évidence l'une des difficultés dans la construction d'un réseau bayésien pour le diagnostic de l'apprenant : l'orientation des arcs. En effet, cette orientation influence la propagation des probabilités et donc les résultats du diagnostic. Pour les auteurs, « l'orientation des arcs du général vers le particulier convient lorsque les compétences de l'apprenant présentent une certaine homogénéité du fait des dépendances que cette orientation induit. L'orientation dans le sens contraire est quant à elle plus adéquate pour des apprenants aux compétences hétérogènes ». De plus, ils précisent que la structure du réseau évolue en fonction de l'expertise de l'apprenant. Ils proposent donc, pour modéliser l'apprenant, de recourir à un ensemble de réseaux bayésiens à chacun desquels est associée une probabilité. Les différents réseaux bayésiens le constituant sont formés des

¹⁶ <http://eu.battle.net/sc2/fr/>

mêmes nœuds, mais présentent des topologies différentes. À l'aide d'un nombre important de données utilisateurs issues de fiches de résolution de problèmes de mathématique du projet Pepite¹⁷ et en utilisant des techniques de « machine learning », les auteurs mènent des expérimentations permettant de valider l'hypothèse selon laquelle la structure du réseau bayésien est liée au niveau d'expertise de l'apprenant qu'il modélise.

1.4.1.7 Les inconvénients et les difficultés de l'utilisation des réseaux bayésiens pour notre situation

Les réseaux bayésiens sont un outil formel puissant pour le diagnostic des connaissances de l'apprenant. Néanmoins, la construction du réseau associé à un domaine de connaissance peut devenir complexe. Nous avons mis en évidence la difficulté liée à l'orientation des nœuds identifiée par (Hibou & Labat, 2007). Dans (Gonzales & Wuillemin, 1998), les auteurs donnent également des exemples de bonnes pratiques à adopter lors de la construction du réseau. Ils mettent notamment en garde sur le risque de multiplication des nœuds et la nécessité de les hiérarchiser.

Enfin, la principale problématique consiste en l'initialisation du réseau en ajoutant les probabilités fournies par les experts du domaine ou des données. Or, il peut être difficile d'obtenir des probabilités conditionnelles suffisamment précises. C'est notamment pour cette raison que nous n'adoptons pas les réseaux bayésiens dans notre approche. Nous ne disposons pas d'un nombre suffisant d'experts disponibles dans les domaines étudiés ni de données en grand nombre pour construire des modèles de connaissance probabilistes. Cependant, nous retenons l'idée de graphes de concepts avec des arcs qui traduisent les règles expertes du domaine.

1.4.2 Les outils du *data mining* pour le diagnostic

Le recours aux techniques de fouille de données est de plus en plus fréquent dans la recherche en éducation. Le courant *educational data mining* prend de l'ampleur. Les jeux vidéo et sérieux n'échappent pas à cette tendance. Nous présentons ici des travaux dans le cadre du sport électronique et dans l'éducation à travers le jeu Refraction.

¹⁷ <http://pepите.univ-lemans.fr/>

1.4.2.1 L'analyse des traces dans le cadre du « sport électronique », un objectif de débriefing

Dans (Riout, Metivier, Helleu, Scelles, & Durand), les auteurs s'intéressent au datamining dans le cadre du « sport électronique », c'est-à-dire les compétitions professionnelles dans le domaine des jeux vidéo (Riout, 2009). En effet, l'analyse des traces permet au joueur de tirer les leçons de ses erreurs, d'analyser les stratégies des adversaires et d'élaborer la sienne. L'analyse des traces a également comme objectif d'aider le concepteur à équilibrer la difficulté du jeu.

Les auteurs recourent au *data mining* dans divers aspects :

- assistance dans le choix des personnages et de leurs armes ;
- assistance dans la constitution d'équipes ;
- analyse des stratégies gagnantes notamment en termes de positionnement sur le terrain.

L'analyse porte sur un jeu de conquête de territoire proche du rugby dont l'objectif est de repousser l'équipe adverse dans son camp et de détruire son bâtiment emblématique. Il se joue en deux équipes de cinq joueurs. Il s'agit d'un MOBA (*Multiplayer Online Battle Arena*).

Les auteurs s'intéressent en particulier à DOTA (*Defense Of The Ancients*), un mode du jeu Warcraft III. La principale originalité des travaux à nos yeux réside dans le fait que les auteurs récupèrent les traces d'un jeu existant à partir d'une plateforme destinée aux joueurs sans connaître en détail le fonctionnement du moteur de jeu. C'est, notamment, pour cette proximité avec nos travaux que nous présentons cette approche.

En effet, le jeu possède un système d'enregistrement des parties et donc des traces d'activité du joueur. Mais ces traces sont « de bas niveau » et nécessitent une transformation dans un système à base de traces. Les auteurs adoptent donc une démarche de retro-ingénierie comme ce fût notre cas dans la mise en œuvre d'un outil d'analyse des traces *ad hoc* dans le jeu *StarBank* (partie 1.2 de ce chapitre).

Une ontologie a été construite afin de traduire ces traces de bas niveau en comportements dans le jeu. Enfin, dans la mesure où les traces obtenues ne contenaient que

les actions du joueur et non l'état du jeu et que le fonctionnement du moteur de jeu n'était pas transparent, les auteurs ont fait des hypothèses sur l'état des variables de jeu à partir d'indices révélateurs.

Cette approche a permis, dans un premier temps, de proposer des recommandations aux joueurs dans le choix des personnages et de leurs items. Les techniques de fouille de données mettent en évidence des relations telles qu'entre un personnage et une compétence ou un item et un résultat final. Ces recommandations ont été comparées à celles fournies par des experts du domaine sur des sites spécialisés. Les résultats s'avèrent cohérents et apportent une complémentarité basée sur les observables.

Par exemple, il ressort de l'analyse que l'item « bottes de téléportation » favorise la rapidité de réaction.

Une autre contribution de cette approche consiste à montrer les combinaisons efficaces de personnage. En effet, les joueurs ont le choix entre cent personnages et la possibilité de leur associer 100 items. Les options sont donc énormes. Le but est, surtout, d'aider ici à la constitution d'équipes efficaces. Or, l'efficacité d'une équipe réside surtout dans la complémentarité de ses membres.

Enfin, une dernière analyse a été menée sur le positionnement des personnages et des équipes sur l'arène de jeu. Le recours à des techniques de classification supervisée notamment montre que la capacité de regroupement d'une équipe contribue fortement à sa victoire. Le second facteur de victoire est l'offensivité, c'est-à-dire la capacité d'une équipe à s'approcher le plus possible du bâtiment ennemi.

1.4.2.2 Playtracer : outil de visualisation de parcours basé sur des techniques de *visual data mining*

Refraction¹⁸ est un jeu sérieux permettant de comprendre les fractions. L'objectif pour le joueur est de combiner et/ou diviser des rayons lumineux afin de nourrir de petits animaux dans l'espace et de collecter des pièces. Le jeu est doté d'un outil d'analyse des parcours : Playtracer. L'outil n'est pas accessible au public mais utilisé par les concepteurs.

¹⁸ <http://play.centerforgamescience.org/refraction/site/>

L'objectif de Playtracer est, avant tout, d'aider les *game designers* dans leur tâche de conception et d'amélioration du jeu (Erik Andersen, Liu, Apter, Boucher-Genesse, & Popović, 2010). Les auteurs cherchent notamment à vérifier que les comportements des joueurs sont bien ceux prévus par le *game designer*, identifier les points de blocage, les zones et les causes d'abandon. À la base, l'objectif n'est pas du tout en termes d'apprentissage et de connaissances tels que nous l'entendons.

Après avoir expliqué en quoi il était difficile d'obtenir des informations pertinentes et intéressantes sur la base de questionnaires du fait notamment du manque d'analyse du joueur sur ses propres pratiques, l'accent dans les travaux autour de Playtracer est mis sur les techniques de *visual data mining*. Il s'agit d'une analyse multidimensionnelle qui est projeté sur un plan en deux dimensions à l'aide de matrices d'indicateurs définissant l'état courant du jeu. Un calcul de distances entre ces différents états est ensuite appliqué (Liu, Andersen, Snider, Cooper, & Popovic, 2011).

Le jeu vidéo est considéré, dans cette approche comme dans beaucoup d'autres, comme une machine à états finis. L'idée est donc de représenter le parcours des joueurs sous forme de graphe orienté avec un état initial et un état final. Sur le graphe, les parcours des joueurs ayant gagné est distingué de ceux ayant perdu afin d'identifier les causes d'échecs et les stratégies gagnantes. Playtracer permet une grande flexibilité d'analyse : par joueur, entre joueurs, entre niveaux. Dans (Smith, Andersen, Mateas, & Popović, 2012), Playtracer se dote de fonctionnalités de soutien en temps réel au joueur : un résolveur vérifie si dans l'état courant du jeu, le joueur est en mesure d'arriver à une solution sans revenir sur ses pas. L'idée étant de guider le joueur vers des états le menant vers la solution.

Plusieurs expérimentations ont été menées afin d'analyser le jeu Refraction¹⁹.

C'est un *puzzle game* qui a pour objectif de faire passer des lasers par des zones prédéfinies. Pour réussir, le joueur doit maîtriser les concepts de bases des fractions tels que les dénominateurs communs et l'équivalence entre fractions. Le recours à Playtracer a permis aux concepteurs de rééquilibrer la difficulté du jeu mais également d'identifier les effets de stratégie liés à l'introduction de bonus et de récompenses complémentaires dans le jeu (E. Andersen et al., 2011).

¹⁹ <http://games.cs.washington.edu/Refraction/>

Ces travaux, bien que faiblement centrés sur la pédagogie et l'apprentissage, attirent notre attention du fait de la réutilisation possible de cet outil avec une éventuelle indexation en termes d'objectif pédagogique et/ou d'apprentissage des états par lesquels passe le joueur. Un point de blocage identifié par Playtracer peut éventuellement être le reflet d'une conception erronée. Dans (Erik Andersen, 2012), des éléments de pédagogie sont mentionnés en recourant notamment à des cartes conceptuelles pour représenter les notions de mathématiques présentes dans Réfraction, l'approche n'est pas encore aboutie dans ce domaine.

1.4.3 Les outils statistiques

L'industrie du jeu vidéo utilise très fréquemment l'analyse statistique pour tester ses jeux. De nombreux outils tels que les cartes thermiques, les captations, les questionnaires ou la détection du regard.

L'objectif est d'identifier l'ennui et/ou les difficultés trop importantes rencontrées par le joueur. Il s'agit d'équilibrer les phases des défis et les phases de repos/plaisir.

L'analyse statistique est donc un outil à destination des concepteurs de jeu pour détecter les éventuelles erreurs de conception, régler la difficulté, aider les débutants et identifier des stratégies non prévues au départ.

1.4.3.1 L'analyse de traces pour équilibrer la difficulté dans le jeu : TRUE (*Trasking Real-Time User Experience*)

Des ingénieurs de Microsoft ont également mené des travaux de recherche dans le domaine de l'analyse des traces du joueur. La démarche TRUE (Kim et *al.*, 2008) propose un outil d'analyse qui combine des indicateurs issus de l'analyse des traces, des captures vidéos, des données contextuelles et des données démographiques ou le ressenti du joueur obtenu à partir de questionnaires.

Comme dans une approche classique d'analyse des traces, la séquence d'action du joueur est enregistrée. Par exemple, dans le cas d'un jeu de course automobile, les différentes positions et directions du véhicule sont enregistrées. En parallèle, des données contextuelles telles que la difficulté du circuit, l'état de la route sont également prises en compte. Enfin, le joueur est interrompu à certains moments de la partie par des questions en ligne très courtes

afin d'expliciter son ressenti sur la difficulté et l'amusement. Des expérimentations de ce type ont été menées sur le prototype du jeu Halo 2 afin d'identifier les points de blocage.

Les indicateurs statistiques issus de l'analyse des traces permettent d'identifier les zones de jeu problématiques. Par exemple, au niveau dix, le nombre de décès de l'avatar est particulièrement important.

Par affinage successif des données collectées, TRUE permet d'identifier quel ennemi est principalement responsable du décès de l'avatar. Une fois la phase de jeu identifiée, l'analyse des données issues des captures vidéo permet au *game designer* d'identifier l'ennemi responsable des défaites. L'hypothèse est ensuite confirmée par l'analyse des réponses aux questions sur la difficulté perçue du joueur.

De même, lors des tests de Shadowrun, jeu de tir à la première personne, le recours à TRUE a permis de détecter un mauvais équilibre des accessoires à disposition de l'avatar. L'analyse des données a montré que certaines combinaisons permettaient de gagner quasi systématiquement. Le jeu a donc été modifié pour rendre les combinaisons d'armes plus aléatoires.

1.4.3.2 L'analyse de traces pour identifier les styles de jeu

Dans (Tychsen & Canossa, 2008), les auteurs analysent les traces afin d'identifier le comportement du joueur. Leur méthode est originale car elle combine une approche numérique et sémantique.

Les données récupérées concernent l'avatar. Le fichier de traces est découpé selon la sémantique suivante :

- les traces de navigation concernent les mouvements, la direction, la position de l'avatar ;
- les traces d'interaction concernent les événements et sont déclenchées par des actions dont le joueur est à l'initiative, elles concernent les objets ;
- les traces de narration regroupent les éléments du scénario et la manière dont le joueur progresse dans l'histoire ;
- les traces d'interface regroupent l'ensemble des actions sur les menus.

Les auteurs définissent pour chaque style de jeu un ensemble de valeurs discrètes sur les différentes catégories de traces.

En combinant les différentes catégories de traces, un style de jeu est attribué au joueur. Ainsi, dans le jeu « Hitman : Blood Money », il est possible de définir le style du joueur selon qu'il utilise des armes mortelles ou pas. Dans les FPS (jeux de tirs à la première personne), les joueurs peuvent être qualifiés de « Bull rushing » (fonceur comme un taureau) ou « grenade jumping » (sauteur de grenades) en fonction de leurs déplacements et de leurs interactions avec les objets du monde.

1.5 Les méthodes symboliques

Les méthodes symboliques ou méthodes formelles constituent une base solide en informatique pour construire des outils. Aussi, nous nous penchons sur les travaux qui ont utilisé ces méthodes afin de construire un suivi et un diagnostic de l'apprenant.

1.5.1 La reconnaissance de plans

Un plan peut être défini comme une séquence d'actions, de tâches qui permettent d'atteindre un objectif donné. La reconnaissance de plans consiste à déterminer le plan, les objectifs suivis par un acteur dont on observe le comportement. Dans le domaine des environnements informatiques d'apprentissage humain, il s'agit plus précisément d'inférer le ou les plans de l'apprenant notamment à partir de l'analyse des traces produites. Le projet Mentoniez est un exemple de recours à la reconnaissance de plans pour le diagnostic (Py, 1996).

1.5.1.1 Le recours à la reconnaissance de plans pour le diagnostic dans les environnements de simulation

Dans (El-Kechai, 2007), l'auteur utilise la reconnaissance de plan pour inférer la tâche réalisée par l'apprenant. L'objectif de cette thèse est de produire un diagnostic dans un environnement d'apprentissage basé sur une simulation. Après avoir proposé un modèle de la tâche prescrite avec le langage METISSE, l'auteur se base sur la classification des erreurs de Hollnagel (Hollnagel, 1998b). Ces erreurs sont identifiées en analysant les écarts entre la tâche prescrite avec la tâche réalisée. Or, dans la mesure où il s'agit d'un environnement de simulation, il est difficile d'identifier précisément les intentions de l'apprenant à partir des

traces produites. L'auteur a recours à la reconnaissance de plan pour inférer la tâche réalisée. La Figure 32 présente le fonctionnement de la reconnaissance de plans. À partir des traces produites par l'apprenant et des modifications des objets du monde, le système propose une liste de plans possibles. Lorsque plusieurs plans sont possibles, le choix est affiné par des heuristiques. Par exemple, l'heuristique « activation de plan » considère qu'un plan ne peut être choisi que lorsque les conditions d'exécution de celui-ci sont remplies.

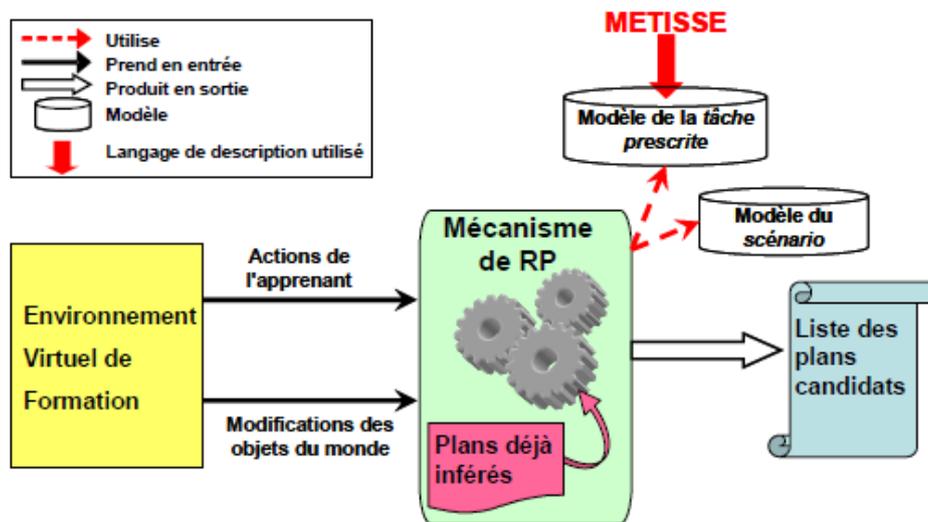


Figure 32 : Le mécanisme de reconnaissance de plans dans (El-Kechaï, 2007)

1.5.1.2 Génération automatique de parcours dans un *serious game*

Dans (J. M. Thomas & Young, 2010), les auteurs présentent l'outil ANNIE (*Automated Generation of Adaptive Learner Guidance for Fun Serious Games*) dont l'objectif est d'assister le *game designer* dans la conception de jeux sérieux. ANNIE permet plus particulièrement de bien calibrer la difficulté et de paramétrer l'assistance au joueur à l'aide d'un outil de génération automatique des parcours en fonction des connaissances de l'élève. L'outil est basé sur un modèle des actions, des causes et effets qui permettent à la fois de générer des éléments de *game play*, mais aussi de représenter l'état des connaissances de l'élève.

Le modèle utilise l'algorithme de planification STRIPS (*Stanford Research Institute Problem Solver*). Cet algorithme analyse les fins et les moyens. Il part des buts pour définir ensuite les moyens. Il s'agit donc ici de reconnaître les plans du joueur/apprenant. Une tâche est constituée de préconditions, post-conditions, de contraintes et de paramètres. Le modèle

de l'apprenant consiste donc à indiquer si l'élève maîtrise les préconditions, post-conditions, les contraintes et les paramètres.

Le modèle de diagnostic fournit une labellisation des actions intéressante pour nos travaux :

- erronée : action qui ne fonctionne pas. Au moins une des préconditions n'est pas remplie ;
- bonne mais imparfaite : elle empêche toute réussite future. Ce choix ne permet pas de générer de plans gagnants ensuite ;
- bonne mais limitative à long terme : elle limitera l'ensemble des plans gagnants ;
- bonne mais inutile : elle peut révéler des conceptions erronées. L'élève ne fait pas ce qu'il devrait faire ;
- bonne, pertinente au niveau de la planification mais sous-optimale ;
- bonne, pertinente mais dangereuse : le joueur se met en danger ;
- bonne, pertinente et prise en compte du danger ;
- inaction.

Pour définir le modèle de l'apprenant, à chaque action effectuée par l'élève, le modèle calcule les plans possibles et identifie le nombre de nœuds d'écart entre la solution la plus proche et celle de l'apprenant. Ensuite, une échelle à cinq niveaux est définie afin de qualifier le degré de connaissances de celui-ci : *highly likely*, *likely*, *neutral*, *unlikely*, *highly unlikely*.

1.5.1.3 Les inconvénients de la reconnaissance de plans

Une des difficultés de la reconnaissance de plans est de choisir parmi plusieurs plans possibles. Dans notre cas, les traces produites par l'apprenant pourraient s'avérer insuffisantes. Il serait nécessaire de compléter ces traces par des indicateurs de variation des objets du jeu. Or, cela peut s'avérer complexe si de telles traces n'ont pas été prévues dans le code source du jeu. D'autre part, la reconnaissance de plans ne permet pas de calculer automatiquement les étapes de résolution d'un cas à partir d'une situation initiale.

1.5.2 *Model tracing*

Le *model tracing* est un type particulier de tuteurs intelligents basés sur la théorie ACT-R d'Anderson qui affirme qu'il existe deux types de mémoire : la mémoire déclarative et la mémoire procédurale (Anderson, Matessa, & Lebiere, 1997). Les connaissances procédurales permettent de décomposer le problème en sous-problèmes. Les connaissances déclaratives permettent quant à elles de résoudre ces sous-problèmes.

Afin d'aider l'élève dans la résolution des problèmes qui lui sont posés, le tuteur dispose de règles de production. Il s'agit de règles qui décrivent les connaissances du domaine pour exécuter une tâche. Ces règles sont complétées par des « Buggy rules », règles erronées. Elles définissent des conceptions erronées fréquemment rencontrées. Enfin, des règles de remédiation sont définies pour les différents types de situations rencontrées. Les tuteurs de type *model tracing* se focalisent donc sur la démarche de résolution de l'élève. Ils ont été utilisés dans des domaines variés tels que la physique (Gertner & VanLehn, 2000) ou l'algèbre (Koedinger, Anderson, Hadley, & Mark, 1997).

Un des inconvénients de cette démarche est l'impossibilité pour le système de fournir un retour lorsqu'il est dans une situation qui n'est décrite dans aucune règle.

1.5.3 Modélisation à base de contraintes

Les tuteurs fondés sur la modélisation à base de contraintes puisent leur fondement dans les travaux de (Ohlsson, 1996) selon lesquelles il faut s'appuyer sur les erreurs de l'apprenant pour construire son modèle et apporter des remédiations. L'idée de base, contrairement au *model tracing*, est que l'information à diagnostiquer n'est pas cachée dans les actions de l'apprenant mais dans le résultat. En fait, ils sont *product-centric* dans le sens où l'on analyse la réponse ou solution finale de l'apprenant. Il s'agit d'observer les différents états par lesquels est passé l'apprenant et de vérifier si les contraintes sont satisfaites afin d'identifier l'erreur. Ohlsson considère qu'aucune bonne solution ne peut passer par des étapes qui violent des contraintes. Les règles de remédiation sont également définies sur la base de contraintes.

Les connaissances déclaratives sont représentées sous forme de contraintes, i.e. prédicats : les contraintes de pertinence (C_r : *relevance constraints*), contexte d'application et les contraintes de satisfaction (C_s : *satisfaction constraints*), condition qui s'applique à toute solution correcte.

Les tuteurs intelligents à base de contraintes ont été utilisés dans les domaines de la conception de bases de données avec KERMIT (Suraweera & Mitrovic, 2002), l'apprentissage du langage d'interrogation de données SQL avec SQL-Tutor (Mitrović, 1998).

1.5.4 Les réseaux de Petri

1.5.4.1 Définition d'un réseau de Petri

Un 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.

Le réseau de Petri (N) est représenté par le triplet $N = (P, T, W)$ où :

P est un ensemble fini de places : $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$

T est un ensemble fini de transitions, disjoints de P : $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$

$W : P \times T \cup T \times P \rightarrow \mathbb{N}$ est la fonction de valuation des arcs.

La fonction de valuation W fait référence à deux aspects : les préconditions et les post-conditions. On peut donc écrire ces deux fonctions :

$Pre : T \times P \rightarrow \mathbb{N}$ représente les conditions de réalisations d'une transition. $Pre(t, p) = W(p, t)$

$Post : T \times P \rightarrow \mathbb{N}$ représente les conséquences de l'exécution d'une transition.

$Post(t, p) = W(t, p)$

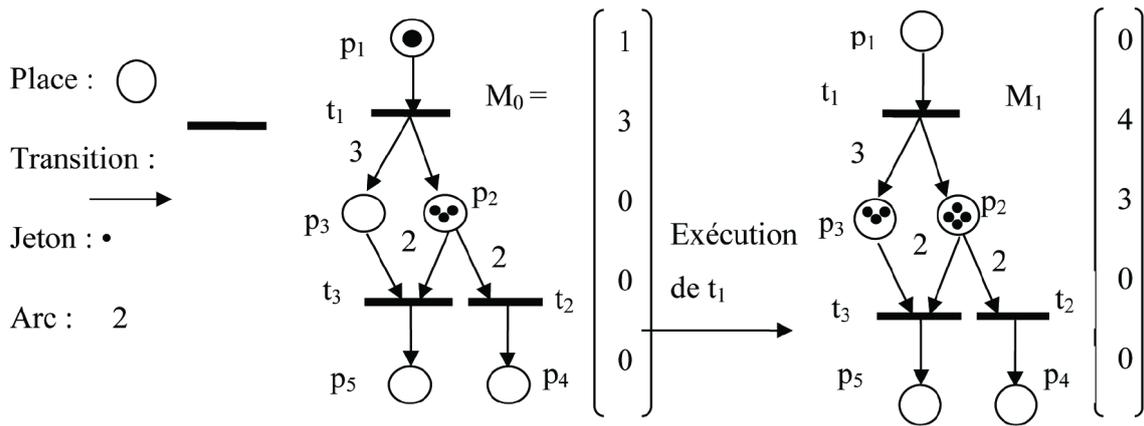


Figure 33 : Le réseau de Petri (RdP)

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 le cadre d'un marquage M , une transition t est franchissable (tirable, exécutable) si et seulement si :

$$\forall p \in P, M(p) \geq W(p, t)$$

Le franchissement de t conduit à un marquage M' tel que :

$$\forall p \in P, M'(p) = M(p) - \text{Pre}(p, t) + \text{Post}(p, t)$$

La matrice d'incidence C d'un réseau de Petri est définie par :

$$\forall p \in P, \forall t \in T, C(p, t) = \text{Post}(p, t) - \text{Pre}(p, t)$$

À la Figure 33, dans le réseau de Petri de gauche, les transitions t_1 et t_2 sont franchissables. En effet, t_1 a pour place en entrée p_1 avec un jeton, ce qui correspond au poids de l'arc qui relie p_1 et t_1 . De même t_2 a pour place en entrée p_2 avec 3 jetons alors que le poids de l'arc qui relie p_2 et t_2 est de 2, il y a donc suffisamment de jetons. En revanche, t_3 n'est pas exécutable car elle a pour places en entrée p_2 et p_3 . Le nombre de jetons en p_2 est suffisant

puisque le poids est à 2, ce n'est pas le cas en p_3 , il n'y a aucun jeton ; or, il en faudrait au moins 1.

Le schéma de droite montre le changement d'état du réseau de Petri à la suite de l'exécution de t_1 . Le jeton en p_1 a été consommé et un jeton (poids de l'arc entre t_1 et p_2) a été envoyé en p_2 et trois jetons (poids de l'arc entre t_1 et p_3) en p_3 . Dans ce nouvel état, t_2 et t_3 sont déclenchables.

Les réseaux de Petri permettent une très grande richesse dans la représentation des structures de contrôle notamment. Ce qui en fait un outil intéressant pour modéliser les règles d'un jeu (*cf.* annexe 5.5).

1.5.4.2 Le graphe d'accessibilité, un outil de modélisation puissant

Le graphe d'accessibilité consiste à représenter l'ensemble des états par lesquels peut passer le réseau et les transitions qui permettent de passer d'un état à un autre.

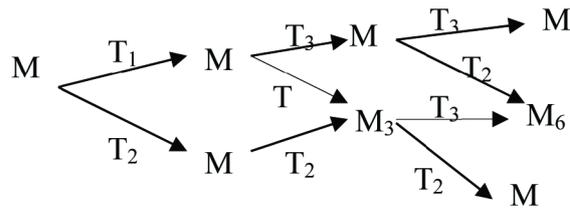
Soit $s = t_1 t_2 \dots t_n$ une séquence de transitions.

Exécuter cette séquence de transitions s conduit le réseau de Petri de l'état M_0 (marquage initial) à l'état M_n . On le note de la façon suivante :

$M_0 \xrightarrow{s} M_n = M_0 \xrightarrow{t_1} M_1 \xrightarrow{t_2} \dots \xrightarrow{t_m} M_n$, où M_i , $i = 0 \dots n-1$ représente le marquage du RdP permettant l'exécution de la transition t_{i+1} et M_{i+1} est le marquage résultat de l'exécution de t_{i+1} à partir de l'état M_i .

Dans un réseau de Petri, un marquage M_g est accessible à partir d'un marquage M s'il existe une séquence de transition s telle que $M \xrightarrow{s} M_g$.

Le graphe d'accessibilité RG représente l'ensemble des marquages accessibles à partir du marquage initial M_0 (sommets). Ces sommets sont reliés par des arcs qui représentent les transitions dont l'exécution conduit au marquage.



$$M_0=(1,3,0,0,0), M_1=(0,4,3,0,0), M_2=(1,1,0,1,0), M_3=(0,2,3,1,0)$$

$$M_4=(0,2,2,0,1), M_5=(0,0,3,2,0), M_6=(0,0,2,1,1), M_7=(0,0,1,0,2)$$

Figure 34 : Le graphe d'accessibilité du RdP

Le graphe d'accessibilité représente donc les différents états à travers lesquels le RdP peut passer. À partir d'un état donné du graphe d'accessibilité, il est possible de définir les chemins de navigation possibles à travers le RdP.

1.5.4.3 Le recours aux réseaux de Petri pour la supervision de systèmes de surveillance

Dans (Lee & Hsu, 2003), les auteurs proposent de contrôler les interventions humaines dans les systèmes de surveillance en se basant sur les réseaux de Petri. Ils se situent dans le contexte des systèmes de surveillance contrôlés par Internet. Il s'agit de systèmes de surveillance à distance, contrôlés par des navigateurs. L'opérateur humain n'est pas présent physiquement dans les locaux et intervient à distance en fonction de l'état du système qu'il perçoit à travers le navigateur Web. Or, les recherches dans le domaine de la sécurité montrent que 80 % des accidents sont provoqués par des erreurs humaines. Les réseaux de Petri et notamment le concept d'exclusion mutuelle vont être utilisés pour cadrer/contrôler les interventions humaines.

Chaque opération est découpée en tâches. Les tâches correspondent à des transitions du réseau de Petri. Les places sont les déclencheurs des actions. La présence de jeton permet d'exécuter la transition. Pour modéliser les contraintes métiers, et notamment empêcher un opérateur d'effectuer une action dans un contexte qui n'est pas adapté, les auteurs proposent d'utiliser les jetons. Ainsi, lorsque deux actions sont mutuellement exclusives, elles prendront en entrée la même place. La consommation du jeton par l'une d'entre elles empêchera systématiquement l'exécution de l'autre. De plus, selon le contexte, le système de supervision automatique mettra le réseau de Petri dans l'état correspondant en plaçant les jetons de manière adéquate afin d'empêcher l'opérateur humain de commettre d'éventuelles erreurs.

1.5.4.4 Le recours aux réseaux de Petri pour la scénarisation de jeux vidéo

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, 2003) et (Araujo & Roque, 2009), les réseaux de Petri sont utilisés pour analyser les jeux de manière formelle et pour détecter les comportements indésirables.

Dans (Brom et al., 2007), les *game designers* les utilisent également afin de modéliser le scénario du jeu, c'est un outil de communication entre *game designers* et développeurs. Ils sont utilisés pour représenter les différents branchements du scénario dans le jeu de rôle « Europe 2045 ». Il s'agit d'un jeu multijoueur au tour par tour dans lequel chaque participant doit gérer un état en définissant la politique, les taxes et les subventions. La singularité de ce jeu réside notamment dans les discussions entre joueurs sur des thèmes de politique globale (migration, vieillissement de la population, etc.). Chaque joueur prend ses décisions puis obtient un retour du jeu sur les conséquences des décisions ainsi que des interactions avec celles des autres joueurs. Par moment des affaires peuvent se produire dans le jeu. Il s'agit en fait de décisions globales qui doivent être prises par l'ensemble des joueurs suite à un débat commun. Les décisions prises vont avoir des conséquences sur le modèle du jeu. Les variables socio-économiques seront influencées par ces choix. Les réseaux de Petri sont utilisés par les concepteurs du jeu pour modéliser les différents scénarios possibles et les dépendances entre les variables. Le formalisme des réseaux a été modifié : deux types de transitions ont été définis. Les décisions sont représentées à l'aide d'ovale tandis que les conséquences sont représentées par des rectangles. Les places servent uniquement d'intermédiaires entre les actions et leurs conséquences. Elles n'ont pas de sémantique particulière et servent de déclencheurs. La Figure 35 représente la modélisation d'un débat sur le conflit au Darfour. Il s'agit pour les joueurs de choisir entre :

- envoyer une aide humanitaire ;
- envoyer une mission européenne ;
- infliger des sanctions ;
- proposer une aide au développement.

Pour chaque option, les conséquences sont modélisées sous forme détaillée. Ainsi, l'envoi d'une mission européenne pourrait avoir une triple conséquence : l'augmentation de la migration, la réussite de la mission, des réactions de protestations. À la suite de ces protestations, la mission pourrait réussir, échouer ou réussir grâce à une intervention de l'Otan.

Les réseaux de Petri sont donc utilisés ici pour modéliser toutes les conséquences possibles des différentes décisions des joueurs.

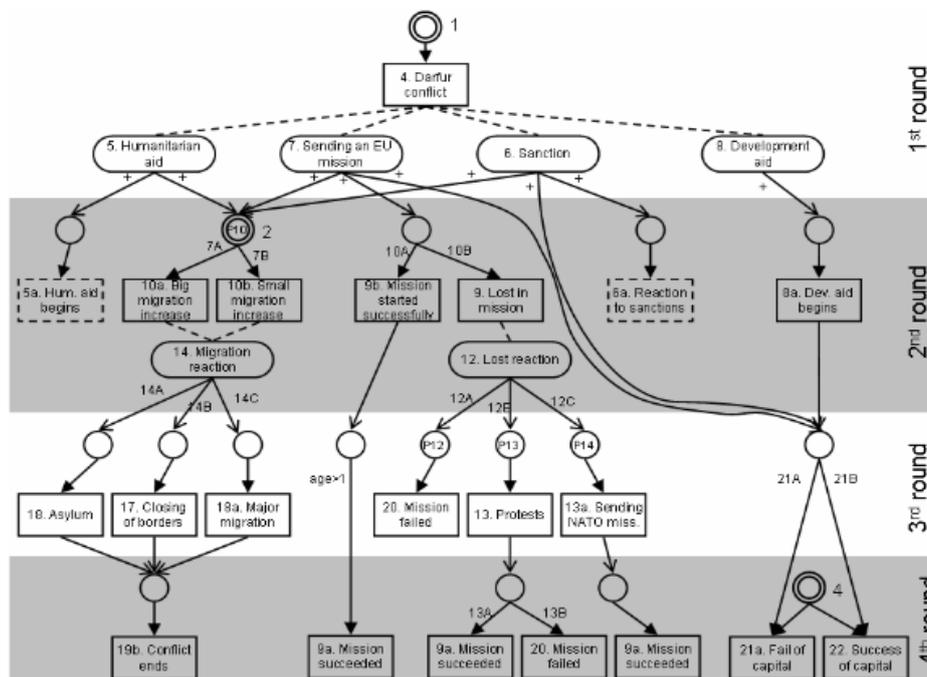


Figure 35 : Scénario du conflit au Darfour dans Europe 2045 (Brom et al., 2007)

1.5.4.5 Le recours à des machines à états pour le suivi : *E-Adventure*

Dans (del Blanco et al., 2010), les auteurs présentent un système de suivi basé sur des machines à états. Ce système est utilisé dans la plateforme *E-Adventure*. Il s'agit d'un outil de conception de jeux sérieux à destination des enseignants. Il permet aux enseignants de scénariser leur jeu sérieux à travers une interface graphique conviviale et sans connaissance préalable en programmation. Nous présentons ici uniquement les aspects liés au suivi du joueur.

Pour les auteurs, les jeux sérieux sont des objets d'apprentissage avec des interactions complexe. Leur intégration dans des plateformes d'apprentissage, notamment dans un objectif de suivi de l'apprenant est complexe et nécessite des adaptations. En effet, le standard SCORM n'était pas prévu pour ce type d'objet pédagogique riche et complexe.

« Les jeux sont caractérisés par des systèmes de type états transition. En effet, les joueurs par leurs actions déclenchent des transitions d'état et la séquence des actions peut mener à un ou plusieurs états finaux. De plus, dans la plupart des cas, le nombre d'états est fini. Par conséquent, la progression à travers le jeu peut être modélisé à l'aide d'automates finis (ou machine à états finis). »

(Moreno-Ger, Burgos, Martínez-Ortiz, Sierra, & Fernández-Manjón, 2008)

Il convient de préciser qu'une machine à états finis est un type particulier de réseaux de Petri dans lequel chaque transition n'a qu'une place en amont et une place en aval.

À partir de la modélisation du jeu en tant que machine à états finies, les mécanismes d'évaluation et d'adaptation sont définis. L'analyse de l'activité consiste donc en l'observation des états par lesquels le joueur passe. Les auteurs considèrent qu'il est inutile de montrer l'ensemble du parcours aux enseignants et leur donnent la possibilité de définir des « règles d'évaluation » en indiquant les états qu'ils souhaitent observer. Ces règles peuvent également permettre de pondérer les chemins adoptés par l'élève et/ou de définir des minuteurs. La Figure 36 présente les règles qu'il est possible de mettre en place pour l'enseignant. La partie A met en évidence deux chemins possibles pour le joueur. Le passage par l'état S1 est valorisé tandis que l'état S2 est pénalisé. Le schéma B indique que l'enseignant souhaite connaître l'enchaînement temporel des états S1, S2 et S3. Il s'agit de lui fournir le temps qui sépare le passage d'un état à un autre. Le schéma C représente directement les règles de *scoring* selon l'état par lequel sera passé l'apprenant : A+ pour le premier état, B- pour le second et D pour le dernier.

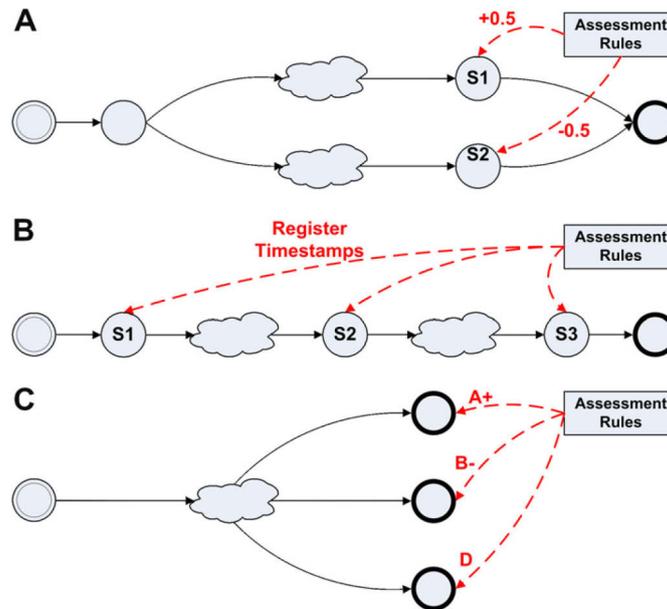


Figure 36 : Exemple de règles d'évaluation (Moreno-Ger et *al.*, 2008)

Dans (del Blanco et *al.*, 2010), les auteurs détaillent la mise en œuvre du dispositif de suivi basé sur l'observation d'états. Le suivi se fait par l'intégration du logiciel *E-Adventure* dans la plateforme LAMS (*Learning Activity Management System*). L'intégration du jeu dans LAMS permet notamment d'associer les indicateurs de suivi au profil de l'apprenant (en cohérence avec le modèle CMI du standard SCORM). L'évaluation est basée sur la complétion d'objectifs définis : par exemple, une variable atteint une valeur donnée dans un temps défini.

Dans (Serrano, Marchiori, del Blanco, Torrente, & Fernandez-Manjon, 2012), les auteurs définissent l'architecture du système d'évaluation. L'idée est de représenter dans un modèle global de l'analyse des traces chacune des étapes et les processus qui y sont associés.

Les étapes sont :

- la sélection des traces ;
- l'agrégation des traces ;
- la présentation de l'information ;
- l'évaluation ;
- l'adaptation.

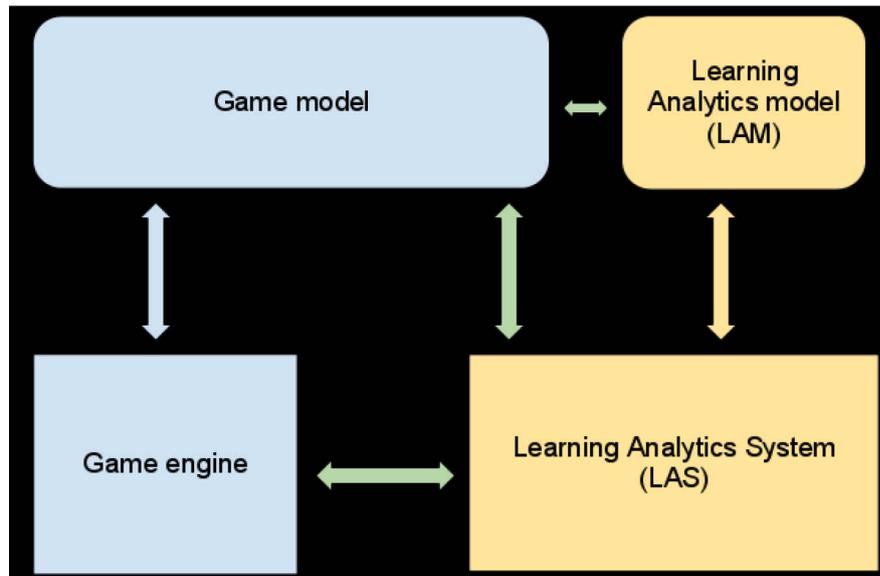


Figure 37 : L'architecture du système de suivi (Serrano, Marchiori, del Blanco, Torrente, & Fernandez-Manjon, 2012)

Ils donnent des exemples d'indicateurs que l'on peut fournir à l'enseignant (par élève ou pour l'ensemble des élèves) :

- le temps passé sur chaque scène ;
- cartes thermiques indiquant les passages des joueurs (cartes colorées de jaune clair à rouge en fonction du taux de fréquentation de zones par les jours) ;
- évolution de certaines variables définies au préalable dans le temps.

1.5.5 Les ontologies, outil de modélisation très utilisé dans le cadre du diagnostic

1.5.5.1 Définition

En informatique, lorsqu'il s'agit de modéliser un domaine, des connaissances/compétences, on recourt très fréquemment à des ontologies.

Une ontologie définit les termes et les relations de base du vocabulaire d'un domaine ainsi que les règles qui indiquent comment combiner les termes et les relations de façon à pouvoir étendre le vocabulaire (Neches et *al.*, 1991). On peut compléter cette définition par celle de (Swartout, Patil, Knight, & Russ, 1996) : « Une ontologie est un ensemble de termes structurés de façon hiérarchique, conçue afin de décrire un domaine et qui peut servir de charpente à une base de connaissances. »

Les connaissances intégrées dans les ontologies sont formalisées en mettant en jeu cinq types de composants (Gruber, 1993) :

- les classes ou concepts ;
- les propriétés ou relations ;
- les axiomes ;
- les instances.

« Les classes représentent les concepts qui peuvent être abstraits ou concrets, élémentaires (électron) ou composés (atome), réels ou fictifs. En résumé, un concept peut être tout ce qui peut être évoqué et, partant, peut consister en la description d'une tâche, d'une fonction, d'une action, d'une stratégie ou d'un processus de raisonnement, etc. »

(Gómez-Pérez, 1999)

Les classes sont souvent représentées sous forme d'une taxinomie mais d'autres relations peuvent également être représentées. Les relations représentent une interaction entre deux notions d'un domaine. Il existe deux types de relations : les relations entre classes (*object property*) et les relations entre une classe et un domaine de valeur d'un certain type tel qu'entier, réel, chaîne de caractères, etc. (*datatype property*). Les axiomes traduisent des règles qui sont valables dans l'ensemble de l'ontologie. Les axiomes définissent les conditions de validité des classes et des relations entre les classes. Enfin, les instances représentent les valeurs réelles.

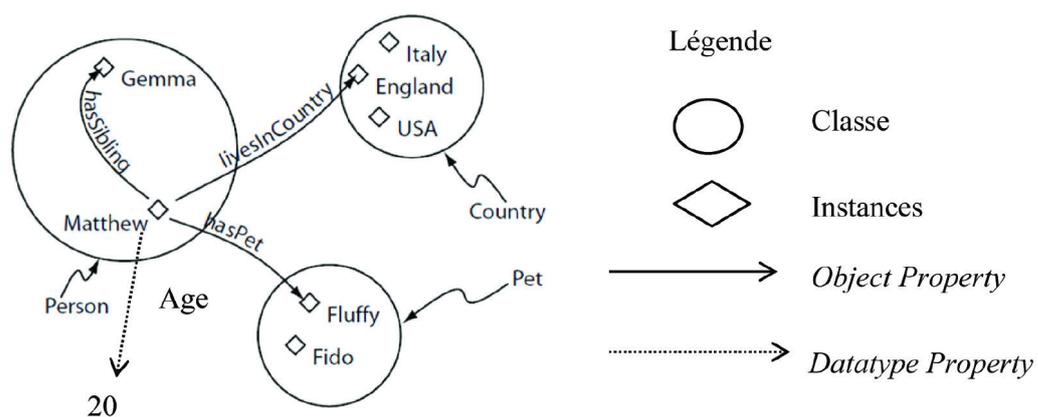


Figure 38 : Un exemple d'ontologie (Horridge, 2011)

La Figure 38 représente une ontologie avec les classes : pays, animal domestique et personne. L'Italie, l'Angleterre et les États-Unis sont des instances de la classe pays. La relation *livesInCountry* relie une instance de la classe personne à une instance de la classe pays. L'ontologie nous permet d'affirmer que Matthew est une personne âgée de 20 ans qui habite en Angleterre et qui a pour animal de compagnie Fluffy.

On distingue différents niveaux d'ontologies selon le but pour lequel elles sont conçues. (Van Heijst, Schreiber, & Wielinga, 1997) distinguent quatre types d'ontologies :

- les ontologies du domaine rassemblent les connaissances dans un domaine particulier ;
- les ontologies applicatives sont spécifiques et non réutilisables. Elles ont un domaine de validité restreint et correspondent à l'exécution d'une tâche ;
- les ontologies génériques expriment des conceptualisations valables dans différents domaines, elles ne sont pas propres à un seul domaine ;
- les ontologies de représentations conceptualisent des primitives des langages de représentations des connaissances.

Les ontologies présentent de nombreux avantages dans le domaine informatique. Elles permettent ainsi de :

- fournir les moyens de décrire de façon explicite la conceptualisation des connaissances représentées dans une base de connaissances (Gómez-Pérez, 1999) ;
- analyser les connaissances du domaine et de représenter les tâches (Van Heijst et *al.*, 1997) ;
- séparer les connaissances du domaine et les connaissances opérationnelles (Noy & McGuinness, 2001) ;
- fournir une sémantique formelle (permettant la compréhension par un programme informatique) et une sémantique interprétative d'un domaine du monde réel fondée sur un consensus et permettant de lier le contenu exploitable par la machine à sa signification pour les humains (Charlet, 2002) cité dans (Amokrane, 2010).

1.5.5.2 Exemples d'utilisation d'ontologies pour le diagnostic

2.5.5.2.1 Les ontologies pour partager une représentation commune des capacités en géométrie : GeoSkills

L'ontologie GeoSkills a été développée dans le cadre du projet Intergeo²⁰. Le but de ce projet était de permettre le partage de ressources pédagogiques dans le domaine de la géométrie entre enseignants de plusieurs pays européens (Desmoulins, 2010).

Afin de satisfaire l'objectif de mutualisation des ressources, il a été nécessaire de définir un format d'échange commun entre les différentes applications de géométrie utilisées. Ensuite, les partenaires du projet ont également mis en place un système d'évaluation et d'indexation des ressources proposées. Nous nous intéressons au troisième aspect du projet qui consistait à définir une ontologie des compétences en géométrie commune à tous les partenaires : GeoSkills.

GeoSkills représente les éléments de base permettant de définir les programmes de géométrie à savoir les compétences, les notions, les théorèmes, les objets géométriques etc. Cette ontologie modélise également le contexte de l'apprentissage, c'est-à-dire le curriculum, le niveau scolaire, les régions éducatives (en France, il n'y a qu'une seule région éducative). La traduction est également gérée au sein de l'ontologie en ajoutant un attribut langue.

La formalisation des connaissances du domaine par GeoSkills a été utilisée pour l'indexation des contenus et a permis de mettre en œuvre un moteur de recherche des ressources. De plus, cette formalisation a contribué à mieux rattacher les ressources aux compétences.

2.5.5.2.2 Les ontologies pour le diagnostic dans les approches de raisonnement à partir de cas : la plateforme COBRA (*Conversational Ontology-based Case based reasoning for Risk Analysis*)

Dans (Assali, Lenne, Debray, & Bouchet, 2009), les auteurs présentent la plateforme COBRA dont l'objectif est, non seulement d'aider à diagnostiquer une situation problème à partir d'une base de cas, mais aussi de permettre à un expert d'enrichir la base de cas à partir de la situation rencontrée. COBRA a notamment été utilisée pour la détection de défaillances

²⁰ Descriptif du projet disponible à l'adresse suivante : <http://revue.sesamath.net/spip.php?article289>

dans les sites classés SEVESO, sites industriels présentant un risque majeur selon la directive européenne du même nom.

COBRA est constituée de deux éléments : une partie processus et une partie connaissances.

La partie processus se découpe en trois phases : la création d'un cas, le raisonnement ou diagnostic et l'enrichissement de la description du cas. Le diagnostic consiste à identifier la cause probable de la défaillance en recherchant dans la base de cas un ou plusieurs cas similaires.

Lorsque le système ne trouve pas de cas similaire ou lorsque l'expert n'est pas satisfait de la réponse de COBRA, la description du cas est enrichie et un processus itératif est lancé jusqu'à la résolution du problème posé.

La partie connaissances consiste à modéliser le domaine et les cas. Les ontologies interviennent dans cette partie. Les connaissances du domaine sont modélisées à l'aide d'une ontologie qui fournit le vocabulaire pour décrire les concepts essentiels en matière de sécurité. Cette ontologie est ensuite intégrée à l'ontologie décrivant les cas. Un cas se caractérise par une description, un problème et une solution. La Figure 39 présente la description du cas 1 dont l'objectif consiste à détecter la présence d'un gaz inflammable, l'hydrogène à l'aide d'un capteur infra-rouge. Le chlore est également présent.

À partir de la modélisation des cas à l'aide des ontologies précédentes, COBRA recourt à des calculs de distance sémantique afin d'identifier un cas similaire au problème posé.

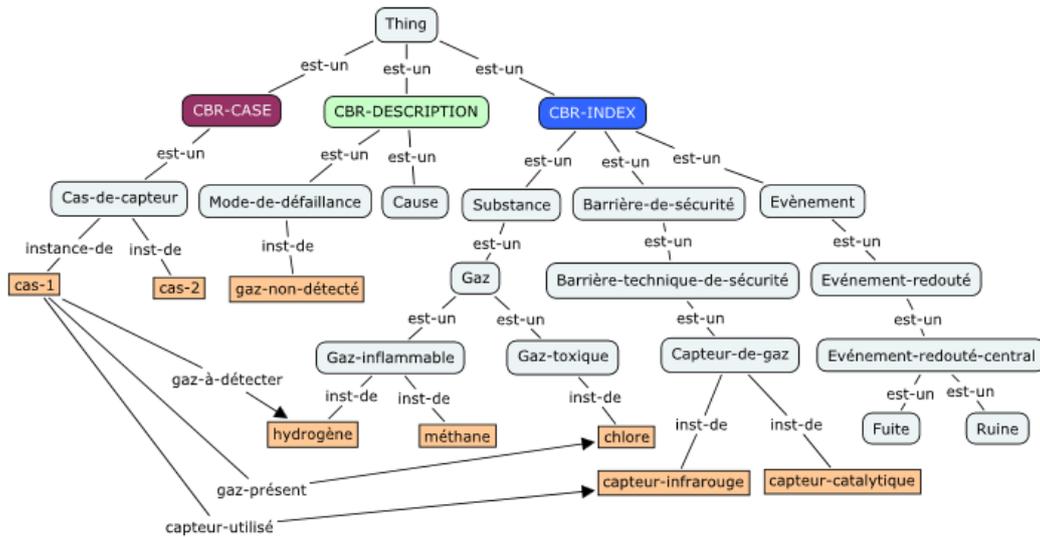


Figure 39 : Un modèle de cas dans COBRA (Assali et al., 2009)

Nous retenons de ce projet la modélisation des cas à l'aide d'une ontologie ainsi que la mise en place d'un vocabulaire général pour décrire les connaissances du domaine. L'intégration de l'ontologie modélisant les connaissances à celle modélisant les cas nous paraît très pertinente.

2.5.5.2.3 Les ontologies pour l'adaptation dans les jeux sérieux : le projet Elektra

Dans (Kickmeier-rust & Albert, 2008), les auteurs présentent le projet Elektra dont l'un des objectifs est de proposer une méthodologie de conception de jeux sérieux. Dans le cadre de cette méthodologie, la gestion de l'adaptation du jeu sérieux à l'apprenant est un enjeu essentiel. Nous nous intéressons uniquement à cet aspect par la suite.

Afin d'adapter le jeu au profil, aux comportements et aux compétences de l'apprenant, le système doit disposer d'un modèle de données précis et suffisamment riche.

Elektra prend appui sur une extension de la théorie des espaces de connaissances (*Knowledge Space Theory*) : les espaces de connaissances basées sur les compétences. Dans cette approche, un domaine de connaissance Q est caractérisé par un ensemble de problèmes. L'état des connaissances d'un apprenant est représenté par le sous-ensemble de problèmes qu'il est en mesure de résoudre. Les problèmes sont liés par plusieurs types de relations telles que la précédence ou l'équivalence. Les problèmes traduisent la maîtrise de compétences. La maîtrise des compétences n'étant pas directement observable, elle va être inférée à partir des problèmes traités par l'apprenant. Ainsi, si l'apprenant traite correctement un problème, le

système fait l'hypothèse qu'il maîtrise les compétences associées à ce problème mais aussi les compétences pré-requises.

Les ontologies sont utilisées pour modéliser les connaissances et compétences de l'apprenant mais aussi la situation problème présentée et les différentes méthodes pour la résoudre. La base de connaissances associée à l'ontologie permet de représenter l'état des connaissances et compétences de l'apprenant. La base de connaissances permet également de représenter l'état du jeu et les différentes évolutions possibles de celui-ci.

L'idée est de permettre au moteur de jeu de consulter l'ontologie pour adapter le jeu en fonction de différents critères tels que le niveau des connaissances de l'apprenant, les objectifs pédagogiques fixés. Ainsi, il est possible d'envoyer un joueur particulièrement bon vers des situations problèmes plus complexes afin de maintenir le challenge et le *flow* optimal (Csikszentmihályi, 1991). Inversement, un joueur en difficulté peut recevoir des indices ou des conseils qui auraient été modélisés dans l'ontologie.

Nous retenons de ce projet, les capacités des ontologies à fournir des données pour l'adaptation de jeux sérieux.

2.5.5.2.4 Les ontologies pour la formation des infirmières de pratique avancée

Dans (Petit dit Dariel, Raby, Ravaut, & Rothan-Tondeur, 2013) et (Raby & Ravaut, 2011), les auteurs présentent un projet de création de jeux sérieux pour la formation d'infirmières. Le jeu sérieux s'intègre dans le Master de pratiques avancées en soins infirmiers. Il s'agit de former les infirmières à la prise de décision rapide face à la modification d'une ou plusieurs fonctions vitales d'un patient. Le jeu a vocation à entraîner des infirmières sur des patients virtuels. Le moteur de jeu doit donc être en mesure de simuler le déclenchement d'une situation de crise, l'évolution de celle-ci en réaction aux actions de l'infirmière.

Dans ce projet, les ontologies sont utilisées pour modéliser les connaissances du domaine et le vocabulaire associé. Les ontologies modélisent également le traitement des problèmes rencontrés en détaillant la démarche pour aboutir au diagnostic. L'ontologie est donc utilisée ici comme outil d'accompagnement et de formation au diagnostic médical.

Les étapes du diagnostic dans l'ontologie font référence à la méthodologie SOAP (Symptoms, Objective, Assessment, Plan) utilisée en médecine (Weed, 1970) cité dans (Raby & Ravaut, 2011) qui peut être traduit par : Symptômes, Observations, Antécédents et problèmes de santé du patient, et Procédures de soins ou plan pour résoudre les problèmes rencontrés.

Les connaissances factuelles et procédurales des domaines mis en œuvre dans le jeu sérieux sont modélisées dans l'ontologie. Ensuite, le requêteur et le raisonneur de l'ontologie permettent pour un état initial du patient et des symptômes donnés de fournir un diagnostic et les traitements correspondants.

Nous retenons de ce projet, la modélisation des étapes de diagnostic à l'aide d'une ontologie et le recours au raisonneur pour mener un diagnostic et identifier la cause probable d'un problème posé.

1.6 L'importance de l'analyse des erreurs

1.6.1 Définition

Dans le cadre du diagnostic, l'objectif est comme nous l'avons précisé d'analyser ce que l'apprenant fait correctement mais aussi d'analyser ses erreurs. (Leplat, 1985) définit l'erreur comme un écart non intentionnel à une norme définie et reconnue par tous.

Cette analyse permet d'inférer ensuite sur le niveau de maîtrise des compétences de l'apprenant. Certains environnements de formation vont chercher à expliquer les causes de l'erreur (El-Kechaï & Després, 2006), d'autres systèmes comme les tuteurs intelligents basés sur le *model tracing* vont corriger l'erreur afin de remettre l'apprenant sur le bon chemin. D'autres systèmes vont encore laisser l'apprenant se tromper afin de lui faire prendre conscience des conséquences de ses actions (Amokrane & Lourdeaux, 2009). Dans tous les cas, l'erreur est considérée comme source d'apprentissage. Dans (Astolfi, 1997), l'erreur a un statut dans l'apprentissage, il ne faut pas la nier ou l'éliminer mais plutôt l'utiliser :

« Se confronter à des difficultés, à des défis, à des opinions variées, à des “errances” passagères constitue un véritable moteur pour l’apprenant qui est amené à rechercher de l’information, à s’approprier des matières scientifiques, à se questionner de façon autonome, etc. Si à chaque erreur ou hésitation, la seule réponse qu’il/elle reçoit est une sanction, il y a peu de chance qu’il/elle persévère. »²¹

(Hollnagel, 2005) définit l’erreur comme une action qui produit un ou des résultats non attendus. Il s’intéresse non seulement au résultat de l’action (l’erreur) mais également à la source (la cause). Nous détaillerons son approche par la suite.

1.6.2 Exemples de classification des erreurs

1.6.2.1 Classification des erreurs dans l’enseignement

Dans (Astolfi, 1997), l’auteur propose huit catégories d’erreur qu’un enseignant peut rencontrer. Il indique également pour chaque catégorie des exemples de remédiation :

- **compréhension des consignes** : il y a erreur quand l’apprenant ne sait pas ce qu’il doit faire. Si l’enseignant lui explique, il est en mesure d’effectuer le travail demandé. Pour corriger ce type d’erreur, l’enseignant peut travailler spécifiquement sur la formulation des énoncés, les cas fréquemment posés en examen, etc. ;
- **habitudes scolaires et mauvais décodages** : les règles utilisées par l’apprenant ne correspondent pas à la situation, l’élève se contente d’appliquer sans maîtriser le contexte. Un moyen d’éviter ce type de mauvaise habitude est d’adopter une démarche inductive et de faire exprimer la règle à l’élève ;
- **surcharge cognitive** : l’apprenant se retrouve face à un surplus d’informations et/ou de concepts à mobiliser. Un moyen de résoudre cette situation est d’apprendre à l’apprenant à découper un problème en sous problèmes et d’adopter une résolution méthodique et progressive ;
- **cloisonnage des disciplines** : l’apprenant n’arrive pas à mobiliser les concepts appris dans une discipline. C’est le cas par exemple des mathématiques qui sont réutilisées en physique ou en économie. La remédiation consiste à adopter des démarches par projet en associant plusieurs disciplines afin de montrer les liens existants ;

²¹ Extrait de : <http://pedagogieuniversitaire.wordpress.com/?s=astolfi>

- **conception alternative** : l'erreur provient d'une représentation inadaptée que s'est construite l'apprenant. Il s'agit pour l'enseignant de déconstruire cette représentation en montrant en quoi elle est erronée ;
- **opérations intellectuelles complexes** : certains concepts sont difficiles et demandent un effort d'abstraction important. L'apprenant a besoin de temps et d'accompagnement pour s'y habituer. C'est par exemple le cas des nombres complexes en mathématiques qui présentent une logique différente ;
- **démarche différente** : l'apprenant ne recourt pas à la méthode vue en cours et/ou prévue par l'enseignant. Selon les cas, l'élève a juste anticipé une partie du programme qui sera vue ultérieurement ;
- **complexité du contenu** : certains concepts sont plus difficiles à comprendre pour l'élève. L'enseignant doit parfois faire preuve d'imagination et de créativité pour transmettre ces concepts.

Les mauvais décodages, le cloisonnage des disciplines, les conceptions alternatives ou le recours à une démarche différente pourraient être diagnostiqués automatiquement. En effet, on pourrait construire des règles et/ou des observables permettant d'analyser ces situations. Par exemple, il est possible de lister un ensemble d'actions révélant une conception alternative ou une démarche différente.

1.6.2.2 Classification des erreurs dans les systèmes critiques

Dans (Hollnagel, 1998a), l'auteur s'intéresse à la fiabilité humaine dans les systèmes à risque tels que les centrales nucléaires par exemple. Le domaine des HRA (*Human Reliability Assessment*) consiste à mettre en place des méthodes et modèles afin d'identifier et donc de prévenir les erreurs humaines.

À ce propos, l'auteur définit la méthode CREAM (*Cognitive Reliability for Error Analysis Method*) qui permet de prévoir des risques, mais aussi d'analyser un incident afin d'identifier les causes par exemple. CREAM se décompose en trois éléments :

- un modèle de cognition (COCOM : *Contextual Control Model*) ;
- un schéma de classification qui distingue la manifestation d'une erreur et sa cause ;
- une méthode d'analyse pour remonter à la cause de l'erreur (méthode CREAM).

Le modèle COCOM étant sous-jacent au schéma de classification et à la méthode d'analyse, nous nous focalisons uniquement sur ces deux aspects qui sont susceptibles d'être utilisés dans notre démarche.

La méthode donne les principes à respecter dans une situation d'analyse rétrospective ou prédictive d'un incident. L'idée est d'analyser correctement les actions erronées afin d'inférer les causes probables. Au départ, cette méthode était manuelle (papier/crayon), elle a été automatisée dans le cadre des travaux de thèse de N.El-Kechai (El-Kechaï, 2007).

Cette méthode utilise le schéma de classification pour rechercher les causes des actions erronées (cf. Figure 40). Les actions erronées sont influencées par trois types de causes :

- humaines ;
- organisationnelles ;
- technologiques.

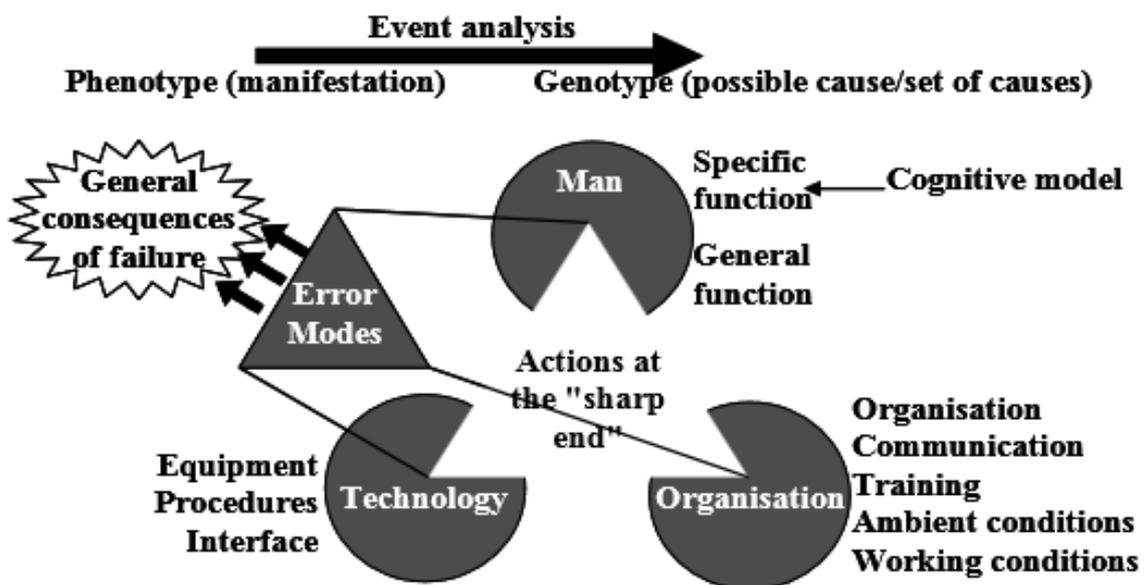


Figure 40 : Les catégories du schéma de classification (Hollnagel, 1998a) dans (El-Kechaï, 2007)

L'auteur distingue les phénotypes (manifestation de l'erreur) du génotype (causes de l'erreur). Les phénotypes résultent de l'observation du comportement de l'utilisateur (cf. Figure 41). Ainsi, l'utilisateur s'est trompé d'objet, il a pris la mauvaise clé (phénotype « Object » ayant pour valeur « wrong »). De même, dans une autre situation l'utilisateur a

creusé trop longtemps sur une même zone (phénotype « Duration » ayant pour valeur « Too long »).

Les génotypes et les phénotypes peuvent être classés dans chacune des trois catégories citées précédemment.

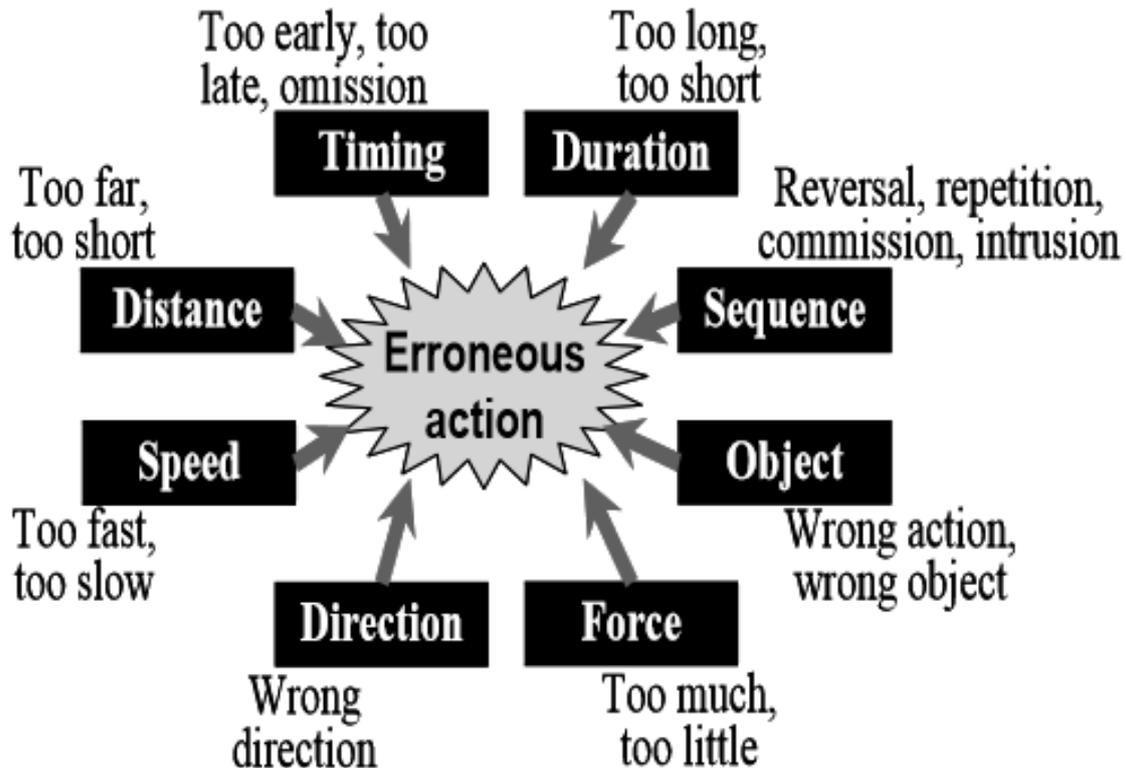


Figure 41 : Les groupes de phénotypes (Hollnagel, 1998a) dans (El-Kechaï, 2007)

Les génotypes sont inférés et permettent d'expliquer pourquoi l'action n'a pas conduit au résultat escompté, ils permettent d'identifier la source de l'erreur (cf. Figure 42).

Par exemple, l'échec d'une procédure d'extinction rapide d'un incendie peut s'expliquer par le profil de la personne présente sur les lieux. Une personne faiblement expérimentée ne dispose pas forcément des fonctions cognitives spécifiques d'analyse et n'a pas observé correctement la zone de départ de feu.

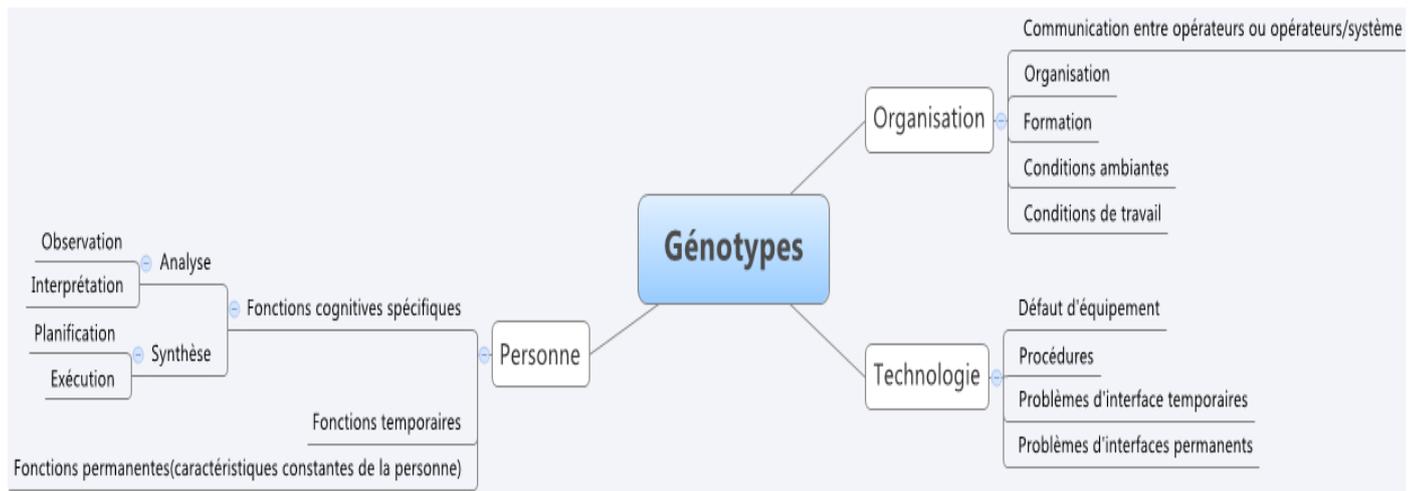


Figure 42 : Les catégories de génotype, extrait simplifié de (El-Kechaï, 2007)

1.6.2.3 Exemple de classification d'erreurs dans le jeu vidéo

Dans (Milam & El Nasr, 2010), les auteurs s'intéressent aux données de navigation du joueur dans le jeu d'aventure *Assassin's Creed II*²². Il s'agit d'un jeu d'aventure dans lequel le joueur incarne le personnage principal. Dans le cadre de leurs travaux, les auteurs analysent les données de navigation de 22 joueurs. Leur objectif était de comprendre pourquoi le jeu pose des difficultés à la majorité des joueurs à certaines étapes malgré les instructions fournies. Ils se sont focalisés sur les erreurs fréquentes et ont défini une typologie des erreurs. Dans cet article, ils s'intéressent plus particulièrement à la manière dont le personnage (incarné par le joueur) grimpe sur une tour à la suite de son frère. La Figure 43 détaille les erreurs et les conséquences qu'elles provoquent sur le jeu. Par exemple, lors de la poursuite de son frère, le personnage n'arrive pas à grimper et chute fréquemment ce qui provoque une perte d'énergie. De même, en termes de stratégie sociale, le personnage adopte des comportements risqués dans la mesure où il se rapproche de personnages jugés dangereux et s'attaque à ceux qui pourraient lui être utiles.

²² Descriptif disponible ici : <http://assassinscreed.ubi.com/fr-fr/home/>

Action	Effets erronés
Grimper	Chute
	Perte d'énergie
Sprint	Tourne en rond
	Percute obstacles
Statut social	Attaque des personnages non ennemis
	Se rapproche trop des ennemis
Cacher	Ne se cache pas assez
	Se cache alors qu'il a un statut anonyme, perte de temps

Figure 43 : Extrait d'un typologie des erreurs dans *Assassin's Creed II* traduit de (Milam & El Nasr, 2010)

Ce type d'analyse est souvent mené par les créateurs de jeux vidéo. En effet, si le joueur n'arrive pas à avancer dans le jeu, il va se décourager et abandonner. Il aura donc une mauvaise image du jeu et éventuellement de la société conceptrice. Les entreprises de jeux vidéo investissent de plus en plus dans les tutoriels et les outils d'accompagnement du joueur. Les tutoriels n'interviennent pas forcément dès le début du jeu. Le joueur est guidé par un compagnon, par exemple, et apprend les règles au fur et à mesure.

1.7 Un cadre unificateur *Evidence Centered Design* (ECD)

1.7.1 Présentation de la méthode

ECD décrit un cadre conceptuel ainsi que des outils pour diagnostiquer, évaluer et faire des inférences sur les compétences des apprenants. Les fondements sous-jacents à ECD viennent de Samuel Messick (Messick, 1994). Le processus commence par identifier ce que l'on veut 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 performances qui peuvent être mesurables/observables. Ensuite, il faut identifier les types de tâches et de situations dans lesquelles ces comportements peuvent être observés.

L'objectif principal d'une évaluation est de collecter des informations qui permettent à l'évaluateur d'inférer l'état des compétences des apprenants : ce qu'ils savent/peuvent faire, et à quel degré. L'exactitude des inférences peut alors aider à prendre des décisions pédagogiques et à soutenir l'apprentissage.

Dans le cadre méthodologique ECD, 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 44 : Les 3 principaux modèles de ECD).

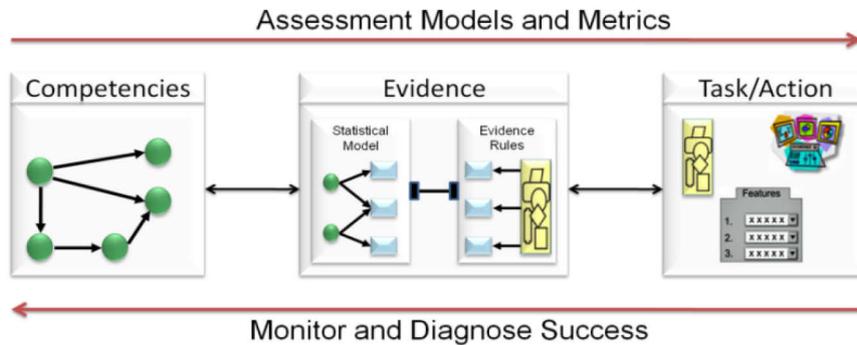


Figure 44 : Les 3 principaux modèles de ECD

1.7.2 Le modèle de compétences (CM)

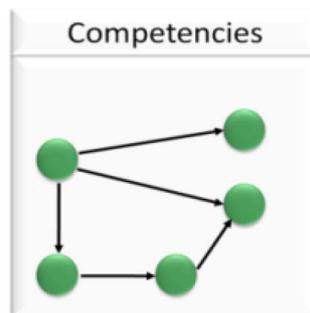


Figure 45 : Le modèle de compétences

Dans le modèle de compétences, les nœuds 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 CM et les valeurs dans ce modèle représentent la croyance actuelle que l'évaluateur a sur chaque variable du CM. Ex : dans une classe de sciences, la compétence générale « pensée systémique » est composée de plusieurs sous-compétences dont « créer un diagramme de boucles de causalité ». Pour un apprenant qui comprend et dessine aisément les diagrammes de causalité, cette sous-compétence aurait comme valeur fort (si les différentes valeurs sont : faible, moyen et fort).

Les inférences peuvent être à différents grains de granularité, de générales (ex. : le niveau de compétences en mathématiques de Maya est élevé) à plus spécifiques (ex. : Jeb a de sérieux problèmes pour la résolution d'équations linéaires).

1.7.3 Le modèle de preuves (EM)

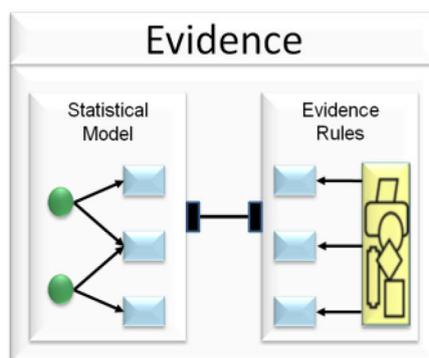


Figure 46 : Le modèle de preuves

Le modèle de preuves exprime comment les interactions avec (ou les réponses à) un problème constituent des preuves sur les variables du modèle de compétences. Le modèle de preuves est composé de deux parties : (a) les règles de preuves et (b) le modèle statistique.

Les règles de preuve (ou modèle de *scoring*/rubriques) prennent comme entrée les productions de l'apprenant (grand rectangle de droite) qui correspondent aux interactions de l'apprenant avec la tâche ou avec l'environnement. Ces productions dépendent du type de tâche : réponse courte, illustration, 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 (petits rectangles).

En reprenant l'exemple du nœud « créer un diagramme de boucles de causalité », l'EM doit indiquer clairement les aspects du diagramme causal qui doivent être présents (ou absents) qui indiqueraient divers degrés de compréhension ou de maîtrise de cette compétence.

Le modèle statistique peut représenter de simples nombres (scores) comme il peut utiliser des réseaux bayésiens avec des probabilités conditionnelles : en fonction des données recueillies jusqu'ici, une estimation que la personne X a un certain niveau de la compétence Y.

1.7.4 Le modèle de tâches (TM)

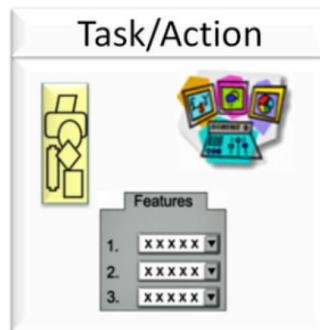


Figure 47 : Le modèle de tâches

Le modèle de tâche fournit un cadre pour la caractérisation et la construction de situations avec lesquelles l'apprenant va interagir pour fournir des preuves sur des aspects ciblés de connaissances ou d'attitudes liées aux compétences. Ces situations sont décrites en termes de :

- format de présentation ;
- travail spécifique ou une production (ex. : réponses, échantillon de travail) ;
- autres variables utilisées pour décrire les principales caractéristiques des tâches (ex. : niveau de difficulté).

Ainsi, le TM indique ce que l'apprenant doit faire : quelles réponses sont autorisées, quels formats sont disponibles, et d'autres considérations comme :

- est-ce que l'apprenant est chronométré ?
- est-ce que l'apprenant est autorisé à utiliser des outils (calculatrice, dictionnaire, etc.) ?

Plusieurs TM peuvent être utilisés pour une évaluation donnée. Les tâches constituent la partie la plus « évidente » pour une évaluation et leur principal objectif est d'obtenir des preuves (observables) sur les compétences (inobservables).

Quand ECD est utilisé pour des jeux, c'est le modèle d'actions qui est utilisé à la place de TM, autrement dit, ce sont les séquences d'actions qui sont modélisées de manière dynamique afin de les utiliser pour les inférences. En somme, dans les situations de jeu, le modèle d'action est composé de séquences d'actions ainsi que des indicateurs de succès de

chaque action. Les actions représentent ce que l'apprenant fait pour réaliser une mission ou résoudre un problème.

1.7.5 Conception et diagnostic

Comme illustré dans la Figure 44 : Les 3 principaux modèles de ECD, la conception d'une évaluation se fait de gauche à droite, même si dans la pratique, c'est un processus itératif : l'évaluateur identifie les variables de compétences, établit les critères pour évaluer les performances et conçoit et gère les tâches pour obtenir la preuve de la performance de l'apprenant.

Le diagnostic (ou inférence) se fait 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 modèle de preuves. Les résultats de cette analyse sont des données (ex. : des scores) qui sont reprises dans le modèle de compétences, lequel met à jour les probabilités (affirmations) sur les compétences pertinentes.

1.7.6 Exemple d'application d'ECD au jeu Taiga Park

Dans (Shute, Masduki, & Donmez, 2010), les auteurs présentent une application de la méthode ECD dans le jeu Taiga Park, jeu d'enquête dont l'objectif est d'identifier, dans un parc naturel africain, la cause de la disparition des poissons. L'objectif pédagogique est l'apprentissage de la pensée systémique.

La construction de la pensée systémique se réfère à la capacité d'un apprenant à comprendre qu'un système est composé de plusieurs objets (ou entités) avec des interdépendances et que la compréhension du système ne se limite pas à comprendre chaque objet séparément. Contrairement à l'approche analytique qui ne considère que la causalité de $A \rightarrow B$; la systémique analyse la double relation de $A \rightarrow B$ et de $B \rightarrow A$. Les objets à étudier ne peuvent pas être compris à partir de l'analyse de relations causales simples. Les relations sont le plus souvent circulaires, une action (cause) produit un effet (réaction) qui modifie l'environnement qui, à son tour, modifie la cause à l'origine de l'effet. La réalité est faite d'interactions permanentes entre les éléments et leur prise en compte met en évidence l'aspect « vivant » du système.

Le jeu se divise en plusieurs étapes pendant lesquelles le joueur interroge les différents habitants du parc naturel (fermiers, compagnie d'exploitation forestière, entreprise d'excursion de pêche). Le joueur peut également effectuer des prélèvements et demander des analyses. Au fil des missions, le joueur émet des hypothèses sur les responsables envisagés (en justifiant à l'aide de graphes causaux), puis il réajuste ses hypothèses au fur et à mesure de l'avancée du jeu et de la découverte de nouveaux éléments. L'objectif final est donc de produire un graphe causal mettant en évidence de multiples interdépendances et donc une vision systémique du problème. Le système (aidé d'un enseignant) compare au fur et à mesure le graphe causal de l'apprenant et celui de l'enseignant et met en évidence les liens causaux manquants et les liens erronés. Un indicateur numérique de similarité entre les deux graphes est également calculé. À l'aide de ces éléments, un réseau Bayésien sur les compétences inférées de l'apprenant à un instant donné est produit en fonction des observables. Nous détaillons par la suite la mise en œuvre de la démarche ECD à Taiga Park.

La Figure 48 illustre une partie des modèles ECD appliqués à Taiga Park, avec un focus sur une partie du modèle de compétences « créer un diagramme de boucles de causalité ».

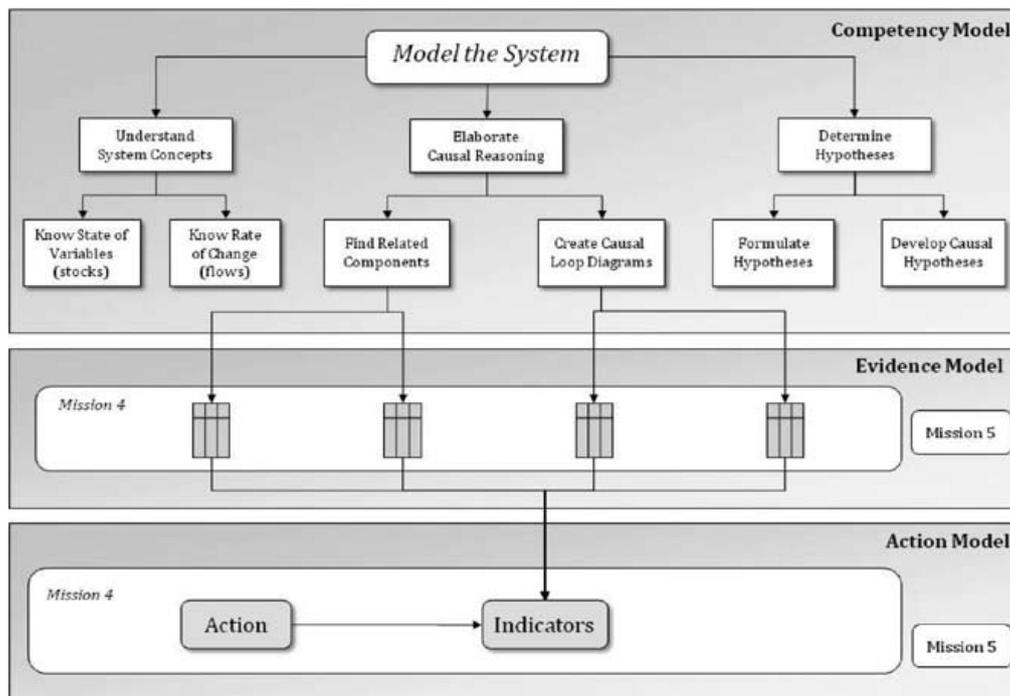


Figure 48 : ECD appliqué à Taiga Park

1.7.6.1 Le modèle de compétences de Taiga Park

Lorsque l'apprenant atteint la mission 4, il a déjà réalisé les entretiens, prélevé les échantillons d'eau et réalisé des photographies à 5 postes d'observations situés le long de la rivière. Donc, dans la mission 4, l'apprenant doit démontrer qu'il a compris comment les indicateurs de la qualité de l'eau (pH, turbidité, température, etc.) sont liés aux activités humaines et quels sont leurs effets sur la population de poissons. De plus, l'apprenant doit réaliser le diagramme causal qui indique les variables du système qui ont une influence sur la population de poissons.

1.7.6.2 Le modèle de preuves de Taiga Park

L'EM contient :

- les résultats des quêtes comme les diagrammes et les réponses courtes à des questions spécifiques ;
- les règles de *scoring* des soumissions de l'apprenant ;
- poids des contributions relativement aux compétences associées.

1.7.6.3 Le modèle d'action de Taiga Park

Ce modèle indique autant les actions réalisées par l'apprenant pour réaliser une mission que les indicateurs de succès (ou de performance). Quelques exemples sont illustrés par Figure 49.

Actions	Indicateurs
Récapituler les indicateurs de qualité de l'eau le long de la rivière.	<ul style="list-style-type: none">- Relever précisément les indicateurs de qualité en 3 points de la rivière.- Préciser si l'indicateur est bon ou mauvais.
Expliquer comment les différentes parties prenantes contribuent au déclin des poissons.	<ul style="list-style-type: none">- Identifier précisément les différentes parties et identifier leurs principales activités près de la rivière.- Relier ces activités à l'érosion.- Relier ces activités à l'eutrophisation.
Créer un diagramme de boucles de causalité.	<ul style="list-style-type: none">- Inclure l'ensemble des variables et des liens.- Identifier précisément les relations entre les variables (positives et négatives).

Figure 49 : Quelques actions avec indicateurs associés

Dans la version actuelle de Taiga Park, les apprenants réalisent de courtes dissertations qu'ils soumettent à l'enseignant. Ce dernier les corrige selon un certain barème. En complément de ces dissertations, les apprenants peuvent joindre leur diagramme de boucles de causalité.

Donc, en plus de gérer le jeu des apprenants, l'enseignant doit également corriger ces dissertations et les diagrammes de causalité. Ce travail est très fastidieux pour l'enseignant et comporte une part de subjectivité.

Pour répondre au problème de la surcharge de travail de l'enseignant, un outil a été utilisé pour évaluer de manière automatique le diagramme de l'apprenant. Succinctement, cet outil appelé jMap est basé sur Excel. L'apprenant crée son diagramme en utilisant l'outil de formes automatiques d'Excel en précisant les variables, les liens, et l'épaisseur des liens et jMap traduit ce diagramme sous forme d'une matrice de transitions (*transitional frequency matrix*). Ainsi, des comparaisons peuvent se faire entre :

- le diagramme de l'apprenant et celui de l'expert ;
- 2 diagrammes produits par le même apprenant à des moments différents ;
- le diagramme de l'apprenant avec celui d'un autre apprenant ;
- le diagramme d'un groupe avec celui d'un apprenant ou de l'expert car jMap permet d'agréger plusieurs diagrammes pour en faire un seul.

1.7.6.4 Le diagnostic

Le diagnostic est produit principalement en comparant les différents diagrammes de l'élève avec celui de l'enseignant. L'élève indique dans son diagramme les relations positives et négatives entre les différents éléments. Par exemple, il peut indiquer que l'abattage des arbres favorise l'érosion des sols ou que la dissolution de l'oxygène nuit aux poissons. Lors du diagnostic, il s'agit non seulement d'analyser les liens manquants, erronés et corrects mais aussi de d'évaluer leur degré de précision (liens positifs ou négatifs). Il s'agit également de mettre en évidence les concepts que l'élève n'a pas mentionné ou ceux qu'il inclut à tort dans son analyse. Nous illustrons ci-dessous avec les diagrammes d'une élève : Clara.

La comparaison du diagramme de Clara au début du jeu avec celui de l'expert a donné les résultats illustrés dans la Figure 50 avec un tableau récapitulant les différences. Les lignes continues sont communes : les lignes noires représentent une influence positive et les lignes grises une influence négative. Les 3 lignes discontinues sont les liens omis par Clara et *température de l'eau* et *oxygène dissous* sont les 2 variables qu'elle a également omises. Ces omissions suggèrent que Clara pense que les sédiments ont une influence directe sur les poissons. Or, ce n'est pas le cas, ces omissions peuvent donc être exploitées pour les *feedbacks*.

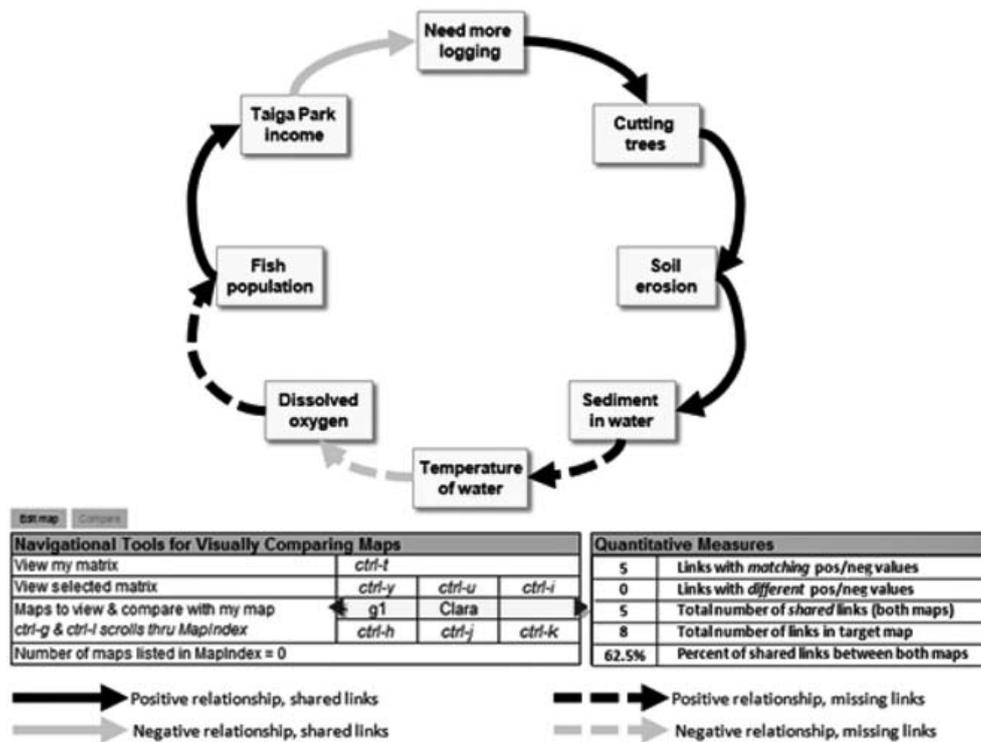


Figure 50 : Résultats de la comparaison du diagramme de Clara avec celui de l'expert

Dans le tableau comparatif de la Figure 50, il y a 62,5 % de similitude avec le diagramme de l'expert. Donc, pour la complétion/précision du diagramme, le niveau de Clara serait *moyen* si les seuils étaient fixés de la sorte : 0 – 33 % = *faible* ; 34 – 66 % = *moyen* ; et 67 – 100 % = *fort*.

Pour la précision des liens, le niveau de Clara est *fort* puisqu'elle a créé les bons liens (positifs et négatifs). Ces indicateurs de performance sont ensuite insérés dans les réseaux bayésiens via l'application Netica qui a servi à créer le réseau. Le résultat est illustré dans la Figure 51.

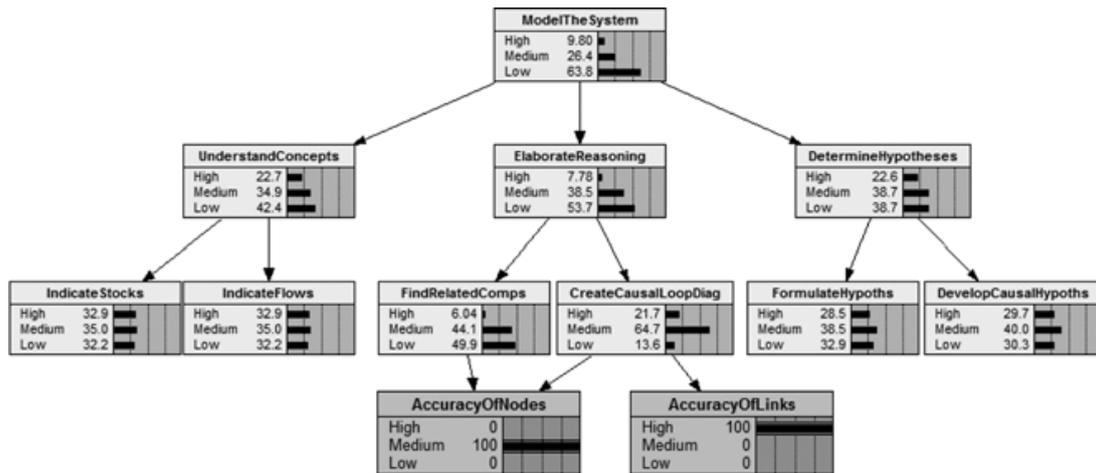


Figure 51 : Le modèle bayésien de Clara au début du jeu

Donc, au début du jeu, les niveaux de Clara sont :

- moyen pour la compétence « créer un diagramme de boucles de causalité » ;
- bas pour la compétence « élaborer un raisonnement » ;
- bas pour la compétence de plus haut niveau « modéliser le système ».

Quand elle a soumis le 2^e diagramme à la fin du jeu, Clara a acquis plus de compétences puisqu'elle a eu un diagramme plus complet et une vision plus systémique du problème.

Les inconvénients de cette approche ont été recensés dans (Rupp, Gushta, Mislevy, & Shaffer, 2010) mais représentent néanmoins des pistes de recherche. ECD est coûteuse en termes de temps et de ressources puisqu'il est nécessaire d'acquérir l'expertise du domaine pour construire les modèles de compétences et de preuves. Des recherches sont menées pour automatiser cette acquisition. Il y a également la question relative au niveau de granularité du CM : trop élevé, les preuves sont moins spécifiques pour déterminer les compétences de l'apprenant ; trop fin, la démarche serait trop complexe à mettre en œuvre. Un autre challenge est lié au *scoring* qualitatif des productions de l'apprenant. Évaluer des diagrammes, des dissertations et des discussions en ligne est une tâche laborieuse pour l'enseignant, de plus cela comporte une grande part de subjectivité. Dans le cadre de nos travaux, nous explorons l'automatisation de cette évaluation.

Chapitre 2. Présentation de notre démarche

2.1 Introduction

Nous présentons ici les objectifs de chacun des modèles et la manière dont nous les faisons communiquer afin de construire un système générique et réutilisable permettant de suivre le comportement de l'apprenant et de diagnostiquer ses compétences dans des jeux sérieux de type « étude de cas ».

Nous illustrons chacun de ces modèles à l'aide d'un exemple fil-rouge : Ludiville, projet de jeu sérieux auquel nous avons participé. Nous alertons le lecteur sur le fait que nous avons participé au projet lors des étapes d'ingénierie des connaissances, de recueil d'expertise et d'implémentation d'un module de suivi simple. Le système de diagnostic développé dans le cadre de notre travail de recherche n'est pas implémenté dans la version commerciale du jeu. Grâce à la coopération du groupe BPCE, qui a accepté de nous céder les codes sources du jeu à des fins de recherche, nous sommes repartis du produit existant et l'avons modifié afin d'implémenter notre système de suivi générique. Dans sa version initiale, le jeu dispose d'un système de suivi *ad hoc* directement intégré dans le code source du jeu. Le système stocke le nombre de cas réussi avec le score optimal, le nombre d'échecs, le nombre de cas réussis de manière non optimale ainsi que des indicateurs classiques tels que le score final ou le temps de jeu.

2.1.1 Le modèle d'actions

Étape 1

Conformément aux préconisations du cadre méthodologique ECD, nous avons commencé par construire notre modèle d'actions. Celui-ci doit nous seulement modéliser le contexte mais aussi les actions que le joueur peut effectuer. Les actions du jeu pertinentes pour le diagnostic, sont celles que nous qualifions de pédagogiquement significatives, c'est-à-dire des actions qui révèlent la maîtrise d'une compétence métier lorsqu'elles sont effectuées correctement et dans le bon contexte.

Dans le cadre de Ludiville, comme il s'agit d'une simulation très proche de la réalité métier, nous avons listé à l'aide des experts du domaine les actions principales d'un conseiller clientèle particulier dans le cadre d'un montage de dossier de prêt immobilier.

Étape 2

Dans la mesure où le modèle de preuves fait le lien entre le modèle d'actions et le modèle de compétences, nous allons présenter le modèle de compétences avant celui-ci.

Dans le cas de Ludiville, de par notre implication dans le projet dans la phase de recueil d'expertise, le modèle de compétences a été construit dès le départ. Avant même de construire le jeu, il fallait déterminer avec les clients les objectifs attendus en termes d'apprentissage.

En théorie, lorsque le diagnostic est construit sur un jeu existant, le modèle de compétences se réalise à partir de la documentation du jeu. Lorsqu'une documentation précise n'existe pas, une démarche de rétroconception basée sur la pratique du jeu doit être menée. Cette démarche permet d'identifier pour chaque niveau et mission, les objectifs pédagogiques visés. La tâche peut s'avérer complexe et peut conduire à introduire une part de subjectivité dans l'analyse.

Pour construire le modèle de compétences, nous commençons par définir ce concept controversé dans le domaine de la recherche. Puis, nous proposons notre solution pour modéliser les compétences.

2.1.2 Le modèle de preuves

Le modèle de preuves a pour rôle de produire des scores qui seront ensuite utilisés pour inférer la maîtrise des compétences par l'apprenant. Ce modèle prend en entrée les traces de l'apprenant. Ces traces sont ensuite analysées afin de produire des indicateurs d'évaluation. Nous nous interrogerons sur les indicateurs qu'il serait pertinent de fournir à l'apprenant et à son formateur. Nous nous concentrerons notamment sur l'erreur et explorons les classifications existantes.

Ensuite le modèle statistique doit permettre la remontée aux compétences du modèle de l'apprenant. Nous présentons notre proposition d'algorithme de diagnostic pour la remontée vers les compétences de l'élève.

2.1.3 Le modèle des compétences

Il s'agit à partir des actions observées de remonter aux compétences. Selon les jeux étudiés, un ensemble d'actions, voir un enchaînement précis d'actions permet de travailler une ou plusieurs compétences. Parfois, c'est le contexte de l'action qui définit la compétence qui est testée. Selon la complexité des liens entre compétences et actions, il peut être nécessaire de mettre en place des heuristiques, de recourir à des réseaux bayésiens ou d'autres outils probabilistes tels que la *knowledge space theory*.

Une des particularités de la conception du jeu Ludiville est que les actions de jeu peuvent être directement reliées à des items du modèle de compétences. Cela est notamment dû à notre participation au projet. Notre travail de recueil d'expertise et d'ingénierie des connaissances a fortement influencé la conception du jeu et le *game designer* a défini des actions de jeu qui sont très proches des actions métier du domaine et donc reliées aux compétences évaluées. Ludiville n'est pas le seul jeu sérieux dont les actions peuvent être reliées directement à des éléments du modèle de compétences. Nous avons montré, dans notre approche exploratoire, que, dans le jeu *StarBank The Game*, c'est également le cas. Il semblerait que la société KTM Advance, en charge du développement de ces deux jeux, définisse souvent les actions de jeu en lien avec les connaissances du domaine. Cette pratique nous situe effectivement dans un cadre plus favorable pour réaliser des modèles de suivi et de diagnostic.

2.2 Un exemple fil rouge : Ludiville

Ludiville a été réalisé par KTM Advance avec notre participation pour le groupe Banque Populaire Caisse d'Épargne. Il est destiné aux conseillers *clientèle particulier* débutants. L'objectif du jeu est de leur faire acquérir les bons réflexes et les bonnes pratiques sur le montage des dossiers de financement immobilier à travers plusieurs études de cas clients.

Nous nous plaçons dans un contexte de simulation de l'activité quotidienne du salarié. Il s'agit pour le joueur de satisfaire la demande d'un client potentiel en traitant son dossier de prêt. Celui-ci est plus ou moins pré-rempli. L'apprenant 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. Puis, 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 et d'octroyer un prêt adapté en ayant réuni les documents adéquats.

Le jeu dans son ensemble est constitué d'un tutoriel et de trois niveaux de difficulté croissante.

Chaque niveau contient plusieurs études de cas de client. La Figure 52 présente la décomposition du premier niveau. Chaque cas travaille plusieurs compétences et sous-compétences. La Figure 53 indique, pour le cas Lemartine, les compétences travaillées.

Les cas s'enchaînent dans un ordre prédéfini et il n'est pas possible de passer au cas suivant tant que le cas précédant n'a pas été traité correctement. À l'issue de chaque cas traité efficacement, une petite maison apparaît sur le menu de jeu afin de montrer que le banquier contribue à l'évolution de la ville.

Parfois, pour des questions de *game design*, un cas peut être découpé en plusieurs interventions et répartis sur les différents niveaux du jeu. Ce choix s'explique par la nécessité de ménager pour les joueurs des périodes de « repos » avec des questions simples qui lui permettent de se rassurer mais aussi de maintenir le *flow*, concept mis en évidence notamment par (Csíkszentmihályi, 1991). Des aspects plus difficiles du cas sont donc basculés vers les niveaux suivants.

De plus, chaque niveau se termine par un cas de validation. Contrairement aux autres cas, l'apprenant n'a aucune information pré-remplie et doit traiter le cas intégralement sans aucune aide. Ce type de cas s'inspire des « boss » de fin de niveau des jeux vidéo. Par exemple, dans les différentes versions du jeu *Super Mario Bros*, le joueur affronte, à la fin d'un cycle d'aventure, un monstre terrible, difficile à vaincre. La victoire lors de cet

affrontement permet au joueur de collecter une pluie de pièces d'or. Dans Ludiville, la victoire au cas de validation est couronnée par l'évolution de la ville et le passage au niveau suivant.

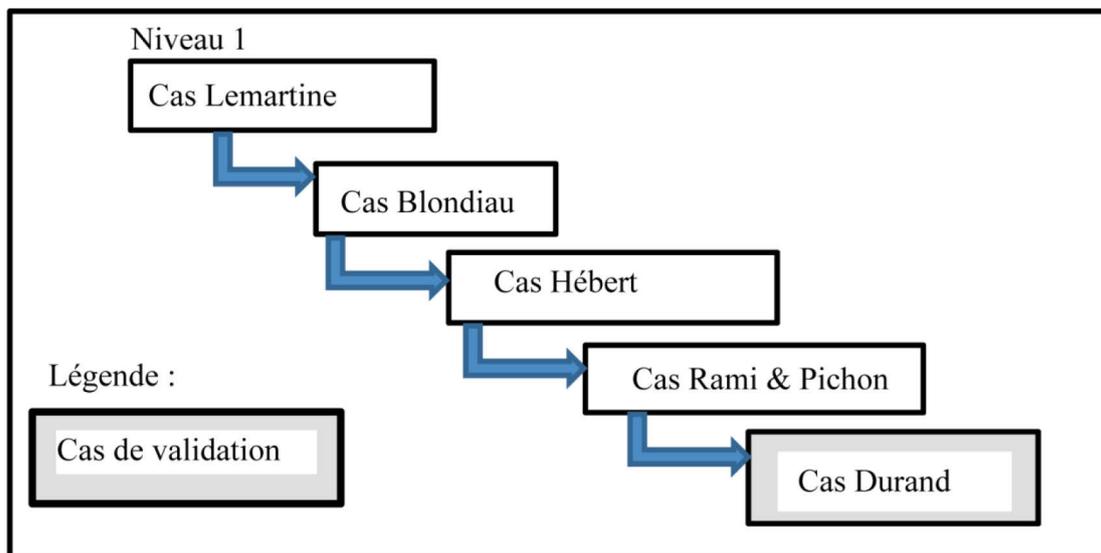


Figure 52 : La décomposition du premier niveau de Ludiville

Cas	Compétence	Sous-compétence
Lemartine	Identifier les infos sur le client	Déterminer la situation personnelle Déterminer la situation professionnelle Déterminer la situation patrimoniale et financière
	Identifier les caractéristiques du projet	Identifier le type de projet Identifier les frais complémentaires Déterminer le montant de l'apport
	Proposer le prêt adapté	Identifier le type de prêt et calculer l'endettement Choisir une garantie Choisir une assurance et définir les quotités
	Finaliser le projet	Proposer des offres complémentaires Prendre la bonne décision et finaliser le prêt

Figure 53 : Les compétences et sous-compétences travaillées dans le cas Lemartine

Pour chaque cas client, l'interface de jeu est toujours identique. Elle représente le dossier de prêt découpé en quatre onglets correspondant aux différentes étapes du traitement d'un dossier : le client, le projet, le prêt et la finalisation (cf. Figure 54). Un travail d'ingénierie des connaissances et de recueil d'expertise à partir de documents fournis par le client nous a permis de définir ces étapes.

Chaque client présente des caractéristiques prédéfinies et certaines données sont déjà affichées tandis que d'autres doivent être identifiées par le joueur.

Les actions de jeu sont matérialisées par des cartes à jouer permettant de poser des questions au client, de lui demander des documents ou de lui faire des propositions sur le prêt, les assurances ou les garanties. Lorsque la carte est placée correctement, l'apprenant gagne les points affichés sur la carte, lorsque la carte est erronée, il perd les points correspondants à la valeur de la carte. À la fin de chaque cas réussi, le joueur gagne des cartes supplémentaires qui lui permettent de traiter les cas suivants.

Les cartes contiennent également au dos un descriptif du contexte d'utilisation, c'est une synthèse rédigée par les experts du domaine. L'ensemble des informations au dos des cartes constituent donc une base de connaissances que le joueur peut consulter en fonction de ses besoins.



Figure 54 : L'interface de Ludiville

Le joueur doit placer les bonnes cartes sur les zones grisées afin de débloquer des informations complémentaires. Par exemple, sur la Figure 54, dans la partie *situation personnelle*, la zone grisée en face de « *Marié avec* » signifie que cette information doit être approfondie. En fait, on attend ici du joueur qu'il demande précisément quel est le régime matrimonial. En effet, celui-ci influence fortement les modalités du prêt. De même, la zone grisée en face des biens mobiliers, dans la partie *ressources et patrimoine*, indique que les

informations affichées doivent être vérifiées. En effet, le dossier est rempli sur la base des déclarations du client, le conseiller a pour obligation de vérifier les informations fournies.

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* la maîtrise des compétences métier. Le recours aux cartes génériques fera l'objet d'une analyse particulière dans notre diagnostic puisque cela révèle une maîtrise approximative des compétences du domaine.

La Figure 55 illustre des exemples de cartes génériques ainsi que les cartes spécifiques correspondantes.

Phases de jeu	Cartes spécifiques	Cartes génériques
Client	Contrat de mariage	Demande de pièce
Client	Bulletin de salaires	
Projet	Devis des travaux	
Projet	Contrat de réservation	
Client	Situation matrimoniale	Poser question
Projet	Projet	
Prêt	Prêt relais	Prêt
Prêt	Caution solidaire	Garantie
Prêt	Hypothèque	
Finalisation	Assurance habitation	Offre complémentaire
Finalisation	Assurance vie	

Figure 55 : Exemples de cartes génériques et spécifiques

Ainsi, la carte *Demande de pièce* peut aussi bien servir à réclamer les documents relatifs à la situation professionnelle (Bulletins de salaire) du client qu'à identifier plus précisément le projet qui fera l'objet du prêt (Contrat de réservation).

Dans la suite de notre travail, nous nous focaliserons essentiellement sur le cas de M. Lemartine, client de la banque. Il s'agit en fait, de la mascotte du jeu, il représente l'évolution des clients au fil des années. Ainsi, dans le premier niveau, il est célibataire et souhaite acquérir un appartement. Dans le deuxième niveau, il est en couple et souhaite vendre et acheter un autre appartement avec sa conjointe.

Nous nous intéressons ici au premier niveau, M. Lemartine présente les caractéristiques ci-dessous :

Type de donnée	Valeur
Type de client	Interne à la banque
Identité vérifiée	Oui
Âge	26 ans
Situation matrimoniale	Célibataire
Enfants ?	Non
Données personnelles vérifiées ?	Non
Charges identifiées ?	Absence de charges
Épargne disponible dans l'agence	30 000 €
Type de projet ?	Non défini
Coût	Non défini
Frais d'agence	Non défini
Frais de notaires	Non défini
Montant de l'apport du client	Non défini

Figure 56 : Les caractéristiques initiales de M. Lemartine

L'apprenant, s'il joue efficacement, collectera les données ci-dessous :

Type de projet ?	Studio
Coût	126 000 €
Frais d'agence	Non présents car achat entre particuliers
Frais de notaires	9 500 €
Montant de l'apport du client	5 000 € initialement puis revu à 9 500 € car il y a de l'épargne et car la banque ne finance pas les frais
Type de transaction	Entre particuliers

Figure 57 : Les caractéristiques de M. Lemartine à identifier

2.3 Le modèle des actions (AM)

Le modèle de tâche ou d'actions dans la méthode ECD a deux objectifs :

- représenter les situations avec lesquelles l'apprenant interagit en précisant par exemple le contexte ou le niveau de difficulté ;
- indiquer précisément ce que l'apprenant doit faire.

2.3.1 Objectif 1 : Identifier les propriétés caractérisant les cas dans les jeux de type « étude de cas »

En général, les jeux sérieux de type « étude de cas » se découpent en niveaux avec une progression dans la difficulté. Le niveau est donc un élément nécessaire à la définition du cas. On pourrait définir un niveau de difficulté du cas par des étoiles ou des couleurs par exemple. Dans certains jeux sérieux, il existe des niveaux de validation. Ce sont des situations qui reprennent des éléments vus précédemment et qui permettent de passer au niveau suivant. C'est le cas, par exemple, dans Mario Bros : après avoir traversé plusieurs étapes dans un monde, le joueur doit battre un monstre pour atteindre le monde suivant. Néanmoins, dans la mesure où tous les jeux sérieux ne disposent pas de cas de validation, nous considérerons cette caractéristique comme optionnelle.

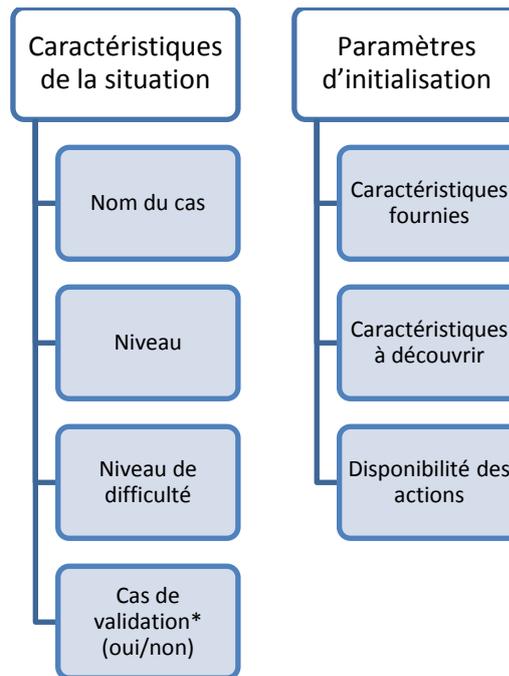
Ensuite, il convient de définir précisément les caractéristiques du cas à étudier, on parle également de paramètres d'initialisation. Dans le cas d'un jeu gestion d'entreprise, il s'agit du secteur de l'entreprise, de son chiffre d'affaires, du nombre de salariés, des moyens de productions, etc. Souvent, dans les études de cas, toutes les données du problème ne sont pas fournies. C'est au joueur d'investiguer et de découvrir les données manquantes. Nous distinguerons donc, dans les paramètres d'initialisation, les données fournies de celles que l'apprenant doit découvrir par lui-même.

Parfois, pour des questions d'ergonomie, de *game design* ou pédagogiques, toutes les actions de jeu ne sont pas disponibles dès le début. Il convient de préciser le sous-ensemble des actions que l'apprenant est en mesure d'effectuer dans le traitement du cas. Nous utilisons le terme de disponibilité des actions pour qualifier la possibilité ou non de recourir à certaines actions.

Pour le moment, le modèle des actions comporte deux catégories de contenus en plus des actions :

- les caractéristiques de la situation ;
- les paramètres d'initialisation.

La Figure 58 résume ces éléments.



* caractéristique optionnelle

Figure 58 : Descriptif de la situation dans le modèle de tâches

2.3.2 Objectif 2 : Construire un modèle d'actions

La seconde étape du modèle des actions consiste à représenter ce que l'apprenant doit faire et indiquer si les actions effectuées sont correctes ou pas.

Le modèle d'actions doit permettre de représenter l'expertise métier et indiquer ce que doit faire l'apprenant dans telle ou telle situation. Il doit donc prendre en entrée les paramètres d'initialisation d'un cas et fournir automatiquement les actions à effectuer. Le modèle doit également être en mesure d'indiquer si une action est bonne ou pas.

Pour cela, il faut partir des actions que le joueur a à sa disposition dans le jeu. Ensuite, nous nous posons la question de définir les règles de recours à ces actions.

2.3.2.1 Les règles métier dans les jeux de type « étude de cas »

Dans de nombreux jeux sérieux, les règles de recours aux actions peuvent être décrites par des règles de type « si... alors ». Par exemple, dans un jeu de quête : « si présence d'un obstacle alors contourner », « si objet à proximité, alors le ramasser ». C'est souvent le cas également dans les jeux sérieux de type « étude de cas ». Par exemple, dans « Entretien

Annual Manager²³ » de la société Daesign, le joueur incarne le rôle d'un manager qui conduit l'entretien annuel d'un de ses collaborateurs. À chaque étape de l'entretien, le joueur doit choisir le comportement (questions, remarques...) qu'il adopte parmi plusieurs options proposées par le jeu en fonction de l'attitude du collaborateur. Ainsi, si le collaborateur manifeste une attitude de défiance en croisant les bras par exemple, le joueur devrait opter pour une option visant à rassurer et calmer celui-ci.

Dans d'autres situations, l'action du joueur dépend de caractéristiques intrinsèques définies dès le départ dans le jeu. Ainsi, c'est le cas dans DisneyStars²⁴, dont l'objectif est de former les agents commerciaux du groupe Disney à la vente de billets pour les parcs et les services associés tels que l'hébergement, le transport ou la restauration. La première étape du jeu consiste à faire connaissance avec le client et identifier ses caractéristiques : nombre de visites, âge, nombre d'enfants, etc. Lors de cette étape, si le commercial identifie la présence d'un handicap pour l'un des membres, il devra mettre en avant le Kit Malette mis à disposition gratuitement dans les hôtels du groupe. Ce kit permet d'accompagner la personne atteinte d'un handicap dans le cadre de son séjour en lui fournissant un réveil digital ou des interrupteurs de porte.

2.3.2.2 Nos besoins en termes de modèle d'actions

Nous avons donc besoin d'un outil permettant de modéliser les actions d'un jeu sérieux de type étude de cas présentant les caractéristiques suivantes :

- l'outil doit être interprétable par un programme informatique ;
- il doit être générique et transposable à différents jeux sérieux en particulier aux études de cas ;
- il doit également être en mesure de représenter les caractéristiques intrinsèques d'une situation ;
- il doit permettre de modéliser la disponibilité des actions à un moment donné du jeu ;
- cet outil doit permettre de traduire les règles métier du domaine lié au jeu ;
- enfin, il doit permettre la représentation des différents niveaux de jeu qu'ils soient indépendants les uns des autres ou pas.

²³ Descriptif disponible à l'adresse suivante : <http://www.daesign.com/fr/realisations/bnp-paribas.html>

²⁴ Disponible à l'adresse suivante : <http://www.disneystars.com/fr/>

2.3.3 Notre proposition : modéliser les actions de jeu à l'aide d'un 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 événements du jeu. Ces actions ou événements 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 comme nous l'avons montré dans (Yessad, Thomas, Capdevilla, & Labat, 2010).

En effet, un réseau de Petri est un outil générique compréhensible par un programme informatique. Il remplit donc nos deux premières contraintes.

2.3.3.1 Comment utiliser le RdP pour représenter les caractéristiques intrinsèques d'une situation, la disponibilité des actions et les règles métier ?

Dans notre démarche, nous recourons au réseau de Petri pour représenter la tâche prescrite. Il s'agit donc de montrer quelles sont les actions effectuées par un expert du domaine selon le contexte qui caractérise le cas. 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, c'est-à-dire le graphe des actions menant à la résolution experte du problème.

Le réseau de Petri est construit à partir de la modélisation des règles métier expertes. L'idée est de définir des règles de type « si... alors ».

Nous adoptons la sémantique suivante pour transformer les règles métier définies en langage naturel en RdP :

- 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, ouvrir une porte).

2.3.3.2 L'utilisation du graphe d'accessibilité dans notre démarche

Comme nous l'avons présenté en 1.5.4.2 à la page 67, le graphe d'accessibilité permet de représenter tous les états possibles à partir d'un RdP initial. Il liste donc l'ensemble des chemins possibles à partir d'un marquage initial.

À partir d'un marquage initial défini en fonction des paramètres du cas (caractéristiques du cas) et de la disponibilité des actions, il est donc possible d'utiliser le graphe d'accessibilité pour déterminer les différentes résolutions du cas. Si plusieurs chemins sont possibles, alors le graphe les représentera. Il en résulte que si une action faite par le joueur ne fait pas partie d'un des chemins possibles, c'est obligatoirement une action « à ne pas faire », expression qui sera précisée grâce à l'algorithme que nous avons défini dans la première partie du modèle de preuve pour caractériser précisément l'action du joueur.

D'autre part, le graphe d'accessibilité permet également de guider l'apprenant. En effet, s'il se trouve dans un état qui n'existe pas dans le graphe cela signifie qu'il ne pourra jamais arriver au bout du cas.

2.3.3.3 Le problème de l'explosion combinatoire et sa gestion

Si l'on souhaite représenter toutes les alternatives pour une situation donnée, c'est-à-dire qu'il existe plusieurs façons de résoudre un cas. Dans la mesure où le modèle d'action sert à vérifier si les actions de l'apprenant sont correctes, il doit accepter toute solution définie par l'expert du domaine. Or, même si un jeu sérieux de type « étude de cas » contient un nombre fini d'actions, représenter toutes les alternatives, peut conduire à une explosion combinatoire au niveau du graphe d'accessibilité du RdP.

La représentation graphique risque de devenir rapidement illisible. Il est donc nécessaire de réduire le RdP en ne représentant pas toutes les actions équivalentes. Ainsi, dans le RdP, une seule action est représentée et nous verrons que le système, grâce à une ontologie des actions du jeu sérieux complémentaire du RdP, est capable d'inférer que l'action du joueur étant équivalente à celle de l'expert est bonne.

Afin de résoudre le problème de l'explosion combinatoire, nous proposons d'associer au modèle d'actions, une ontologie représentant les équivalences entre actions.

Ainsi, lorsque deux actions sont strictement identiques, une seule est représentée. Le module de diagnostic lorsqu'il consultera le modèle d'actions pour vérifier la validité de l'action du joueur, interrogera l'ontologie afin de repérer les équivalences entre l'action du joueur et celle de l'expert.

2.3.3.4 Comment représenter l'enchaînement des niveaux à l'aide d'un RdP ?

Dans la mesure où les règles métier concernent l'intégralité d'un jeu sérieux, nous proposons de construire un seul réseau Petri intégrant l'ensemble des règles métiers. En effet, les règles de recours à telle ou telle action sont définies pour le jeu dans son intégralité et ne doivent pas changer en fonction du cas à traiter. Cela aurait pour conséquence de perturber l'apprenant et de limiter son apprentissage puisque son processus de construction de compétences serait biaisé. Ce réseau que nous qualifions de « RdP expert » est ensuite initialisé en fonction de caractéristiques de chaque cas. C'est le placement des jetons qui permet de tenir compte de la spécificité de chaque cas à traiter par l'apprenant. Il s'agit des paramètres d'initialisation que nous avons présentés précédemment. Ainsi, à chaque cas est associée une instance du RdP unique.

2.3.4 Les composants du modèle d'action pour un jeu sérieux de type « étude de cas »

Le modèle de tâche ou d'actions dans la méthode ECD a deux objectifs :

- représenter les situations avec lesquelles l'apprenant interagit en précisant par exemple le contexte ou le niveau de difficulté ;
- indiquer précisément ce que l'apprenant doit faire et si les actions effectuées sont correctes.

Notre proposition du modèle d'actions se compose d'un modèle générique, valable quel que soit le cas traité par l'apprenant et d'un modèle instancié en fonction des spécificités de chaque cas.

Le modèle générique se compose des éléments suivants :

- le RdP expert (non initialisé/marqué) contenant des transitions correspondant aux actions du jeu (sauf les équivalences), les places qui reflètent les caractéristiques des cas, les places reflétant la disponibilité des actions ;
- une ontologie listant les relations d'équivalence entre les actions.

Le modèle instancié se décompose comme suit :

- des attributs valués permettant de caractériser le cas :
 - nom du cas,
 - niveau,
 - difficulté (la difficulté peut soit être donnée dans le jeu, soit déterminée selon des heuristiques telles que la position relative du cas dans le niveau ou le nombre d'actions à effectuer),
 - cas de validation ou pas ;
- le RdP initialisé avec les caractéristiques spécifiques à chaque cas et la disponibilité des actions ;
- le graphe d'accessibilité associé au RdP initialisé.

2.3.5 Application à Ludiville

2.3.5.1 Les paramètres d'initialisation

Pour Ludiville, les paramètres d'initialisation du premier cas (M. Lemartine) sont présentés sur la Figure 56 et la Figure 57. Il s'agit donc de décrire les éléments, caractérisant le client et le projet, qui influent sur le montage du prêt. Nous présentons en annexe la liste des caractéristiques du premier cas du premier niveau, M. Lemartine.

Le sous-ensemble des actions disponibles est présenté à la Figure 59.

Actions disponibles au début du jeu	
Vérification données personnelles	Demande de pièces
Bulletins de salaire	Garanties
Vérification patrimoine	Assurances
Projet ?	Valider les frais de dossier
Frais	Refuser les frais de dossier
Apport	Envoi au <i>back-office</i>
Conseil augmenter	Offre complémentaire
Conseil diminuer	Acte authentique du notaire
Poser question	

Figure 59 : Sous-ensemble des actions disponibles pour le cas Lemartine du niveau 1

Comme nous l'avons précisé en 2.2, les actions de jeu dans Ludiville sont de deux types : le changement d'onglet (client, projet, prêt, finalisation) et le positionnement d'une carte sur une zone grisée.

D'autre part, il convient de préciser que chaque onglet dispose de ses propres cartes. Ainsi, dans l'onglet client, le joueur utilise des cartes permettant d'identifier plus précisément le client. Pour collecter les données personnelles du client, il pourra pour cela recourir à la carte « carte d'identité » pour vérifier l'identité du client ou à la carte « situation matrimoniale » pour définir la situation matrimoniale du client (marié sous la communauté légale ou avec un contrat de mariage, pacsé ou célibataire).

Les cartes associées aux onglets client et projet permettent de collecter des informations et/ou des documents. Les cartes associées aux onglets prêts et finalisation représentent des propositions du conseiller vis-à-vis de son client ou des actions métier spécifiques. Par exemple, dans la partie prêt, la carte « Crédit relais » permet de proposer au client un prêt relais en attendant la vente d'un bien existant. De même la carte « Société Caution Mutuelle » permet de faire bénéficier le client d'une caution par une société extérieure au lieu d'hypothéquer le bien. Enfin, la carte « Taux endettement » permet au conseiller de calculer le taux d'endettement afin de vérifier que les seuils réglementaires ne sont pas dépassés.

La phase de finalisation, quant à elle, permet non seulement de proposer des offres complémentaires avec les cartes « Contrat de prévoyance » ou « Livret A » mais aussi de prendre des décisions telles la « validation des frais de dossier » ou l'« envoi au *back-office* » du dossier de prêt finalisé.

2.3.5.2 Les règles métiers

Les règles métier intégrées dans Ludiville ont été définies à partir d'un travail de recueil d'expertise que nous avons mené à travers des entretiens semi-directifs, l'analyse de documents de formation, l'étude des modèles de cas fournis par les experts du domaine du groupe BPCE.

L'apprentissage et la maîtrise de ces règles permet au joueur d'avancer efficacement dans le jeu en maximisant son score.

En langage, ces règles se traduisent par des expressions de type « si... alors ». Par exemple, dans le cas Lemartine, la Figure 56 nous indique que le projet n'est pas défini. La règle indique que si le projet n'est pas défini alors il faut demander au client de préciser le projet. Ensuite, d'autres règles indiquent selon le projet, les informations et les documents que le conseiller doit collecter. Ainsi, dans le cas de l'achat d'un appartement neuf, le contrat de réservation est indispensable à l'établissement du dossier de prêt.

Nous revenons de manière plus précise sur la sémantique des transitions, places et du rôle du graphe d'accessibilité.

2.3.5.3 Les transitions

La transition représente une action de jeu. Dans Ludiville, chaque carte métier (exception faite des cartes génériques) est associée à une transition dans le RdP « expert ».

Les cartes génériques de par leur multiplicité d'usage sont traitées différemment. Par exemple, les cartes « Demande de pièce » et « Poser question » peuvent être utilisées à des fins différentes.

Ainsi, lorsque la carte « Demande de pièce » est utilisée pour demander le livret de famille (nous détaillerons dans le modèle de preuves comment détecter précisément l'intention du joueur), la transition correspondante est nommée « Demande de pièce livret de famille ». De même, lorsque la carte « Poser question » est utilisée pour demander la situation matrimoniale du client, la transition correspondante est nommée « Poser question situation matrimoniale ».

Le recours par l'expert à une carte spécifique ou générique dépend de la disponibilité des cartes. Cet aspect est présenté dans la suite à l'aide des places du RdP.

Il est donc important de préciser que les cartes génériques peuvent faire partie de la tâche prescrite.

2.3.5.4 Les places

Comme nous l'avons indiqué précédemment, une place représente un objet du jeu ou une caractéristique d'un objet du jeu. Ce sont les places qui vont nous permettre de définir les paramètres d'initialisation tels que définis en 0 à la Figure 58. La place ayant un rôle dans l'activation ou non d'une transition (représentant une action de jeu), nous l'utilisons également pour modéliser la disponibilité ou non d'une action dans les différentes études de cas.

2.3.5.4.1 Rôle de définition des caractéristiques

Les caractéristiques d'un client sont par exemple son âge, son identité, sa situation matrimoniale, son régime matrimonial, sa profession. Les caractéristiques concernent également le projet (type de projet, coût), le prêt (type de prêt, taux, mensualité). Les caractéristiques peuvent être découpées en deux catégories distinctes :

- les caractéristiques que l'utilisateur doit obtenir pour les noter dans le dossier sans qu'elles influencent la suite des décisions dans le jeu, par exemple : l'identité, l'employeur, l'âge ;
- les caractéristiques dont la valeur influe sur la suite des actions à effectuer. Par exemple, si le client est marié, le joueur doit demander son régime matrimonial car les offres de prêt diffèrent selon que le client est marié sous la communauté légale ou sous le régime de séparation de biens.

Pour les caractéristiques dont la valeur n'influe pas sur la suite du jeu, deux places seront définies pour chaque caractéristique (valeur définie et valeur non définie) et une transition permettant de définir cette caractéristique est associée. La Figure 60 montre les deux situations possibles :

- soit il s'agit d'un cas pour lequel l'identité du client n'est pas définie, la place « Identité non définie » est marquée (elle contient un jeton), alors le joueur doit utiliser la carte « Pièce d'identité » ;
- soit il s'agit d'un cas pour lequel l'identité est déjà fournie dans les infos d'initialisation, le joueur ne doit pas utiliser la carte « Pièce d'identité », la transition est désactivée en plaçant un jeton dans la place en sortie.

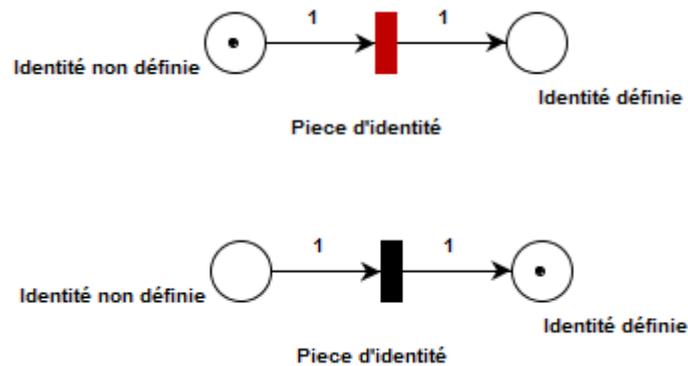


Figure 60 : La modélisation des caractéristiques sans influence sur le jeu

Pour les caractéristiques dont la valeur influe sur l'enchaînement des actions suivantes, en plus des deux places citées précédemment, il convient d'ajouter une place par valeur de la caractéristique. Par exemple, pour représenter la situation matrimoniale, il faudra identifier les différentes valeurs, c'est-à-dire ici : célibataire, en couple, marié, pacsé.

Le RdP de la Figure 61 représente une situation initialisée avec les paramètres du jeu : la situation matrimoniale n'est pas définie, la caractéristique à découvrir est que le client est marié. Nous attirons l'attention du lecteur qu'il s'agit d'un extrait et que les places correspondant aux autres caractéristiques sont elles-mêmes reliées à des transitions non représentées ici pour des raisons de lisibilité du schéma.

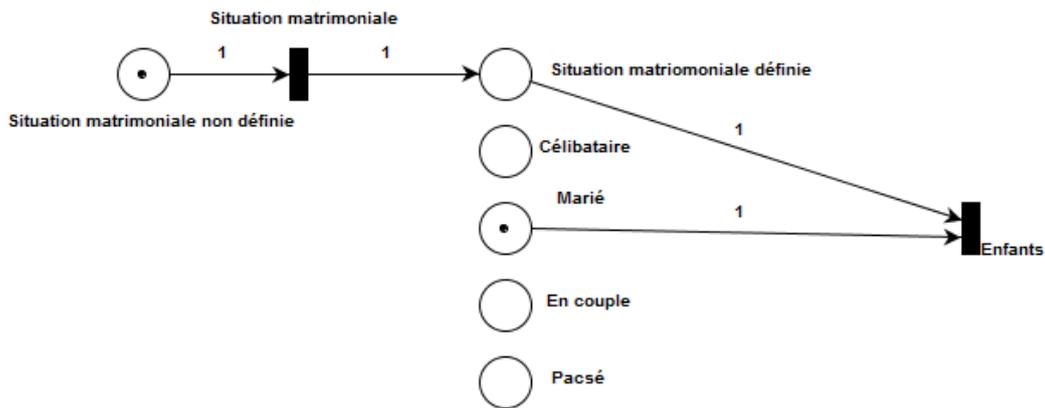


Figure 61 : La modélisation des caractéristiques ayant une influence sur le jeu

Ensuite, les règles métier indiquent que si le client est marié, il faut identifier son régime matrimonial. S’il est marié sous la communauté légale, le livret de famille doit être vérifié, s’il est marié sous le régime de la séparation de bien, le contrat de mariage doit être vérifié. Dans les deux cas, le justificatif du régime matrimonial doit être vérifié.

La Figure 62 nous montre l’état initial du RdP dans le cas d’une communauté légale. Le RdP nous indique que dans ce cas, le joueur doit utiliser les cartes « Régime matrimonial » puis « Livret de famille ». Si le joueur utilise la carte « Contrat de mariage » dans le cas d’un couple marié sous la communauté légale, le RdP est en mesure de nous indiquer que l’action est incorrecte.

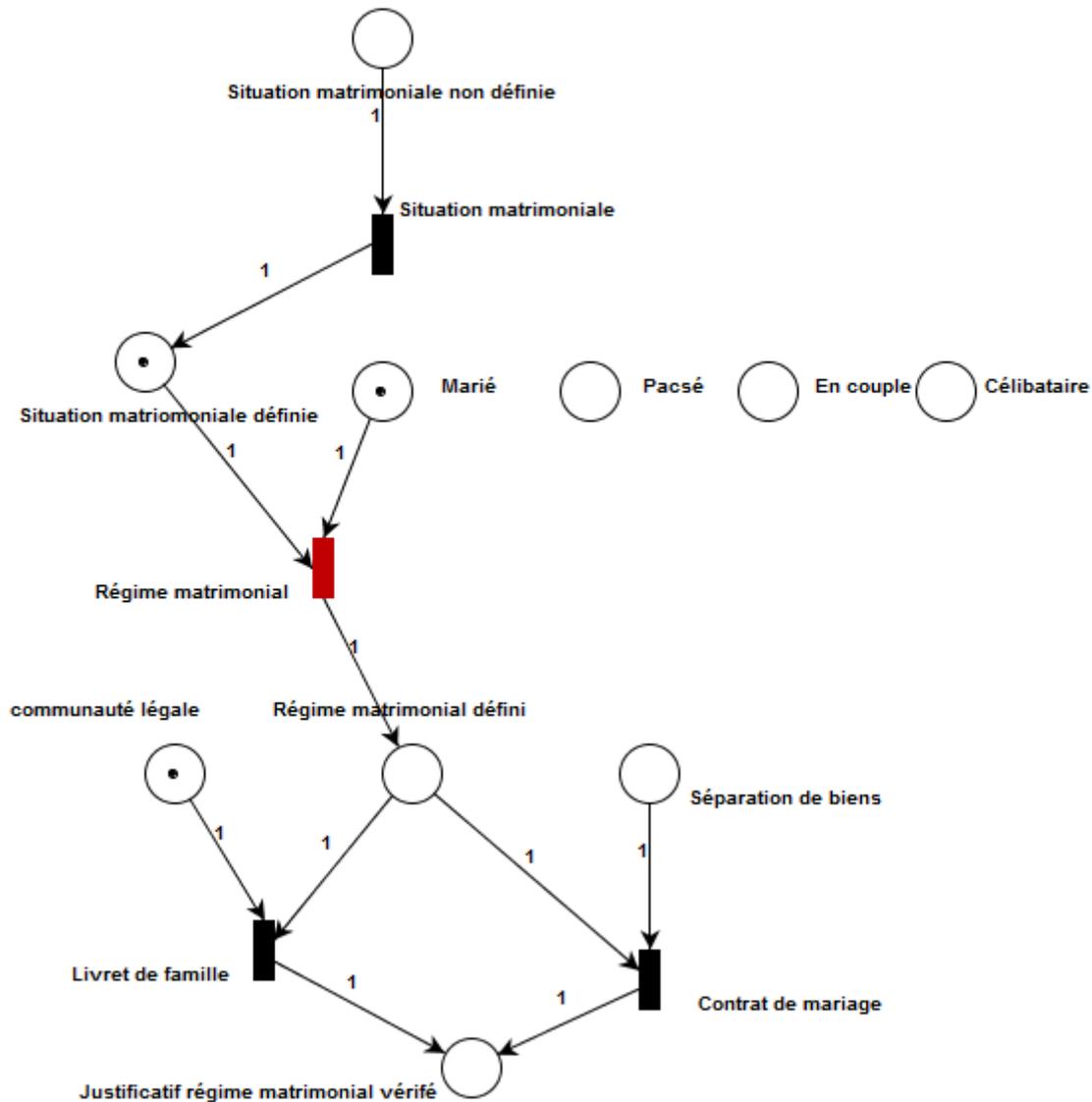


Figure 62 : La détermination du régime matrimonial dans le cas d'une communauté légale

2.3.5.4.2 Rôle de définition des actions disponibles

Le second rôle de la place est de représenter la disponibilité ou non d'une action.

En effet, parfois, l'action de l'expert n'est pas disponible car le concepteur du jeu introduit les actions de manière progressive afin de ne pas surcharger cognitivement le joueur. Donc, au début, le joueur peut utiliser une action plus simple et peut-être moins précise sans que ce soit une erreur.

Dans Ludiville, les cartes sont gagnées au fil des traitements des cas. Au début du jeu, pour traiter le cas M. Lemartine, le joueur a à sa disposition les cartes génériques et trois/quatre cartes spécifiques par onglet. (cf. Figure 59 à la page 111).

La disponibilité des cartes est représentée à l'aide de deux places mutuellement exclusives : une indiquant la disponibilité de la carte et l'autre son indisponibilité. Le fait que la carte soit indisponible implique que le joueur doit nécessairement utiliser la carte générique.

Ainsi, lorsque la carte « Régime matrimonial » n'est pas encore disponible et que le joueur doit quand même s'informer du régime matrimonial de son client, il peut utiliser la carte « Poser question ». La Figure 63 représente cette situation. Ici, dans la mesure où la carte « régime matrimonial » n'est pas disponible, la transition correspondante ne peut être exécutée. En revanche, comme il y a un jeton dans la place qui indique l'indisponibilité de la carte « Régime matrimonial », la transition « Poser question régime matrimonial » peut être exécutée quant à elle. On voit bien ici que les transitions « Régime matrimonial » et « Poser question régime matrimonial » sont concurrentes, elles consomment la même ressource : le jeton dans la place « situation matrimoniale définie ».

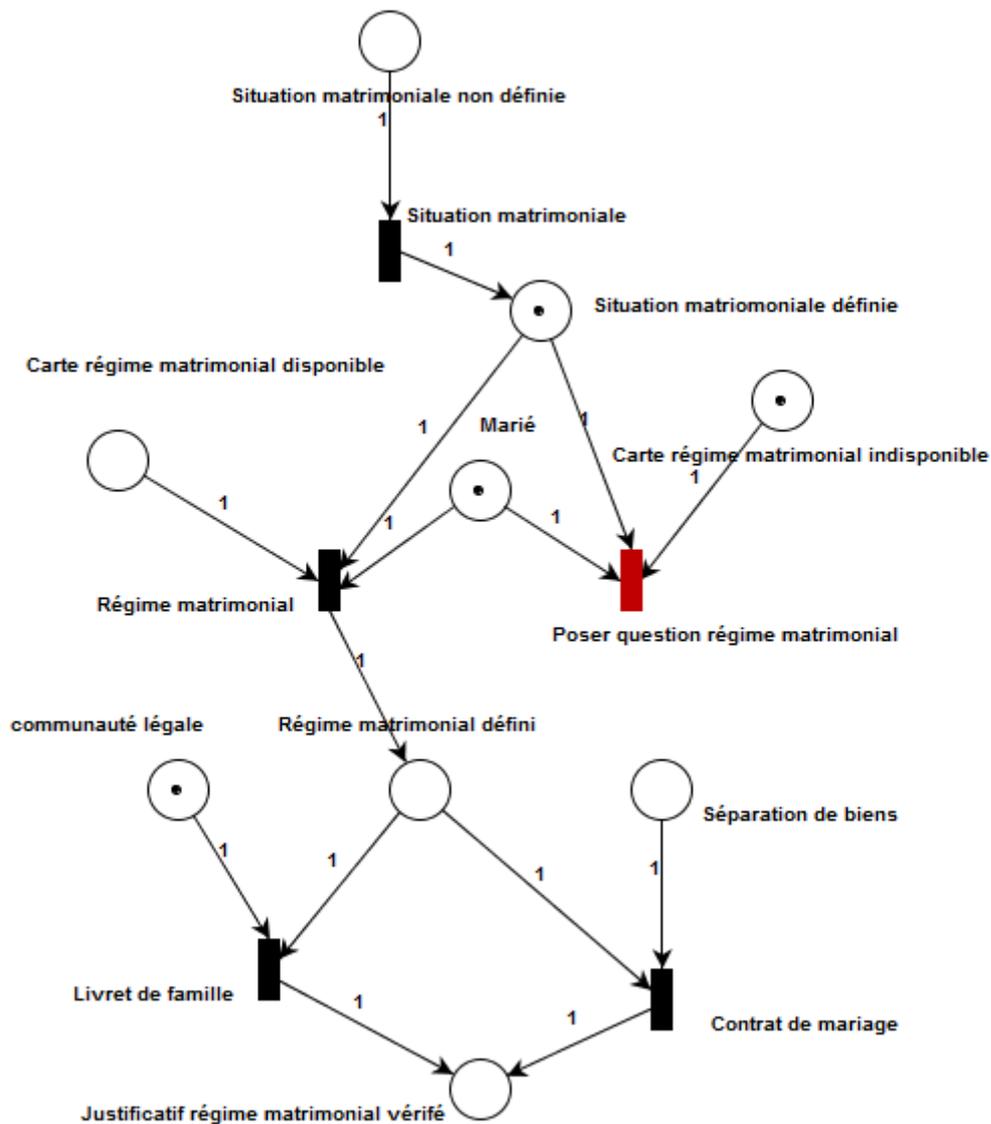


Figure 63 : Représentation de l’indisponibilité d’une carte

Par exemple, dans Ludiville, dans certains cas, les cartes génériques « Poser question » et « Demande de pièce » peuvent être toutes deux utilisées.

```

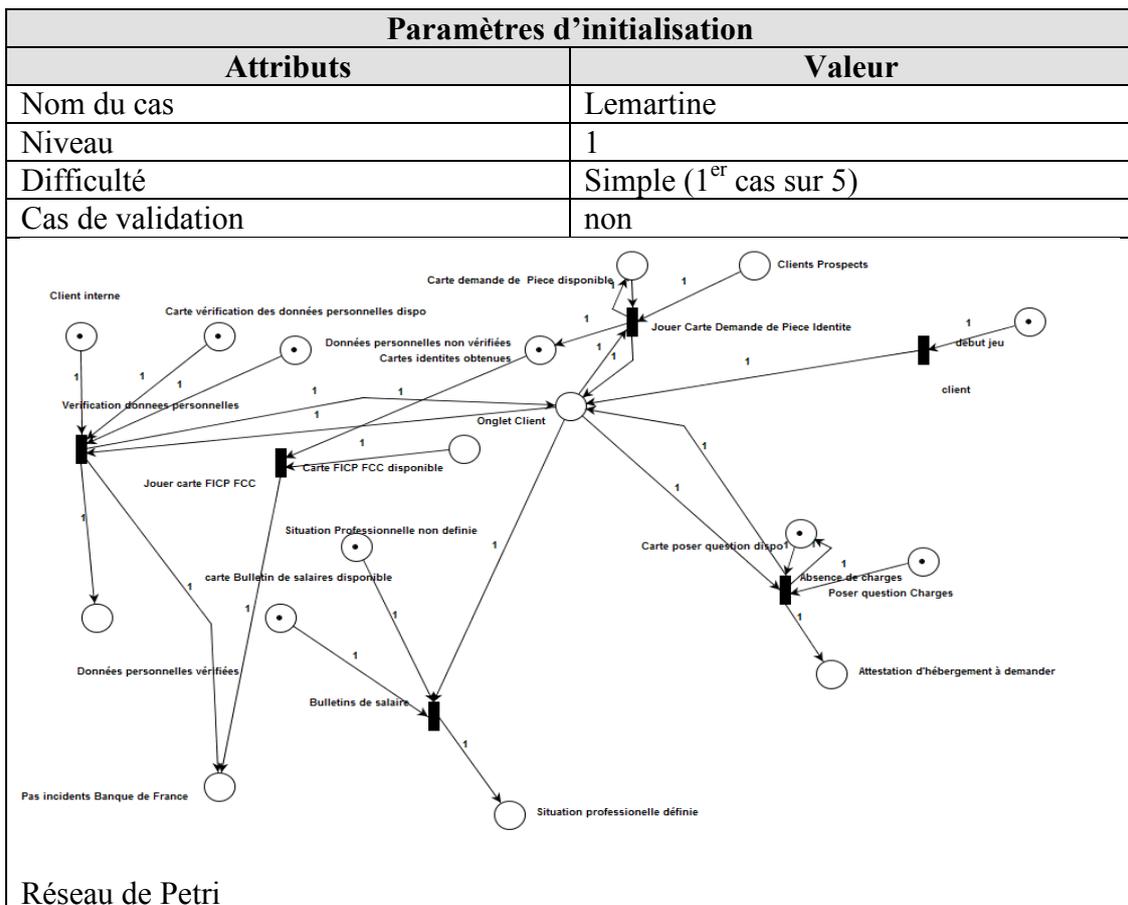
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<actions xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <GameAct>
    <Type name="Equiv" />
    <Joueur name="Poser Question Identite"/>
    <Expert name="Demande de Piece Identite"/>
  </GameAct>
  <GameAct>
    <Type name="Equiv" />
    <Joueur name="Poser Question Travaux"/>
    <Expert name="Demande de Piece Travaux"/>
  </GameAct>

```

Figure 64 : Extrait du fichier des actions équivalentes

2.3.5.5 Exemple : le modèle complet du cas Lemartine

Pour Ludiville, le modèle d'action du cas Lemartine est présenté Figure 65. Pour le réseau de Petri et le graphe d'accessibilité, nous présentons ici un extrait. La version complète est disponible en annexe.



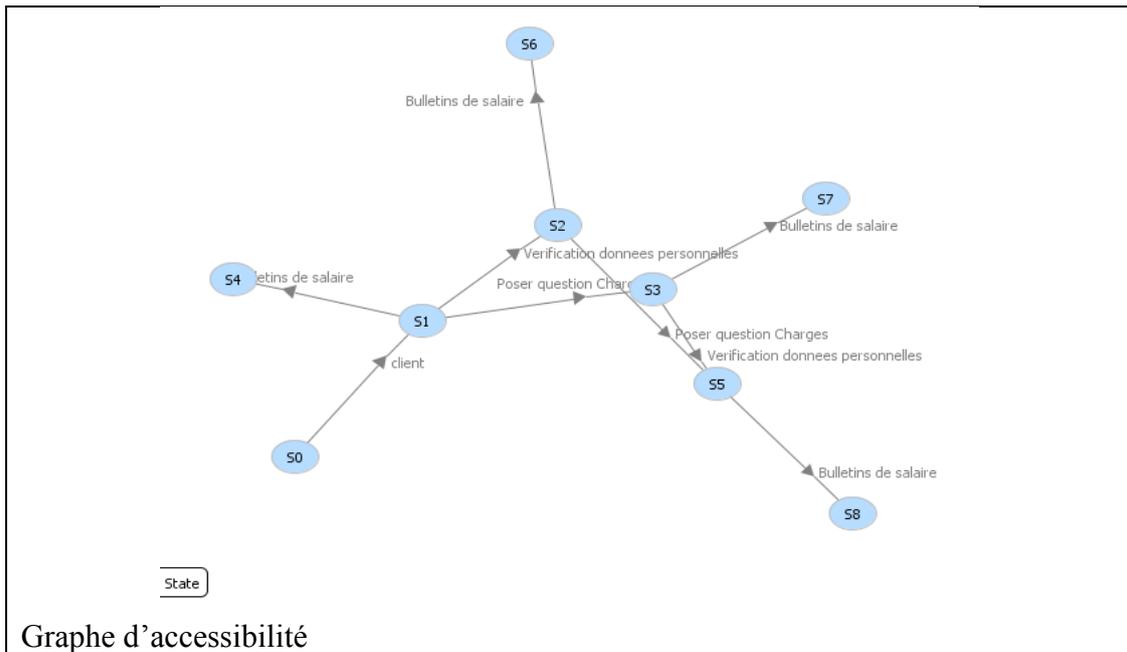


Figure 65 : Le modèles d’actions du cas Lemartine

2.4 Le modèle des compétences (CM)

Dans le cadre méthodologique de l’*Evidence Centered Design* (ECD), le modèle des compétences (CM) est représenté sous forme d’un schéma constitué de nœuds reliés entre eux. Les nœuds peuvent désigner des connaissances, des compétences ou d’autres attributs. Le modèle de l’apprenant correspond en fait à une instance du CM et les valeurs dans ce modèle représentent la croyance actuelle que l’évaluateur a sur chaque variable du CM. Dans les utilisations du cadre ECD, le CM est souvent une représentation hiérarchique. Par exemple, dans (Shute et *al.*, 2010), les auteurs présentent un découpage hiérarchique de la pensée systémique, concept mis en œuvre dans le jeu Taiga Park, présenté également dans l’article (*cf.* Figure 66). Dans notre approche, le modèle de compétences ne se limite pas à une représentation hiérarchique car notre modèle de compétences doit répondre aux objectifs suivants :

- Objectif 1 : Accompagner le modèle de preuve dans la labellisation des erreurs. En effet, comme nous l’avons montré, le réseau de Petri ne permet pas à lui seul de détecter l’ensemble des erreurs que nous avons défini. Le modèle de compétences de par sa modélisation du domaine apporte une sémantique que le réseau de Petri ne permet pas.

- Objectif 2 : Permettre de construire un débriefing lié au domaine et au cas étudié. Dans le jeu DisneyStars²⁵, dont l’objectif est de former les agents commerciaux du groupe Disney à la vente de billets pour les parcs et les services associés tels que l’hébergement, le transport, ou la restauration, le modèle de compétences permet d’indiquer au joueur qu’il propose un mode d’hébergement inadapté aux caractéristiques du client.
- Objectif 3 : Permettre la remontée vers les compétences de l’apprenant. Le système indiquera par exemple que le joueur maîtrise plutôt bien la phase de découverte du client tandis que la phase de vente doit être améliorée.
- Objectif 4 : Fournir un modèle de l’apprenant plus global lié aux différentes étapes de l’étude de cas.

Le modèle de compétence doit donc être le plus expressif possible en intégrant non seulement les compétences testées dans le jeu sérieux mais aussi les connaissances des domaines liées au contexte. Il s’agit de produire un modèle de compétences pour les jeux sérieux de type « étude de cas ». Ce modèle est ensuite complété en fonction du jeu sérieux auquel il s’applique. Une fois le modèle global adapté au jeu, il est instancié pour chaque cas traité par l’apprenant. La structure globale du modèle ne doit pas être modifiée en fonction du cas traité.

Nous commençons par définir le concept de compétence, puis nous présentons notre proposition pour les jeux sérieux de type « étude de cas » et nous illustreront par le jeu sérieux Ludiville.

²⁵ Disponible à l’adresse suivante : <http://www.disneystars.com/fr/>

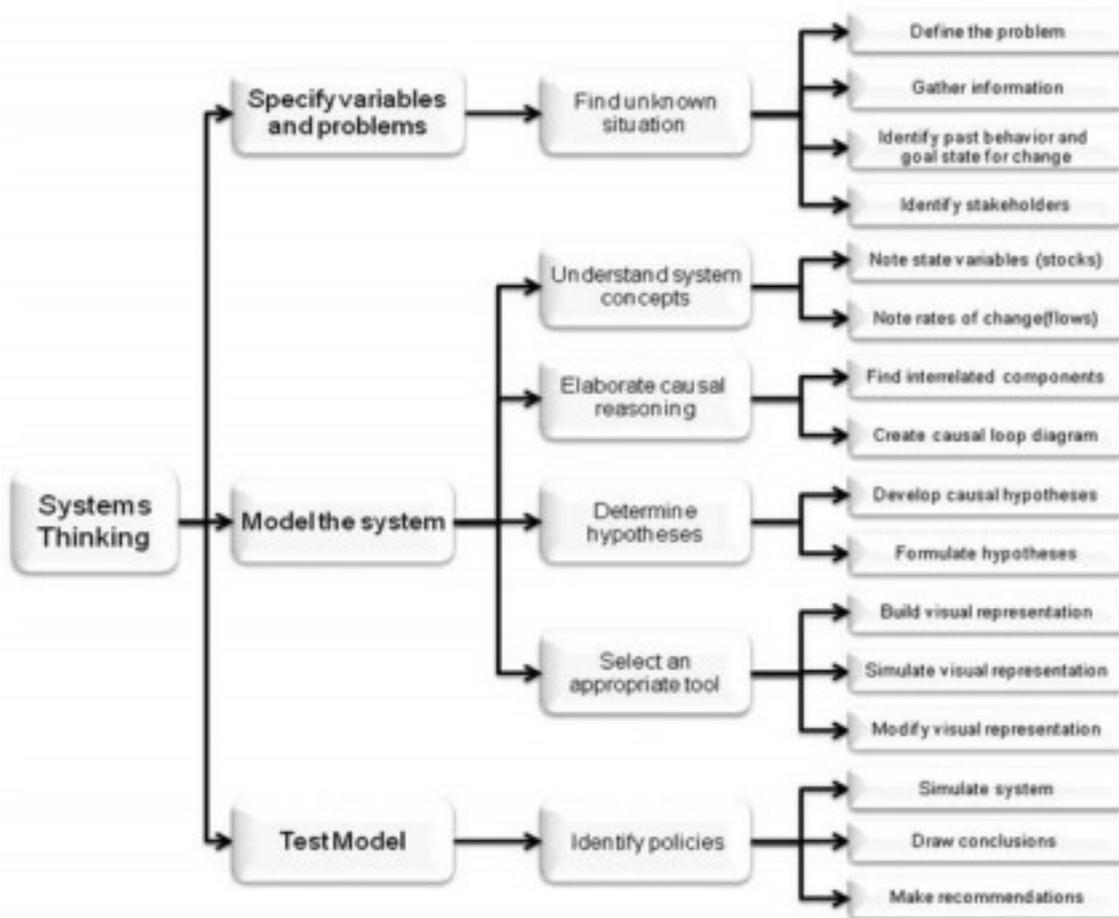


Figure 66 : Le CM de la pensée systémique mis en œuvre dans Taiga Park

Notre approche se situe dans le cadre des jeux sérieux, aussi il convient de se demander comment définir les apprentissages mis en œuvre. Nous commençons par étudier les définitions communément admises de la compétence dans le cadre de la formation professionnelle puisqu'il s'agit du domaine d'usage fréquent des jeux sérieux.

2.4.1 Quelles définitions pour les compétences dans les jeux sérieux de type « étude de cas » ?

Pour Guy Leboterf :

« Une personne compétente est une personne qui sait agir avec pertinence dans un contexte particulier, en choisissant et en mobilisant un double équipement de ressources ; des ressources personnelles (connaissances, savoir-faire, qualités, culture, ressources émotionnelles,...) et des ressources de réseaux (banque de données, réseaux documentaires, réseaux d'expertise...). »

(Le Boterf, 2010)

Il distingue plusieurs types de compétences :

- savoirs théoriques (savoir comprendre, savoir interpréter) ;
- savoirs procéduraux (savoir comment procéder) ;
- savoir-faire procéduraux (savoir procéder, savoir opérer) ;
- savoir-faire expérientiels (savoir y faire, savoir se conduire) ;
- savoir-faire sociaux (savoir se comporter, savoir se conduire) ;
- savoir-faire cognitifs (savoir traiter de l'information, savoir raisonner, savoir nommer ce que l'on fait, savoir apprendre).

Les jeux sérieux de type « étude de cas » peuvent mettre en œuvre tous ces types de compétences mais les plus fréquentes sont de type « Savoir-faire procéduraux ».

La définition de Maurice de Montmollin met également l'accent sur les notions de savoir-faire et de procédures :

« La compétence est un ensemble stabilisé de savoirs et de savoir-faire, de conduites types, de procédures standards, de types de raisonnement que l'on peut mettre en œuvre sans apprentissage nouveau et qui sédimentent et structurent les acquis de l'histoire professionnelle : elles permettent l'anticipation des phénomènes, l'implicite dans les instructions, la variabilité dans la tâche. »

(Montmollin, 1984)

Pour Tardif, la compétence est un système de connaissances déclaratives (quoi), conditionnelles (quand et pourquoi) et procédurales (comment), organisées en schémas opératoires. Elles permettent, à l'intérieur d'une famille de situations, non seulement l'identification de problèmes, mais également leur résolution par une action efficace (Tardif, 1996).

2.4.2 Notre définition du modèle des compétences et connaissances

Nous adoptons la définition de Tardif car elle correspond bien au rôle que nous voulons donner au CM : modélisation des compétences, des connaissances du domaine contextualisées.

Ainsi, dans le CM d'un jeu de type « étude de cas », nous souhaitons représenter :

- les compétences mises en œuvre ;
- les connaissances du domaine ;
- le contexte d'utilisation de telle ou telle action.

2.4.3 Notre proposition : la modélisation des compétences dans les jeux sérieux de type « étude de cas »

2.4.3.1 Pourquoi utiliser une ontologie pour représenter les compétences ?

Comme le montre (Charlet, 2002), cité dans (Luengo, 2009), il est nécessaire de construire des modèles adaptés à la nature des connaissances à décrire pour pouvoir ensuite les représenter dans des formalismes adéquats.

Nous optons pour la construction d'une ontologie de type domaine-tâche selon la définition de Gomez dans (Gómez-Pérez, 1999). C'est une ontologie du domaine au sens de la classification de (Van Heijst et *al.*, 1997). Elle a vocation à fournir le vocabulaire des concepts d'un domaine (ici les jeux sérieux de types études de cas) et les relations entre les concepts, les activités du domaine et ses principes de base. Il s'agit également de représenter dans l'ontologie les tâches associées au domaine. C'est donc aussi une ontologie des tâches toujours au sens de (Mizoguchi, Vanwelkenhuysen, & Ikeda, 1995). Dans cet article, les auteurs donnent des préconisations pour la construction d'ontologie dans le cadre de la résolution de problèmes. Un jeu sérieux de type étude de cas peut être assimilé à une situation de résolution de problèmes. Nous nous basons donc principalement sur les préconisations des auteurs pour la construction d'ontologies :

- identifier les tâches et sous-tâches ;
- distinguer les connaissances liées au domaine de celles liées à la tâche ;
- définir les objets du monde par des noms ;
- définir les actions par des verbes ;
- nommer les caractéristiques à l'aide d'adjectifs.

2.4.3.2 Quelle modélisation de l'étude de cas ?

L'étude de cas (ou méthodologie des cas) a été inventée dans les années 1920 pour l'enseignement du droit à la *Harvard Business School*.

« *Un cas est un objet, un événement, une situation constituant une unité d'analyse. Cette unité est découpée dans la réalité et s'inscrit donc dans un contexte qui ne doit pas être négligé.* »

(Leplat, 2002)

Une étude de cas consiste donc à résoudre un problème posé à l'aide d'outils techniques et/ou théoriques dans un contexte donné. L'apprenant se retrouve dans une démarche d'investigation et de prise de décision.

La modélisation et la conception de jeux sérieux de type étude de cas constituent une des thématiques de recherche de l'équipe MOCAH, à laquelle nous appartenons. (El-Kechaï & Labat, 2012) et (Iza Marfisi-Schottman, 2013)

Nous caractérisons un jeu sérieux de type étude de cas par les éléments suivants :

- le problème posé à l'apprenant ;
- des observables ;
- différentes étapes de résolution du problème (que nous détaillons par la suite) ;
- des compétences à mettre en œuvre par l'apprenant et qui sont donc évaluées ;
- un résultat final.

Pour résoudre une étude de cas, l'apprenant commence par prendre connaissance de la situation qui lui est présentée. Il se lance ensuite dans une démarche de collectes d'informations. Cela se matérialise concrètement par des éléments que l'apprenant recueille, explore dans l'environnement de jeu. Il peut également noter ces données. C'est par exemple le cas, dans le jeu ALPHEGA GAME, développé par KTM Advance, pour le groupe pharmaceutique *Alliance Healthcare*. Le jeu a pour objectif de soutenir les pharmaciens à travers l'Europe en améliorant leurs connaissances sur les maladies et leur traitement, mettre en avant la prévention et encourager l'observation intelligente des patients²⁶. Le jeu se présente sous forme de plusieurs entretiens clients ayant des préoccupations diverses. L'apprenant note les éléments qui lui paraissent importants lors de l'entretien avec le client.

²⁶ http://www.ktm-advance.com/viewProject_fr.php?id=114

Ensuite le joueur/apprenant analyse les informations collectées. Selon les jeux, cette phase est plus ou moins visible. Il peut être demandé à l'apprenant d'explicitier son analyse, de justifier pourquoi il fait tel ou tel choix.

Le *gameplay* du jeu peut impliquer que l'apprenant répète à plusieurs reprises de manière itérative cette phase de collecte et d'analyse.

La dernière étape consiste à produire une solution. Celle-ci peut regrouper un ensemble de propositions. Par exemple, dans le cas d'un jeu d'entreprise, l'apprenant proposera :

- de fixer une quantité produite de 1 000 unités ;
- d'embaucher trois salariés ;
- de réduire les prix de vente de 1 %.

Dans certains cas, comme en médecine, après la phase de collecte, le joueur peut avoir à poser une hypothèse, en déduire les conséquences et éventuellement revenir à la phase de collecte d'informations si nécessaire.

2.4.3.3 L'ontologie caractérisant une étude de cas dans un jeu sérieux

Toutes les éléments contribuant à caractériser une étude de cas sont représentés par une classe dans l'ontologie. Une étude de cas se caractérise donc par (*cf.* Figure 67) :

- un ou plusieurs problèmes à résoudre ;
- des actions de jeu : par exemple ouvrir une porte, saisir un objet, déplacer un personnage ;
- des étapes de résolution : il s'agit de représenter les différentes étapes d'une étude de cas. Nous distinguons la collecte d'informations, l'analyse et la décision ;
- des observables : il s'agit des caractéristiques du problème à traiter. Nous distinguons les observables fournis à l'apprenant de ceux qu'il doit collecter.

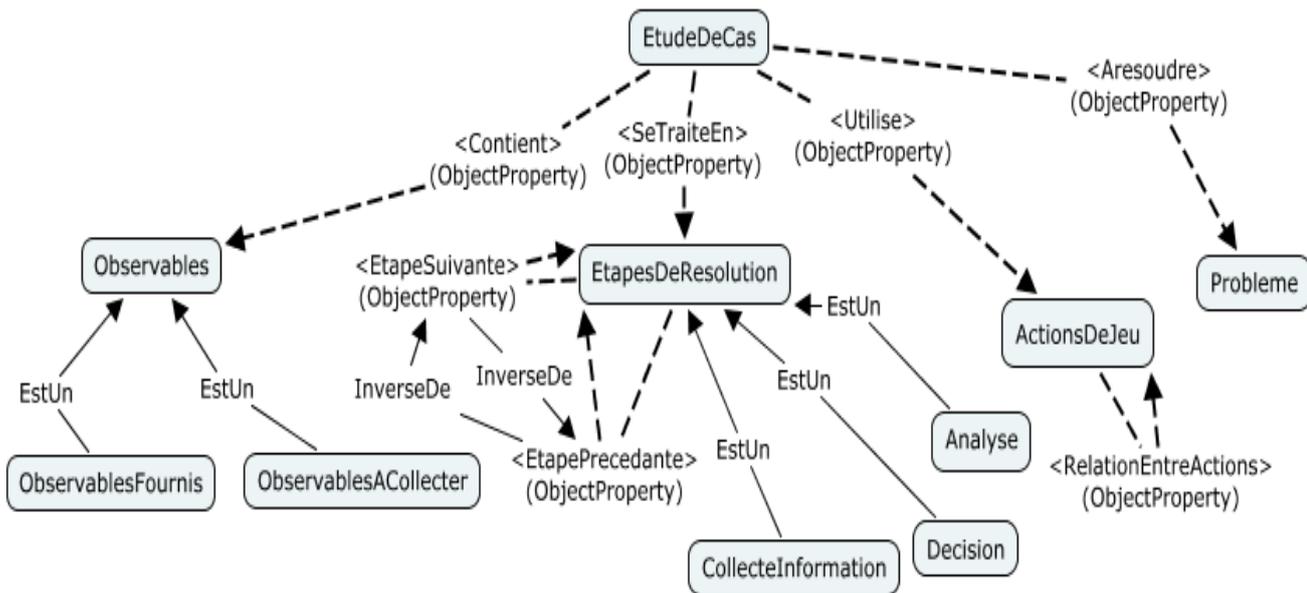


Figure 67 : Extrait de l'ontologie d'une étude de cas (+ hypothèse dans les étapes de résolution)

Pour les relations (ou propriétés des objets), nous avons défini les relations génériques. Ensuite, selon les situations et les domaines modélisés, il convient d'ajouter les classes et relations spécifiques.

Comme nous l'avons dit précédemment, une étude de cas comporte un ou plusieurs problèmes à résoudre. Les jeux sérieux de type étude de cas **utilisent** des actions de jeu. Les actions de jeu peuvent avoir des **relations** particulières entre elles. Nous détaillons cette propriété par la suite. Une étude de cas **se traite** en différentes étapes de résolutions. Ces étapes de résolution ont une temporalité : une étape peut être l'**étape précédant** une autre étape et inversement une **étape** peut être la **suivante** d'une autre étape. Enfin, l'étude de cas **contient** des observables.

Les relations entre actions peuvent être de plusieurs types. Nous nous référons ici à la classification des erreurs que nous proposons dans le cadre des jeux sérieux de type étude de cas.

Les actions peuvent être en relation selon différents critères (*cf.* Figure 68) :

- la temporalité : une action de jeu peut précéder, ou suivre une autre action de jeu ;
- l'utilité : certaines actions sont plus utiles que d'autres ;

- l'équivalence : certaines actions peuvent être considérées comme strictement équivalentes ;
- l'optimalité : dans certaines situations, une action est considérée comme optimale pas l'expert tandis que d'autres sont considérées comme correctes mais sous optimales ;
- la qualité : selon le contexte, la qualité d'une action peut découler de la précision ou de l'efficacité produite par exemple ;
- le coût : certaines actions sont plus coûteuses que d'autres.

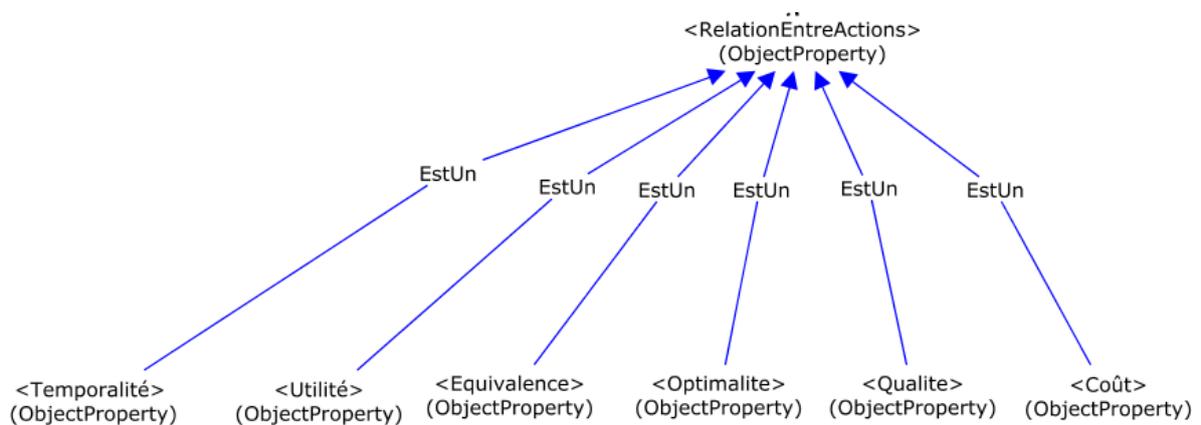


Figure 68 : Détail de la propriété « RelationEntreActions »

2.4.3.4 Quelle modélisation du domaine de connaissance dans les jeux de type « étude de cas » ?

L'objectif de cette modélisation des connaissances est d'être indépendante du jeu sérieux. Ainsi, il doit être possible à partir d'un même modèle de connaissances de construire plusieurs jeux sérieux avec par exemple des *gameplay* différents. En revanche, nous nous focalisons sur les domaines d'application des études de cas.

Un domaine de connaissances mettant en œuvre des études de cas **comporte** des actions métier (cf. Figure 69). Par exemple, proposer un hébergement à un client dans le domaine de la vente de prestations hôtelières, prévenir des effets indésirables d'un médicament dans le domaine de la pharmacie. Ce domaine **se décrit par** des caractéristiques telles que l'âge du client, ses antécédents médicaux, son lieu de résidence, etc. Selon le domaine étudié, les caractéristiques ne seront pas les mêmes. Enfin, des compétences et des sous-compétences sont **mises en œuvre**. Les compétences et sous-compétences sont modélisées sous forme de verbes à l'infinif. Par exemple, dans DisneyStars, il s'agit de :

« Proposer des modes d’hébergement adaptés », « Vendre des prestations de restauration », « Maîtriser les différents lieux stratégiques du parc ». Pour un pharmacien, on peut citer : « Identifier le besoin du client », « Conseiller le client », « Prévenir les risques associés aux médicaments ».

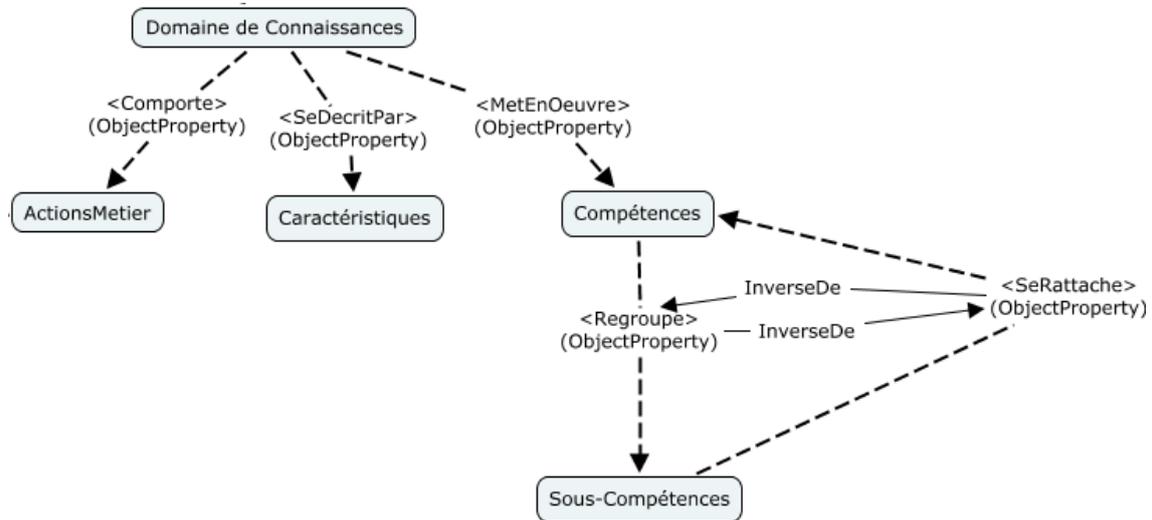


Figure 69 : Extrait de l’ontologie du domaine de connaissances

2.4.3.5 L’ontologie générique des jeux sérieux de type « étude de cas »

L’ontologie globale décrivant les jeux sérieux de type « étude de cas » interconnecte les deux ontologies précédentes au niveau de plusieurs concepts.

Ainsi, les actions de jeu et les actions métier sont relativement proches. Si le jeu ne présente pas d’aspect métaphorique, les actions de jeu (ou plusieurs actions successives) vont directement correspondre aux actions métiers. Si le jeu présente une métaphore importante alors les actions de jeu seront assimilées à des actions métier. Dans tous les cas, il existe un lien de correspondance entre les actions métier et les actions de jeu. En effet, la liste des relations entre actions que nous avons définie précédemment est également valable pour les actions métier.

De même, les observables dans le jeu sérieux sont des caractéristiques du domaine. Par exemple, l’âge du client, caractéristique du domaine de la vente apparaît dans le jeu DisneyStars comme un observable fourni sur la fiche client. La caractéristique « budget pour le séjour » est un observable à collecter. Le commercial doit cibler le type de clientèle auquel il a affaire et proposer des hébergements adaptés en termes de budget et de gamme.

De plus, les actions métier ou les actions de jeu font référence à une ou plusieurs sous-compétences. Ainsi, les actions permettant de déterminer l'âge du client, son nombre d'enfant, peuvent être rattachées à la sous-compétence « identifier les caractéristiques du client ». De même, des actions telles que présenter les risques de somnolence ou les contre-indications associés à un médicament peuvent être rattachées à la sous-compétence « Avertir des risques », elle-même rattachée à la compétence « Conseiller le patient ».

Nous présentons à la Figure 70 l'ontologie générique d'un jeu sérieux de type « étude de cas ». Afin de laisser le schéma lisible, toutes les relations citées précédemment n'ont pas été représentées.

2.4.4 Application à Ludiville

2.4.4.1 Méthodologie de construction du modèle de compétences de Ludiville

2.4.4.1.1 Le domaine de connaissances

Le domaine de connaissances correspond à la partie droite de l'ontologie présentée précédemment. Il s'agit de définir les instances des classes « Actions métier », « Caractéristiques », « Compétences » et « Sous-compétences ».

Pour construire le modèle du domaine de connaissances associé au crédit immobilier, nous nous sommes basés sur les documents fournis par le groupe Banque Populaire Caisse d'Épargne (il s'agit principalement de descriptions de cas client). Dans le cadre de ce projet, nous avons également occupé les fonctions d'ingénieur de la connaissance. Notre rôle a consisté à être l'intermédiaire entre les experts du domaine et le *game designer*.

Dans un premier temps, nous avons choisi de modéliser l'ensemble des éléments qui caractérisent un prêt immobilier. Ce travail a abouti à une carte conceptuelle représentée à la Figure 72. Cette carte permet de définir les instances de l'ontologie d'une étude de cas que nous avons définie précédemment. Cette carte conceptuelle nous permet également d'identifier les caractéristiques d'un dossier de prêt, ce que nous avons qualifié de caractéristiques dans notre ontologie.

Ainsi, le client se caractérise par sa situation personnelle grâce aux observables définis à la Figure 71. Par exemple, la situation matrimoniale peut prendre pour valeur célibataire, marié sous la séparation de bien, marié sous la communauté légale, etc.

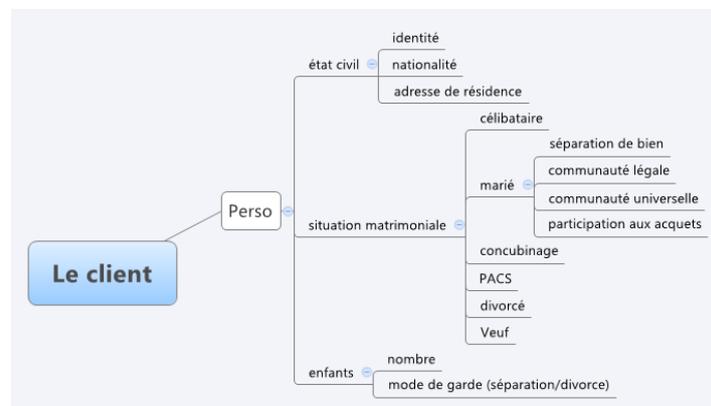


Figure 71 : Les caractéristiques du client

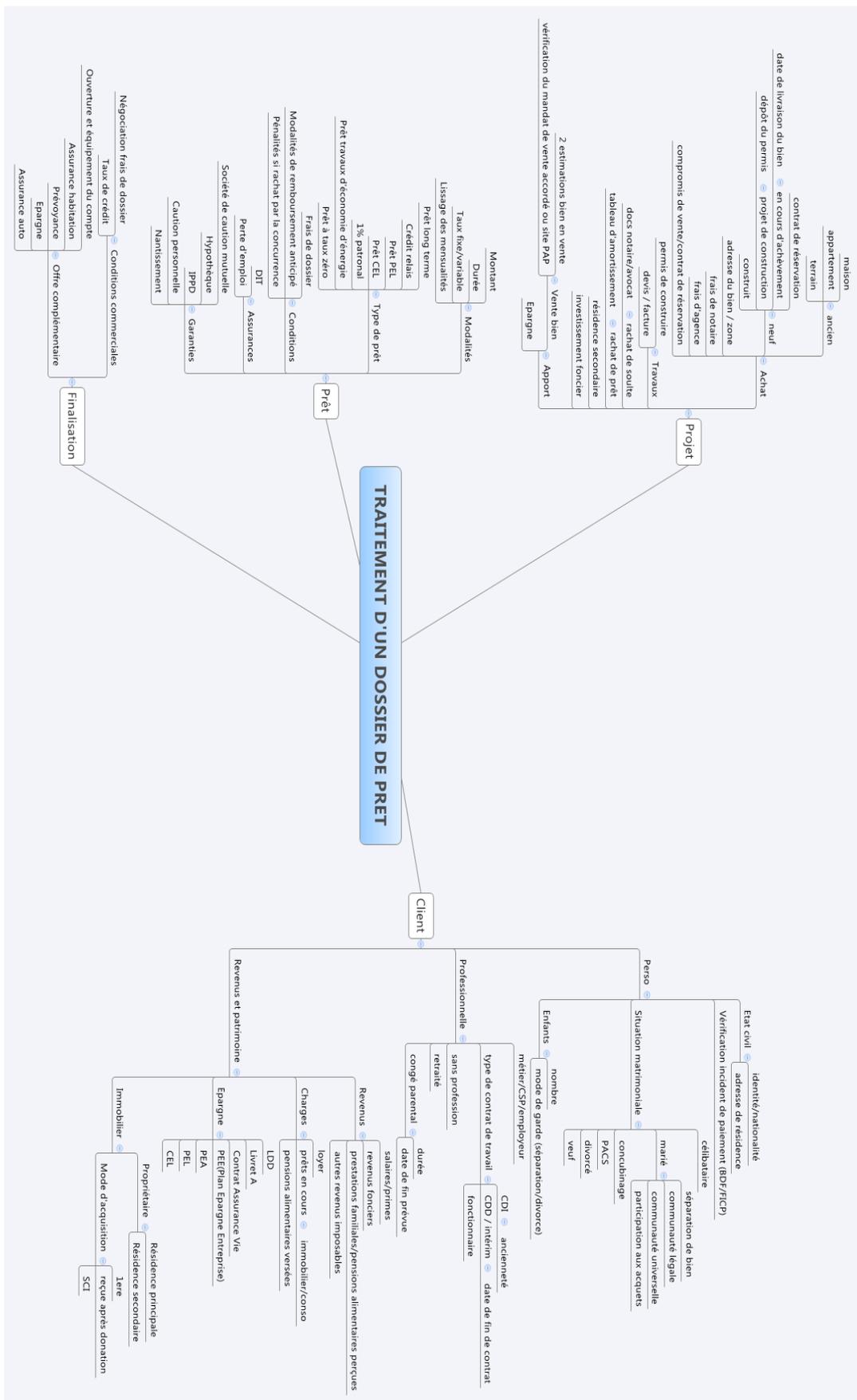


Figure 72 : Les éléments caractérisant un dossier de prêt

La modélisation des actions métier a été définie lors d'entretiens semi-directifs avec les experts du domaine. Nous nous sommes rendus en agence afin d'interroger des chargés de clientèle. Nous leur avons demandé plus précisément de décrire les tâches effectuées lors du traitement d'un dossier de prêt.

Nous avons identifié des actions telles que :

- demander la pièce d'identité du client ;
- identifier son régime matrimonial ;
- l'interroger sur le montant de l'apport souhaité ;
- vérifier que cet apport est disponible et utilisable ;
- obtenir les caractéristiques du projet envisagé (achat d'un bien neuf, d'occasion, projet de construction ou de rénovation, etc.) ;
- demander le compromis de vente s'il a déjà été signé ;
- calculer un taux d'endettement ;
- proposer un taux d'intérêt et les mensualités correspondantes ;
- proposer une assurance habitation pour le bien sur lequel porte le prêt.

Pour l'identification des compétences et sous-compétences, nous avons choisi de nous entretenir avec des formateurs du groupe Banque Populaire Caisse d'Épargne spécialisés dans le domaine du crédit immobilier. Ces formateurs interviennent notamment pour former les conseillers particuliers nouvellement nommés. Des supports de cours théoriques sont associés à des séances en présentiel avec notamment des jeux de rôle favorisant une mise en situation. L'analyse des documents descriptifs de cas et les entretiens que nous avons eus avec ces formateurs nous ont permis d'identifier les compétences et sous-compétences clés dans le domaine de la formation au crédit immobilier. Une arborescence à deux niveaux nous semble suffisante dans notre situation. Il est envisager d'affiner en détaillant les sous-compétences si tel est le souhait du client et si le domaine permet de rentrer plus en détail. Nous avons fait le choix ici de rattacher chaque compétence à un aspect ou facette du crédit immobilier. Un extrait du modèle de compétences est fourni sur la Figure 73. Ces éléments constituent donc les instances des classes compétences et sous-compétences dans l'ontologie de l'étude de cas. Dans la mesure où notre travail a été fait en amont de la conception du jeu, il s'avère que nous avons influencé le contenu de celui-ci. Les facettes du crédit immobilier que nous avons

définies lors de la modélisation des compétences sont également devenues les étapes de résolutions. Nous reviendrons sur cet aspect par la suite.

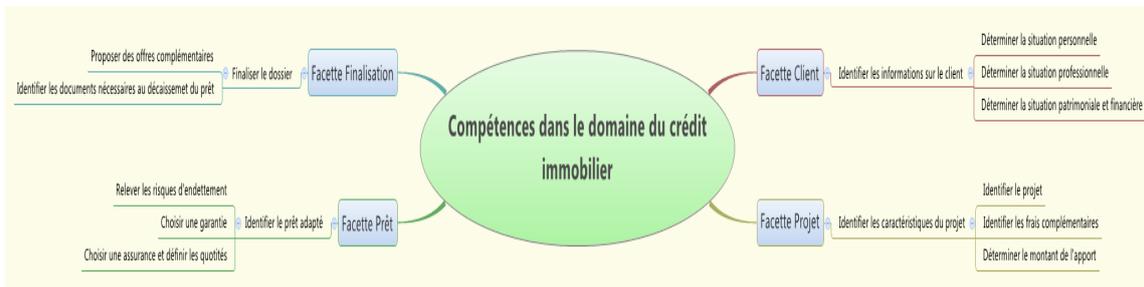


Figure 73 : Extrait des compétences et sous-compétences dans le crédit immobilier

2.4.4.1.2 La modélisation du jeu de type « étude de cas »

Nous nous intéressons ici à la partie gauche de l'ontologie générique de l'étude de cas. Il s'agit de définir les instances des classes « Problème », « Action de jeu », « Étapes de résolution », « Observables » et les sous-classes qu'elles regroupent (cf. Figure 74).

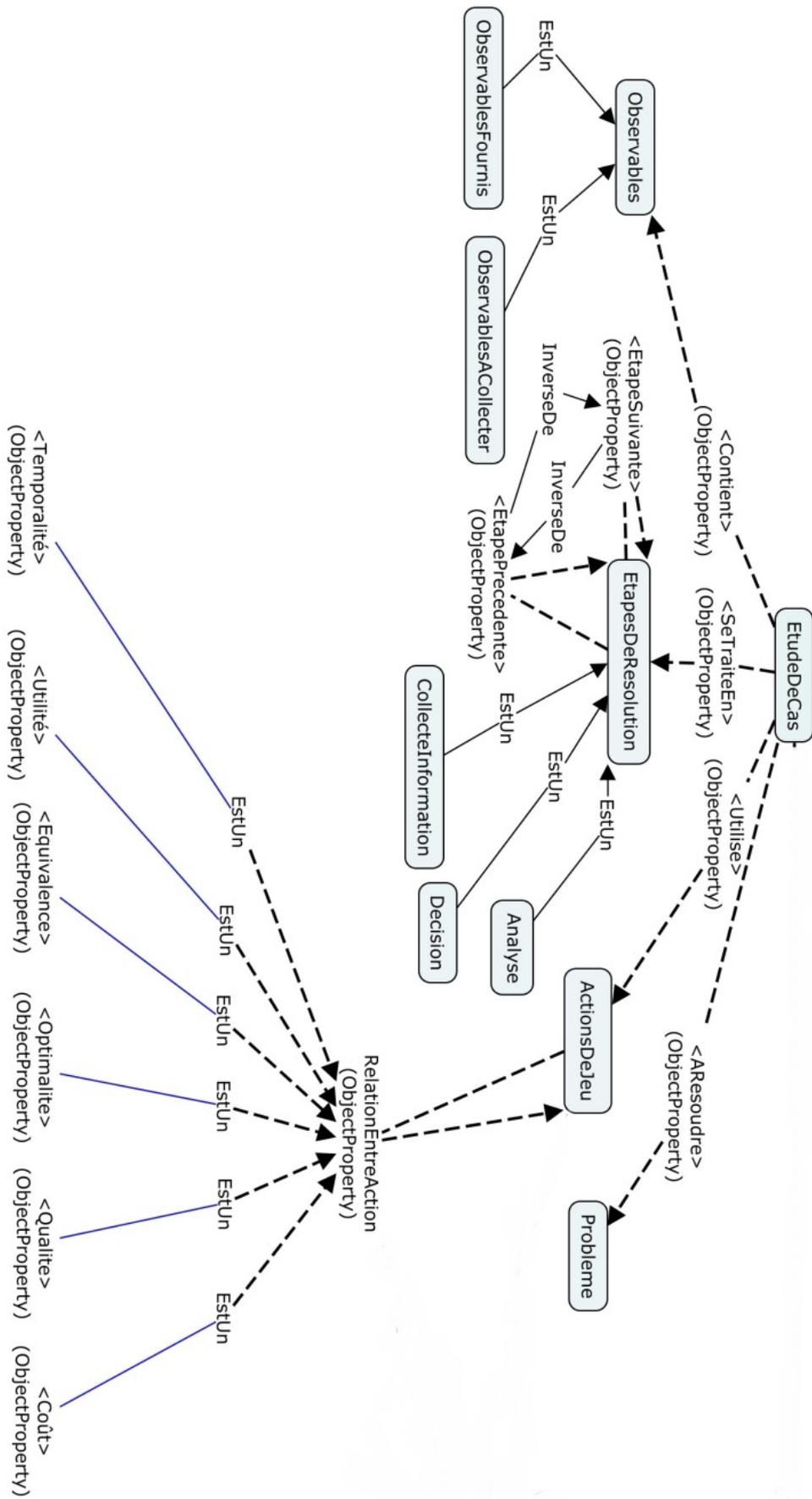


Figure 74 : La partie associée au jeu dans l'ontologie générique

Comme nous l'avons expliqué précédemment, les étapes de résolution sont donc la partie Client, Projet, Prêt et Finalisation. Client et Projet consistent à collecter des informations tandis que Prêt et Finalisation sont plutôt des étapes de proposition/décision. L'étape d'analyse telle que définie dans l'ontologie n'est pas directement présente dans Ludiville.

Dans Ludiville, les observables correspondent exactement aux caractéristiques définies dans le modèle de connaissances. Ainsi, le type de projet pourra prendre les valeurs présentées à la Figure 75. Selon les cas étudiés, les observables seront soit définis dans la présentation du cas, soit à collecter par le joueur.

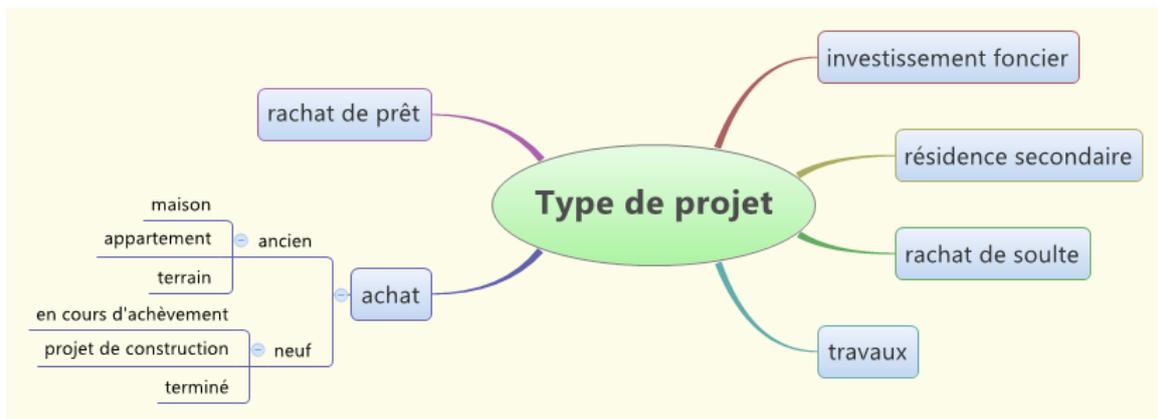


Figure 75 : Les valeurs possibles pour la caractéristique type de projet

Dans Ludiville, les actions de jeu correspondent au placement de cartes sur les zones grisées (cf. Figure 76).

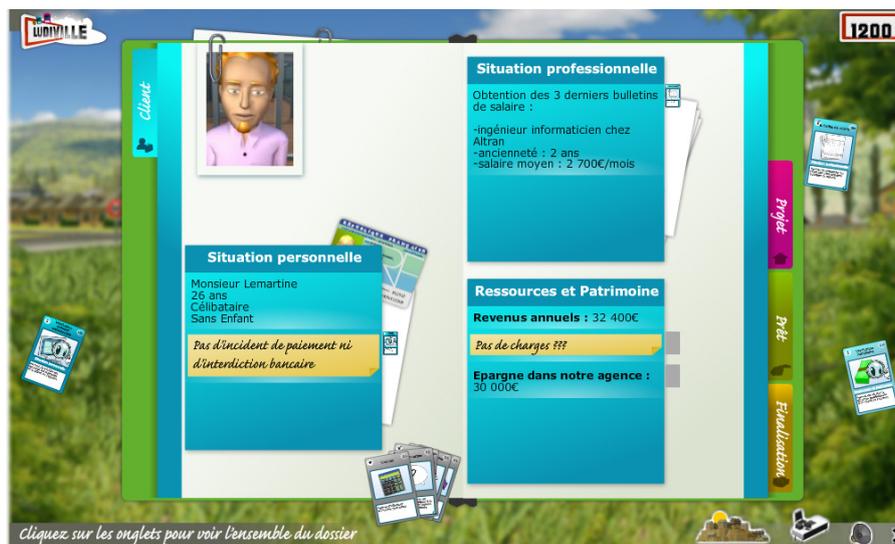


Figure 76 : L'interface de jeu de Ludiville

Comme indiqué lors de la présentation du jeu, il existe trois types d'action dans Ludiville :

- le changement d'onglet (le joueur tourne les pages du dossier de prêt) ;
- l'utilisation d'une carte générique (en bas au milieu de l'écran) ;
- l'utilisation d'une carte spécifique.

Les deux premières catégories ne présentent aucune difficulté et sont traduites telles quelles dans l'ontologie.

Le recours aux cartes génériques nécessite l'ajout d'un aspect sémantique. En effet, jouer la carte « demande de pièce » dans l'onglet client, dans la partie situation personnelle en face d'une information de situation matrimoniale ne correspond pas à la même action que d'utiliser la carte « demande de pièce » dans l'onglet client, dans la partie situation professionnelle en face d'une information sur l'employeur. Dans le premier cas, le joueur demande en fait un justificatif concernant la situation matrimoniale du client, tel que le livret de famille par exemple. Dans le second cas, le joueur vérifie les informations données par le client concernant sa situation professionnelle. Dans l'ontologie, l'utilisation de la carte générique sera traduite par deux instances : demander pièce situation matrimoniale et demander pièce situation professionnelle. Ces correspondances ont été mises en place lors de l'interprétation du fichier de traces en combinant les informations obtenues sur la carte utilisée et la zone sur laquelle la carte a été placée.

Nous rappelons que le recours à une carte générique correspond à un contournement du joueur. Il devrait utiliser la carte spécifique correspondante. Dans le premier cas, c'est la carte « livret de famille » qui aurait dû être utilisée. Dans le second cas, il s'agit de la carte bulletin de salaires. Une relation de sous optimalité doit donc être définie entre les instances représentant les cartes génériques et spécifiques dans l'ontologie.

2.4.4.2 Extrait de l'ontologie utilisée pour l'analyse du cas Lemartine

2.4.4.2.1 Partie de l'ontologie liée au domaine de connaissances

Pour construire la partie associée au domaine de connaissance du cas Lemartine, nous procédons juste à une extraction des éléments traités dans le cas. Pour des questions de lisibilité du schéma et pour ne pas égarer le lecteur, nous ne représentons qu'une petite partie

de ce modèle à la Figure 77. Le joueur est évalué sur sa capacité à identifier les informations sur le client et plus particulièrement sur les sous-compétences : déterminer la situation personnelle, déterminer la situation patrimoniale et financière, déterminer la situation professionnelle.

Il va recourir à deux actions métiers qui consistent à demander la pièce d'identité et le livret de famille. Dans le cadre du jeu Ludiville, les actions métier sont directement rattachées à une sous-compétence (dans notre exemple il s'agit de la sous-compétence « déterminer la situation personnelle »).

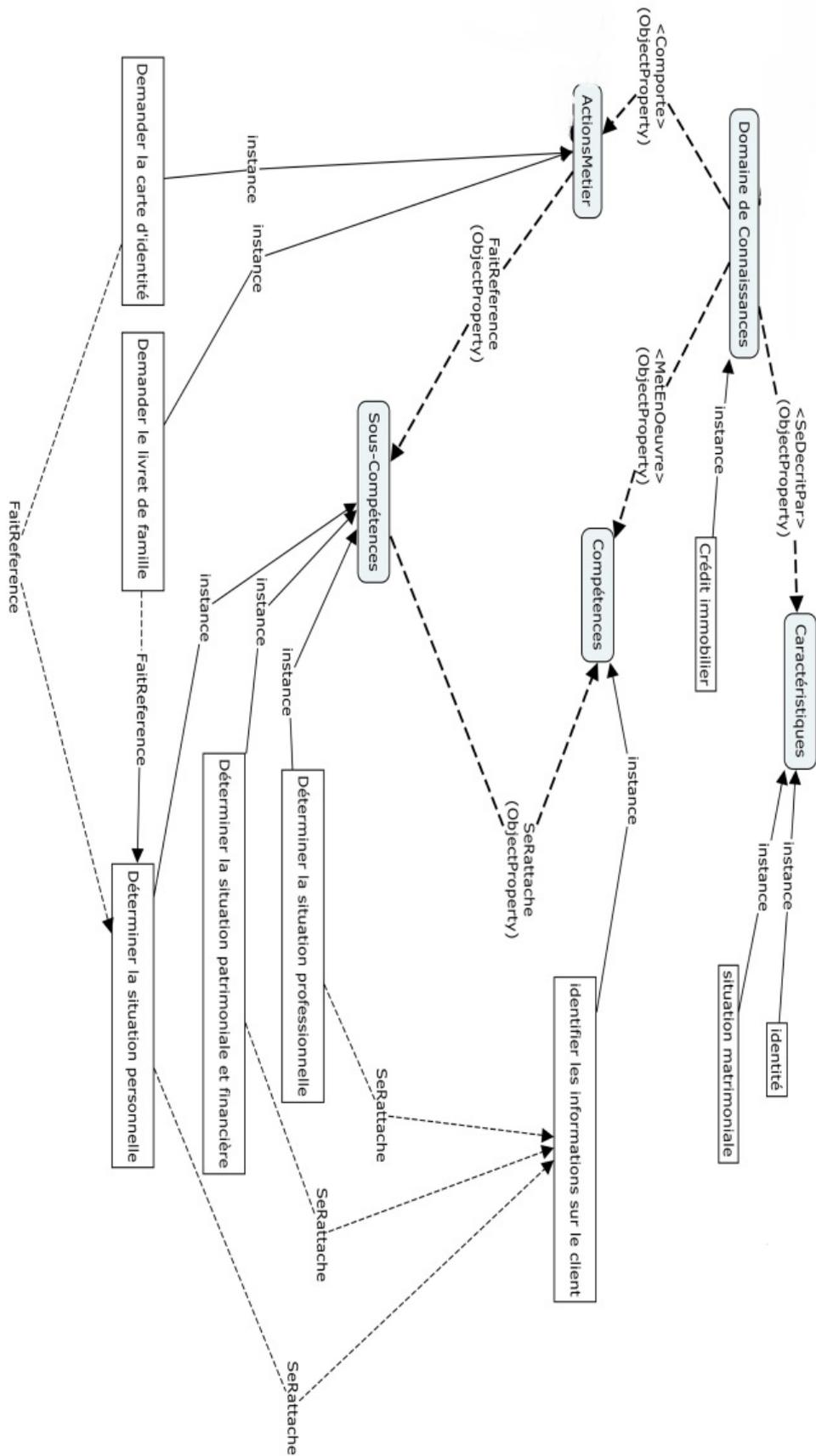


Figure 77 : Les instances du modèle de connaissances utilisées pour le cas Lemartine

2.4.4.2.2 **Partie de l'ontologie du cas Lemartine liée au jeu**

Cet extrait de l'ontologie instancié est présenté à la Figure 78. Nous commençons par décrire la partie droite du schéma. Le problème posé au joueur est d'instruire le dossier de prêt de M. Lemartine. Pour cela, il va recourir à des actions de jeu telles que l'utilisation de la carte « Pièce identité » pour vérifier la situation personnelle du client. Pour vérifier la situation matrimoniale du client, le joueur pourra jouer la carte « Livret de famille » ou recourir à la carte générique « Demande de pièce » qui sera utilisée ici dans le contexte de la situation matrimoniale. Il y a donc une relation de sous-optimalité entre ces deux actions de jeu. Dans la mesure où la métaphore n'est pas très importante dans Ludiville, il est aisé de lier les actions de jeu aux actions métier.

En ce qui concerne les étapes de résolution du cas, comme nous l'avons déjà précisé, Ludiville se divise en quatre étapes : le client, le projet, le prêt et la finalisation. Les parties « prêt » et « finalisation » permettent au joueur de montrer sa capacité à prendre des décisions, faire des propositions au client. Les parties « client » et « projet » consistent pour le joueur à collecter des données pour la suite du jeu. De plus, les parties « client » et « projet » précèdent nécessairement le prêt. En effet, le type de prêt proposé dépend notamment de la situation personnelle et professionnelle du client mais aussi du type de projet envisagé.

Dans Ludiville, les observables fournis sont les informations affichées dans le dossier de prêt lors du démarrage du cas. Les observables à collecter sont les informations que le joueur doit afficher en plaçant les bonnes cartes dans les zones grisées. Dans le cas Lemartine, le joueur sait qu'il a 26 ans, que c'est un client interne de la banque par exemple. Cette information est importante puisqu'elle permet au joueur d'éviter trop de vérifications dans la mesure où le client dispose de ses comptes dans le groupe BPCE. Ensuite, les observables à collecter sont par exemple sa situation matrimoniale ou ses données de salaires.

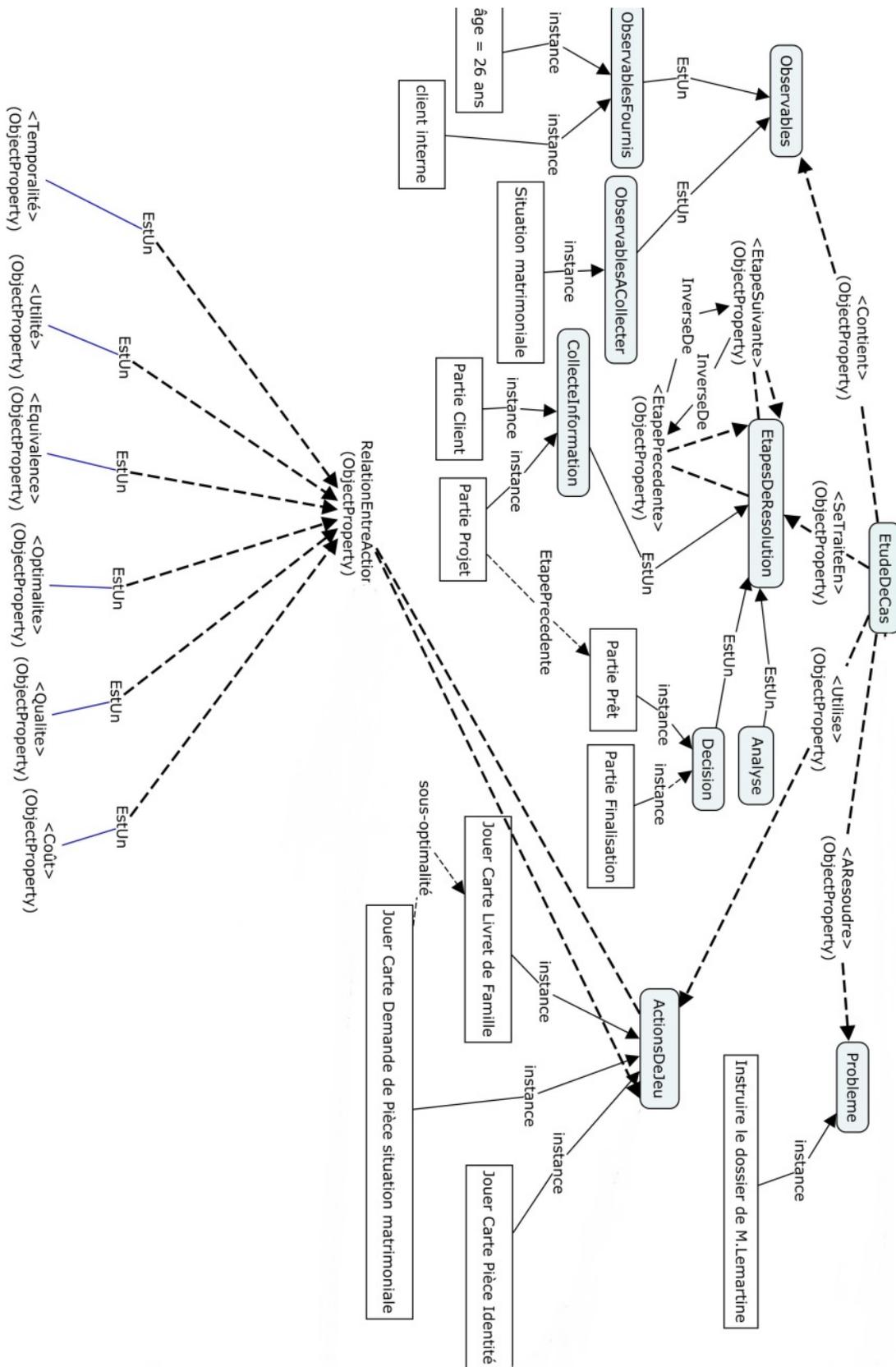


Figure 78 : Extrait de l'ontologie du cas Lemartine pour la partie étude de cas

2.5 Le modèle de preuves (EM)

Le modèle de preuves a pour rôle de produire des scores qui seront ensuite utilisés pour inférer la maîtrise des compétences par l'apprenant. Le modèle de preuve utilise le réseau de Petri « expert » défini dans le modèle d'actions. Il est composé de deux éléments : les règles de preuves et le modèle statistique.

Les règles de preuves prennent en entrée les traces de l'apprenant (1 sur la Figure 79). Ces traces sont ensuite analysées afin de produire des indicateurs de performance (3 sur la Figure 79).

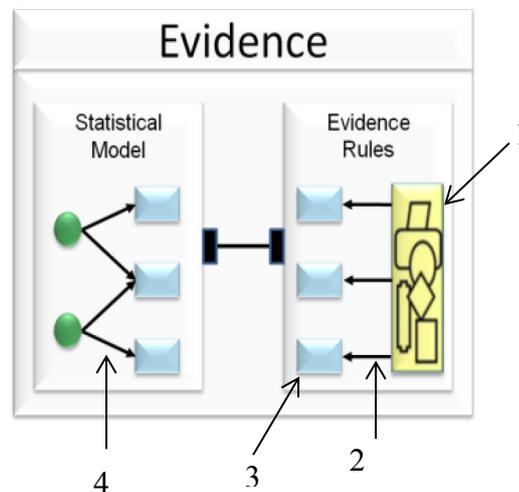


Figure 79 : Le modèle de preuves

Le modèle statistique prend en entrée les indicateurs de performance produits par les règles de preuves et permet la remontée vers les compétences de l'apprenant (4 sur la Figure 79).

Le modèle de preuves doit donc répondre à quatre objectifs :

- définir des indicateurs de performance dans un jeu sérieux de type « étude de cas » (3 sur la Figure 79) ;
- définir un modèle de traces permettant d'obtenir ces indicateurs (1 sur la Figure 79) ;
- définir l'algorithme de diagnostic qui produit les indicateurs définis (2 sur la Figure 79) ;

– définir des règles pour remonter des indicateurs de performances vers les compétences (4 sur la Figure 79).

2.5.1 Objectif 1 : Définir des indicateurs de performance dans un jeu sérieux de type « étude de cas »

Après avoir analysé plusieurs jeux sérieux classiques et de type « étude de cas » tels que DisneyStars²⁷, Hair Be12²⁸, Cap Odyssey²⁹, Mon entretien d'embauche³⁰, les ECSPER³¹, 2025 exmachina³², nous avons défini à la Figure 80 une classification des indicateurs de performance dans les jeux sérieux de type études de cas.

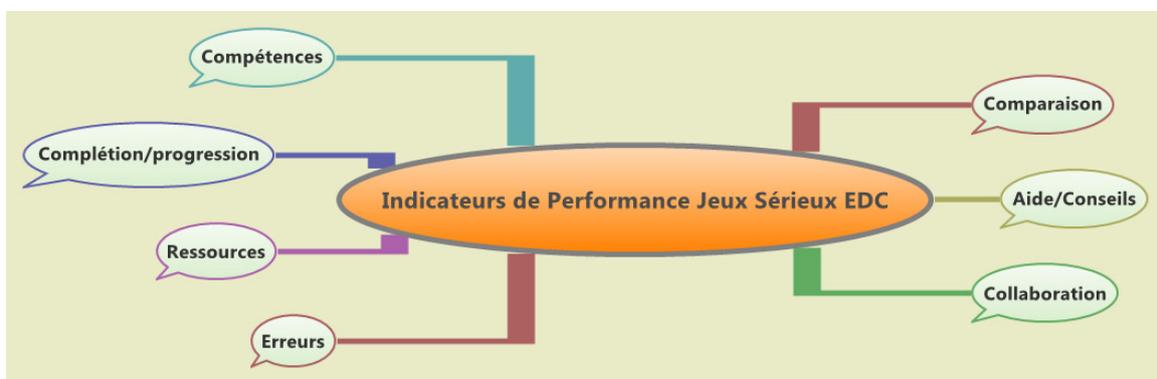


Figure 80 : Les indicateurs de performance dans les jeux sérieux de type « étude de cas »

2.5.1.1 Les indicateurs de complétion, progression

Ils permettent au joueur de se situer par rapport au parcours restant. C'est par exemple un pourcentage de tâches effectuées, de distance parcourue dans un jeu de quête. La progression peut aussi être représentée par la position du cas dans le niveau ou dans le jeu global.

2.5.1.2 Les indicateurs de ressources

Ces indicateurs désignent les éléments que le joueur possède ou utilise. Ainsi, on pourra, par exemple, considérer le nombre de vies restantes, le temps consommé, l'énergie

²⁷ <http://www.disneystars.com/fr/>

²⁸ http://www.hair-be12.com/accueil_v2.aspx

²⁹ <http://www.capodyssey.eu/>

³⁰ <http://monentretien dembauche.sfr.com/>

³¹ <https://campus.mines-paristech.fr/course/view.php?id=283>

³² <http://www.2025exmachina.net/>

d'un personnage. Ces indicateurs sont notamment importants dans des jeux de gestion de ressources. Par exemple, dans Cap Odyssey, jeu permettant de comprendre les enjeux de la politique agricole de l'Union européenne, le joueur voit en temps réel sa consommation et sa production de ressources. Parfois, les ressources à disposition sont comparées à un seuil à atteindre ou un seuil optimal. Ainsi sur la Figure 81, le joueur a quasiment produit le maximum possible en céréales, alors que sa production de pain est assez faible.



Figure 81 : Les ressources dans Cap Odyssey

2.5.1.3 Les indicateurs de comparaison

Ils désignent les tableaux de classement qui reflètent la position d'un joueur par rapport aux autres, c'est ce que l'on appelle le *Hall of Fame*, temple de la renommée. En général, ces indicateurs permettent d'entretenir le challenge et la motivation. Certains joueurs recommencent à plusieurs reprises uniquement pour améliorer leur classement et donc leur visibilité par rapport aux autres.

Position	Joueur	Niveau	Nb parties	Points
1	 gomina	★★★	1 259	18 942 pts
2	 nononono	★★★	548	9 131 pts
3	 Titof	★★★	204	7 289 pts
4	 zykou	★★★	723	6 581 pts
5	 SimuPhil	★★★	519	6 188 pts

Figure 82 : Le palmarès de Simuland

Par exemple, dans le jeu de gestion d'entreprise Simuland, à la Figure 82, on constate que le meilleur joueur a effectué 1 259 parties.

Ce type d'incitation est accentué dans les jeux intégrés aux réseaux sociaux pour lesquels le système affiche systématiquement les amis les plus performants sur chaque niveau atteint par le joueur. C'est le cas dans le jeu d'enquête associé à Facebook *Criminal Case* dont le but est de résoudre une affaire de meurtre (cf. Figure 83).



Figure 83 : Le classement de *Criminal Case*

2.5.1.4 Les indicateurs de collaboration

Les indicateurs de collaboration désignent la capacité du joueur à interagir avec les autres pour aboutir à une solution au problème posé. Ce type de compétences n'est pas répandu dans les jeux sérieux actuellement. Dans (Gendron, Carron, & Marty, 2008), les auteurs montrent comment intégrer les indicateurs de collaboration dans un jeu sérieux. Ils

basent leur présentation sur le jeu sérieux *Learning Adventure*. Il s'agit d'un jeu d'aventure et de quêtes multijoueurs dans lequel les joueurs et les enseignants disposent d'un avatar. Le scénario d'apprentissage est représenté par des régions sur une carte que le joueur doit explorer. L'ordre d'accès aux activités est géré par des personnages qui indiquent les prérequis pour accéder à telle ou telle zone. Les activités peuvent être menées individuellement ou collectivement. Le caractère collaboratif ou pas d'un joueur est représenté par une aura autour de l'avatar. Les joueurs très collaboratifs disposent d'une aura blanche alors que ceux qui sont peu coopératifs disposent d'une aura rouge.

De même, le jeu *World of Leadership*³³ met l'accent sur la collaboration entre joueurs. Il s'agit d'un jeu pour les entreprises dont l'objectif est de développer les compétences des collaborateurs en termes de leadership et d'esprit d'équipe. C'est une simulation qui implique quatre joueurs qui doivent résoudre une énigme. Les quatre joueurs sont séparés physiquement et ne voient pas la même chose. Ils doivent donc collaborer et échanger les informations dont ils disposent pour réussir.

2.5.1.5 Les indicateurs de conseils

Ils permettent d'accompagner le joueur dans sa progression et/ou de lui transmettre des connaissances. C'est par exemple le cas à l'issue d'une étude de cas dans le jeu 2025 exmachina³⁴. Ce jeu a pour objectif de sensibiliser les collégiens aux risques d'Internet. Le jeu se place en 2025 et montre à travers divers études de cas, l'impact que l'usage du Web sans règles et sans protection peut avoir à long terme. Dans l'épisode 3, par exemple, le joueur doit venir en aide à Tom qui voit sa carrière professionnelle menacée par son passé de joueur en ligne intensif. Une entreprise a collecté des données personnelles sur le Web au cours des dernières années et propose à chacun de récupérer des informations sur un site ledenicheur.net. La réputation de Tom sur ce site n'est pas glorieuse.

L'idée est de remonter le temps afin de corriger les erreurs commises par Tom dans sa jeunesse en termes de durée de jeu mais aussi de comportement dans les jeux en ligne. Le *gameplay* est de type « *time pressure* » : le joueur doit prendre des décisions rapidement. En effet, il doit faire en sorte que son avatar (Tom) soit occupé par des activités intéressantes et variées de manière à limiter à 7 heures par semaine l'usage des jeux vidéo. À l'issue de la

³³ www.act3gaming.com/serious-games-nos-solutions/developpement-professionnel

³⁴ <http://www.2025exmachina.net/>

partie, le joueur reçoit des conseils par rapport aux actions effectuées, aux décisions prises pendant le jeu. À la Figure 84, le jeu insiste sur le respect des codes PEGI dans le choix des jeux vidéo pour et par les enfants. Le bilan final met également en évidence l'importance de la vie privée sur le Web et incite donc les adolescents à ne pas divulguer des données personnelles.

The screenshot shows a game interface for 'Détective Pradeepa'. The top navigation bar includes 'Episode 3 « Hugo & Tom à Zombi'city »', 'intro', 'jeu', 'chutes', and 'score'. The left sidebar displays 'RAPPORTS DE MISSION' with sections for 'Energie' (38%), 'Vie sociale' (69%), and 'Aura' (bon). It also lists weekly activity types and game statistics for 'ZOMBI CITY'. The main area shows 'Détective Grade 1' with a congratulatory message: 'Bravo! Grâce à vous, Tom est parvenu à conjuguer sa passion pour le jeu vidéo et ses autres activités. Et tout ça avec beaucoup de fairplay.' Below this, five numbered tips are provided regarding PEGI ratings, balancing leisure and family, following game rules, online communication safety, and financial caution. On the right, there are interactive options: 'Donnez votre avis', 'Participez à l'Internet de demain', 'Envoyer à un ami', and 'Imprimer les points-clés'. A silhouette of a person is visible in the bottom right corner of the main area.

Figure 84 : Les conseils à l'issue de 2025 exmachina

Un autre exemple de conseil lié au jeu lui-même se trouve dans *StarBank The Game*, que nous avons présenté dans le chapitre 1. L'objectif est de montrer les divers métiers de la banque en faisant construire au joueur un groupe bancaire. La Figure 85 présente des conseils donnés au joueur à l'issue d'une partie. Ainsi, ici le joueur n'a pas assez développé sa clientèle de particuliers. Le système lui conseille également de ne pas développer les filières Assurance et Immobilier si tôt dans la vie du groupe.



Figure 85 : Les conseils dans *StarBank The Game*

2.5.1.6 Les indicateurs de recours à l'assistance

Ces indicateurs permettent de savoir si le joueur a demandé de l'aide au système pour avancer. Ce recours à l'aide a souvent un coût au niveau du jeu. Les aides permettent de ne pas frustrer le joueur en situation de blocage mais leur recours est limité afin de ne pas trop simplifier le challenge. À la Figure 86, dans le jeu *Criminal Case*, le joueur a utilisé l'aide à trois reprises. Il peut y recourir au maximum cinq fois ici. Dans d'autres jeux, le recours à l'aide peut être pénalisé par des points de vie ou acheté avec d'autres ressources disponibles.



Figure 86 : L'aide dans *Criminal Case*

2.5.1.7 Les indicateurs sur les compétences

Ils permettent de donner une visibilité sur les compétences maîtrisées par le joueur à l'issue du jeu. Ces indicateurs sont présents dans la plupart des jeux sérieux. La maîtrise des compétences peut être représentée par un pourcentage, une valeur numérique, un nombre d'étoiles. Il est également possible de mettre l'accent sur la progression par rapport au cas précédent. C'est le cas à la Figure 87, le jeu de gestion d'un salon de coiffure de l'Oréal, Hair Be12 présente un bilan au joueur lui indiquant qu'il a progressé dans la relation client alors que la consultation est en chute.



Figure 87 : Bilan des compétences dans Hair Be12

2.5.1.8 Les indicateurs sur les erreurs

Les indicateurs mettent en évidence des comportements non attendus par le système. Il peut s'agir d'un chemin qu'il ne fallait pas emprunter dans un jeu de quête, d'une réponse incohérente dans un jeu de dialogue ou d'une action inappropriée. Par exemple, dans le jeu « Mon entretien d'embauche³⁵ », le joueur incarne un jeune diplômé se préparant à passer un entretien d'embauche. Au début du jeu, le joueur prépare l'entretien avec un ami qui lui donne des conseils et le fait répéter. Ensuite, l'entretien réel a lieu. Le jeu adopte un game sous forme de quiz : le joueur doit choisir parmi plusieurs réponses affichées. À l'issue du jeu, l'ensemble des réponses est analysé. Les réponses erronées sont affichées en rouge et une explication est fournie à l'apprenant. À la Figure 88, le joueur indique que le permis n'est pas nécessaire en Région parisienne. Or, cette réponse ne semble pas optimale. Le système préconise au joueur de se montrer motivé et prêt à avancer. Il aurait donc fallu répondre qu'il envisage de passer son permis.

³⁵ <http://monentriendembauche.sfr.com/>



Figure 88 : Exemple d'erreur dans Mon entretien d'embauche

2.5.2 Objectif 2 : Définir un modèle de traces des jeux sérieux de type « étude de cas »

Pour définir une trace, nous reprenons la définition de (Lund & Mille, 2009) : une trace est « une suite temporellement située d'observés, qui relève soit d'une interaction entre humains, médiatisée et médiée de diverses façons par un ordinateur, soit d'une suite d'actions et réactions entre un humain et un ordinateur ». Dans la plupart des jeux sérieux, la trace est constituée d'une suite d'actions et réactions entre un humain et un ordinateur.

Le modèle de traces doit donc permettre d'identifier les actions du joueur, le contexte de l'action et les conséquences de celles-ci sur le jeu. Ce modèle doit également contenir les réponses du système aux actions du joueur.

Le modèle de traces dépend fortement du jeu. Nous proposons néanmoins un cadre générique pour définir les traces dans un jeu sérieux de type « étude de cas » (cf. Figure 89).

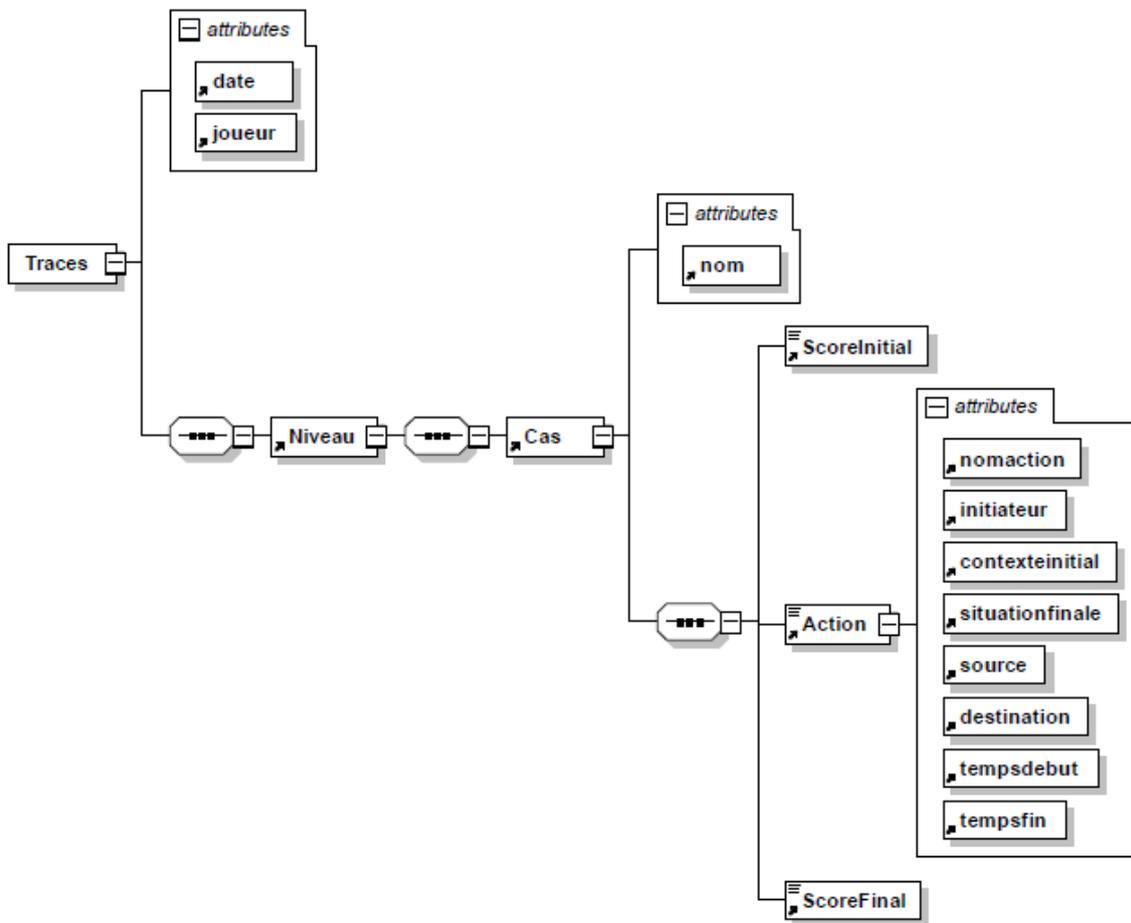


Figure 89 : Schéma XSD du fichier de traces d'une étude de cas

Le fichier doit permettre d'identifier le joueur et la date de la partie. L'élément essentiel est l'action. Celle-ci peut être caractérisée par différents attributs. Le nom de l'action est, par exemple, « prendre l'épée ». Son initiateur est l'avatar. Le contexte initial est constitué des valeurs caractérisant le système avant l'exécution de l'action. Il est par exemple possible de stocker les ressources disponibles avant l'action, puis celles après l'action afin de déduire les conséquences de l'action. De même, pour la durée de l'action, elle peut être obtenue à l'aide du temps de début et du temps de fin. Ces indicateurs ne sont pas exhaustifs et sont affinés en fonction du *gameplay* mais aussi du moteur de jeu. En effet, si les traces sont ajoutées sur un jeu existant, le concepteur de l'outil de suivi est contraint par les capacités du moteur de jeu à produire les traces nécessaires.

2.5.3 Objectif 3 : Produire les indicateurs de diagnostic

La production des indicateurs de diagnostic dépend du jeu. C'est l'analyse des traces qui permet de fournir un bilan complet au joueur. Dans le cadre de nos travaux, nous nous focaliserons plus particulièrement sur les indicateurs de compétences et les indicateurs sur les erreurs.

2.5.4 Objectif 4 : Définir des règles pour remonter des indicateurs de performances vers les compétences

Comme nous l'avons précisé dans le modèle de compétences, chaque action de jeu peut être reliée à une sous-compétence. La remontée vers les compétences dans ECD peut être effectuée à l'aide de modèles probabilistes tels que les réseaux Bayésiens ou utiliser des variables de *scoring*.

Le modèle de l'apprenant est donc constitué des différents items du modèle de compétences valués par un degré de maîtrise. Ce degré de maîtrise peut être un pourcentage, un niveau de maîtrise sur 3 ou 5 niveaux conformément à l'échelle de Likert.

2.5.5 Notre contribution : une classification des actions erronées et un algorithme de diagnostic de ces erreurs

2.5.5.1 Une classification des erreurs

Nous nous focalisons sur l'erreur car c'est une caractéristique essentielle du jeu sérieux : l'apprenant peut se tromper sans conséquences dans la réalité. L'objectif est justement d'apprendre par essais/erreurs. L'apprentissage se fait par prise en compte et analyse des conséquences des erreurs et modification de la stratégie mise en œuvre. Comme le montre Astolfi, dans *L'erreur, un outil pour enseigner* (Astolfi, 1997), l'erreur a un statut dans l'apprentissage, il ne faut pas la nier ou l'éliminer mais plutôt l'utiliser :

« Se confronter à des difficultés, à des défis, à des opinions variées, à des "errances" passagères constitue un véritable moteur pour l'apprenant qui est amené à rechercher de l'information, à s'approprier des matières scientifiques, à se questionner de façon autonome, etc. Si à chaque erreur ou hésitation, la seule réponse qu'il/elle reçoit est une sanction, il y a peu de chance qu'il/elle persévère. »

En nous inspirant des travaux de (Hollnagel, 1998b), nous avons défini une classification des actions faites ou non faites de l'apprenant, à l'aide de la méthode CREAM (*Cognitive Reliability and Error Analysis Method*) (Hollnagel, 1998b). Dans le cas de l'analyse des erreurs dans les jeux sérieux, nous proposons dans le schéma ci-dessous des « phénotypes³⁶ » susceptibles d'intervenir dans la recherche des causes de l'erreur. Pour le moment, dans la thèse nous avons décidé de retenir en plus des actions erronées et inutiles, les actions prématurées, tardives ou imprécises.

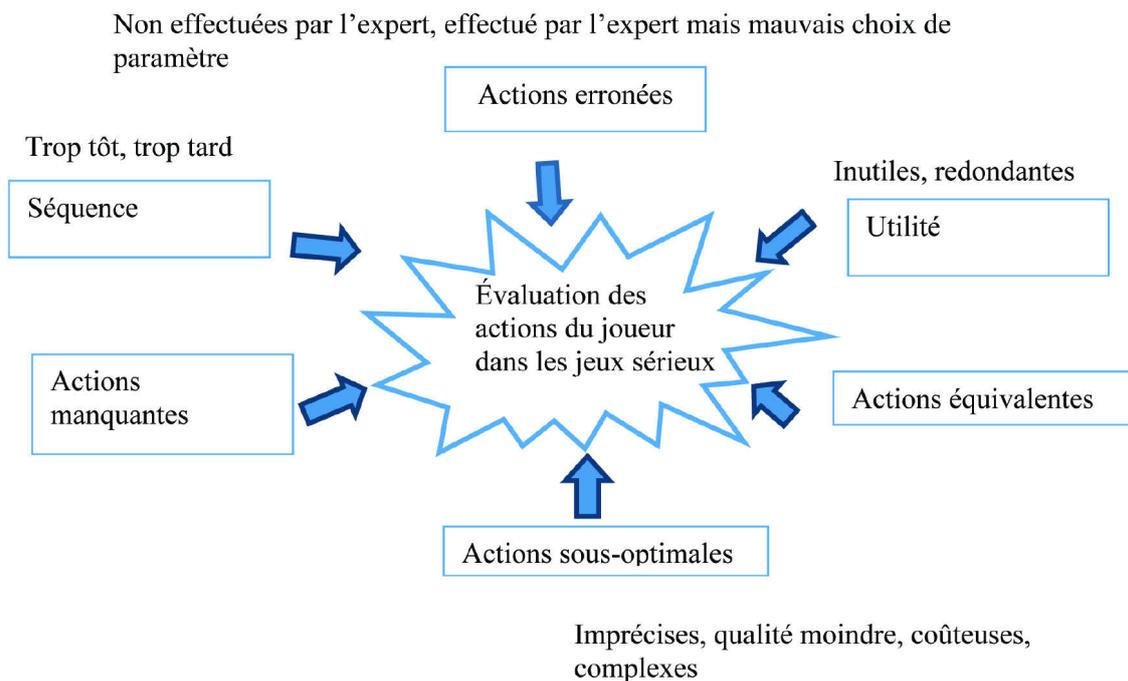


Figure 90 : Évaluation des actions du joueur dans les jeux sérieux d'après la méthode CREAM (Hollnagel, 93)

1. 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.
2. Les actions sous-optimales permettent d'avancer dans le jeu sans être optimales. 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.
3. Les actions trop tôt (prématurées) sont des actions nécessaires pour résoudre le problème en cours mais arrivant prématurément dans l'enchaînement des actions.
4. Les actions trop tard (tardives) sont aussi celles nécessaires mais arrivant tardivement dans le jeu.

³⁶ Les actions fausses.

5. Les actions manquantes sont des actions non exécutées par le joueur mais nécessaires (obligatoires) pour résoudre le problème (éventuellement de manière optimale).
6. Les actions équivalentes représentent des actions non effectuées par l'expert mais équivalentes à celles de l'expert.
7. Les actions erronées correspondent soit à des actions non effectuées par l'expert, soit à des actions effectuées par l'expert mais avec un mauvais choix de paramètre. Ces actions révèlent de réelles incompréhensions de l'apprenant.

2.5.5.2 L'algorithme de diagnostic

Parmi les indicateurs de performance définis précédemment, ceux qui se focalisent sur l'erreur peuvent être déterminés à l'aide du réseau de Petri et de l'ontologie des actions de jeu. Nous présentons ici un exemple d'algorithme de diagnostic permettant de déterminer automatiquement et quel que soit le cas traité les indicateurs suivants :

- actions correctes ;
- actions sous-optimales ;
- actions équivalentes ;
- actions prématurées ;
- actions tardives ;
- actions erronées ;
- actions redondantes ;
- actions inutiles.

Les actions du joueur sont comparées avec les transitions correspondantes du réseau de Petri de l'expert. L'ontologie est également utilisée afin de déterminer les actions équivalentes et sous-optimales. Nous utilisons également le graphe d'accessibilité généré à partir du marquage initial du réseau de Petri. Ce graphe indique l'ensemble des états atteignables du réseau et les transitions qui permettent de passer d'un état à l'autre. Ce graphe d'accessibilité nous permet de tester la quasi-vivacité d'une transition. Une transition est quasi vivace si elle appartient au graphe d'accessibilité.

L'algorithme commence par charger le réseau de Petri « expert » puis l'instancie en le marquant avec les caractéristiques du cas à traiter, ensuite il charge les traces du joueur et l'ontologie des actions de jeu. Chaque action pédagogiquement significative du joueur est traitée l'une après l'autre.

Pour chaque action du joueur, l'algorithme la compare avec la transition immédiatement franchissable dans le réseau de Petri. Si l'action du joueur est franchissable dans le RdP alors elle est labellisée comme **correcte**, la transition est exécutée et nous l'ajoutons à l'historique des actions exécutées. Si l'action n'est pas franchissable alors plusieurs éléments doivent être vérifiés.

Dans un premier temps, nous vérifions si l'action du joueur est une action équivalente à celle qui est franchissable dans le réseau de Petri. Pour cela, nous interrogeons l'ontologie des actions de jeu définie dans le modèle de connaissances et particulièrement les relations entre actions. Si l'action du joueur présente une relation d'équivalence avec celle qui est franchissable dans le réseau de Petri alors elle est labellisée comme **équivalente**. Nous procédons de la même façon pour détecter les actions **sous-optimales**. Dans les deux cas, la transition du RdP est exécutée.

Si aucune relation n'est trouvée dans l'ontologie et que l'action n'est pas franchissable, nous testons sa quasi vivacité.

Si l'action du joueur n'est pas quasi vivace alors nous vérifions si toutes ses places en sortie sont marquées, dans ce cas elle est labellisée comme **inutile**, sinon elle est labellisée comme **erronée**.

La transition attendue est exécutée et sauvegardée dans l'historique des transitions exécutées artificiellement par le système.

Si l'action effectuée par le joueur est quasi vivace nous vérifions plusieurs critères.

Si elle appartient à l'historique des actions effectuées par le joueur, elle est considérée comme **redondante** (dans l'hypothèse où une même action n'est exécutée qu'une seule fois dans un cas).

Si elle appartient à l'historique des actions exécutées artificiellement par le système alors elle est considérée comme **tardive**.

Si l'action ne figure pas dans l'historique du joueur, elle est labellisée comme **prématurée** et toutes les places en sortie de la transition sont marquées en fonction du poids des arcs. Cela correspond à une exécution artificielle des transitions situées entre celle du joueur et celle qui était attendue. Ces actions exécutées artificiellement sont également historisées. Les transitions immédiatement accessibles après celle attendue sont considérées comme potentiellement tardives. Elles le deviennent si le joueur les exécute dans la suite de son parcours.

Les actions **manquantes** sont celles présentes dans le réseau de Petri expert mais absentes des traces du joueur en dehors des actions équivalentes et sous-optimales. La Figure 91 représente graphiquement le déroulement de l'algorithme de diagnostic. Les éléments grisés représentent les appels à l'ontologie.

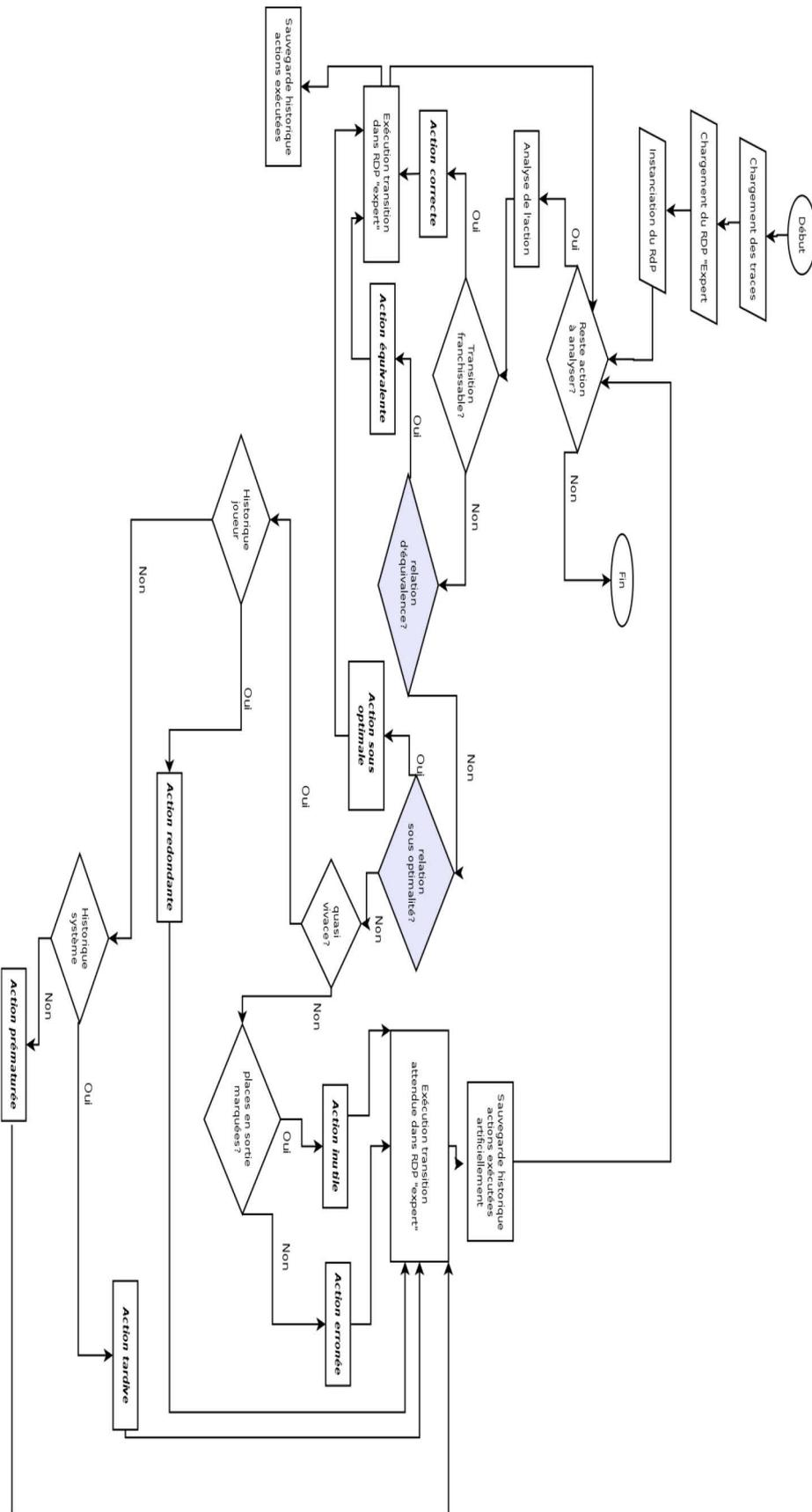


Figure 91 L'algorithme de diagnostic

(Les éléments grisés représentent les interrogations de l'ontologie.)

2.5.5.3 La remontée vers les compétences

Pour remonter vers les compétences, nous avons fait le choix de définir des règles de *scoring*. Il est possible de recourir à des réseaux Bayésiens si des experts sont disponibles pour le définir.

En ce qui concerne les pondérations, les actions tardives et prématurées ne sont pas comptées négativement. En effet, ce sont des actions qui ne sont pas fausses mais c'est leur enchaînement qui ne convient pas. En revanche, les actions manquantes sont sanctionnées. Les actions erronées sont un peu moins sanctionnées car elles peuvent être signe d'un tâtonnement. Il en est de même pour les actions inutiles et redondantes. Les actions sous-optimales sont légèrement pénalisées afin de valoriser les meilleures solutions.

Ces coefficients sont sujets à discussion et interprétation. Dans Laalys, nous laissons à l'enseignant la liberté de modifier ces valeurs à sa guise.

Ce *scoring* est défini en fonction des règles suivantes :

- chaque action du joueur est reliée à une sous-compétence ;
- chaque sous-compétence est reliée à une compétence ;
- lorsqu'une action est correcte, elle contribue à considérer la sous-compétence comme maîtrisée ;
- pour chaque compétence une note sur 2 est calculée en affectant une pondération pour chaque label d'action :
 - actions correctes : 2 pts,
 - actions sous-optimales : 1,5 pt,
 - actions tardives/prématurées : 1 pt,
 - actions redondantes : – 0,25 pt,
 - actions inutiles : – 0,25 pt,
 - actions erronées : – 0,5 pt,
 - actions manquantes : – 1 pt.

La moyenne se calcule de la façon suivante :

$$\frac{\text{Label action} \times \text{pondération}}{\text{nb actions totales sur la sous-compétence}}$$

2.5.6 Les composants du modèle de preuves pour les jeux sérieux de type « étude de cas »

Le modèle de preuves a pour objectif de faire le lien entre le modèle de compétences et le modèle d'actions. Il prend en entrée les actions joueur et produit un diagnostic sur les compétences.

Notre modèle de preuves dans Laalys est donc constitué :

- d'un modèle générique de traces pour les études de cas ;
- d'une taxonomie d'indicateurs de performance ;
- d'un algorithme permettant de définir les indicateurs ;
- de règles de *scoring* pour remonter aux compétences.

Le modèle générique de traces permet de préciser les éléments qu'il est nécessaire de collecter auprès du système. Ce modèle générique est à adapter en fonction de chaque jeu sérieux et des données qu'il est possible de récupérer. Parfois, des traitements intermédiaires peuvent être nécessaires pour interpréter les traces et faire correspondre les actions du joueur à des actions métier. En effet, ce sont ces actions qui sont représentées dans le modèle d'action du réseau de Petri.

Les indicateurs de performance dépendent également du jeu sérieux lui-même. Certains de ces indicateurs sont directement fournis par le jeu tandis que d'autres doivent être calculés à partir de la combinaison du réseau de Petri (extrait du modèle d'actions) et de l'ontologie des actions de jeu (extraite du modèle de compétences). L'algorithme que nous présentons est un exemple de diagnostic possible à partir du RdP.

Les règles de scoring peuvent être définies par des modèles probabilistes tels que les réseaux Bayésiens comme dans les travaux de V.Shute (Shute, Masduki, & Donmez, 2010b) ou la théorie de l'espace de connaissance (Conlan, Hampson, Peirce, & Kickmeier-Rust, 2009).

2.5.7 Application à Ludiville

Nous présentons ici l'instanciation du modèle de preuves dans le cadre du cas Lemartine, première étude de cas de Ludiville.

Avant d'entamer la présentation des éléments du modèle de preuves, il convient de détailler le fonctionnement du jeu lui-même.

Le but du jeu est de placer des cartes en face dans les zones grisées de l'interface du dossier de prêt. Le placement des cartes permet soit d'obtenir des informations sur le client soit de prendre des décisions sur le dossier (type de prêt accordé, garanties proposées, etc.). Lorsqu'il s'agit de recherche d'informations, le placement de la carte dans la bonne zone dévoile cette information au joueur. Lorsqu'il s'agit de décisions, le placement de la carte dévoile la décision du joueur.

Lorsqu'une carte n'est pas placée correctement, elle vibre et retourne dans le paquet et le score du joueur est décrémenté.

Nous présentons ci-dessous les composants du modèle de preuves.

2.5.7.1 Le modèle de traces

Le modèle de traces nous donne la structure du fichier de traces produit à l'issue de l'étude d'un cas. Comme nous l'avons précisé précédemment, le placement d'une carte se situe sur une zone grisée que l'on nommera « slot ». L'information devant laquelle elle est placée est liée à l'identifiant du slot. Un identifiant de slot est unique quel que soit le cas. Deux cas différents ne peuvent avoir le même identifiant de slot. Une action de jeu telle que nous la qualifions dans le modèle d'actions est donc la combinaison d'une carte et d'un slot. Chaque partie du dossier de prêt est appelé onglet.

Le fichier de traces de l'apprenant a donc la structure présentée à la Figure 92.

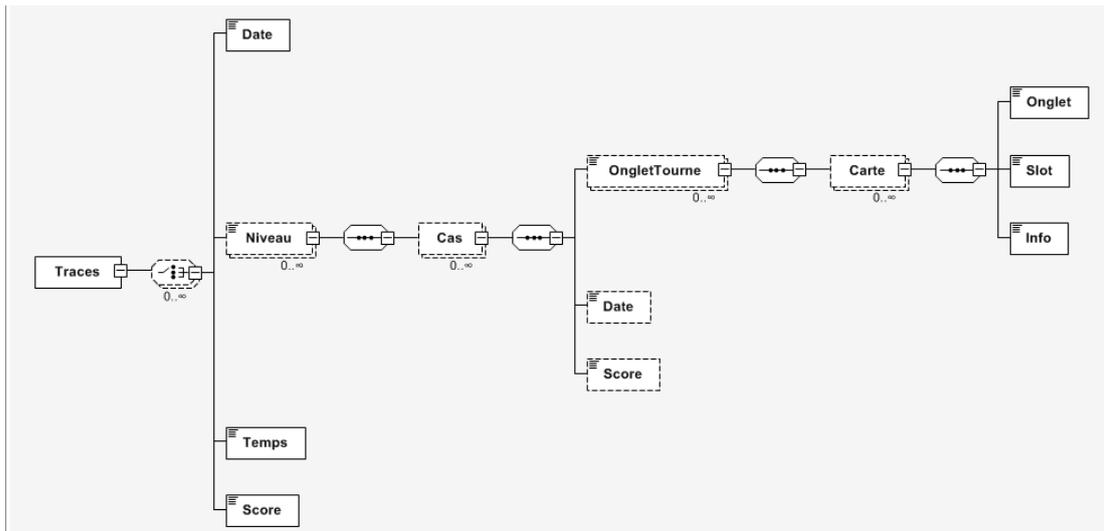


Figure 92 : La structure du fichier de traces dans Ludiville

Le modèle de traces tel que défini ci-dessus ne nous permet pas de déterminer précisément l'action du joueur et de la faire correspondre à une transition du modèle des actions. Aussi, nous avons procédé à une transformation des traces. Il s'agit d'associer une carte et un slot afin de les faire correspondre à une transition du modèle des actions. Si une telle correspondance n'existe pas alors l'action est considérée comme erronée. La Figure 93 présente la structure du fichier de transformation. Pour plus de lisibilité, nous avons ajouté le label de la carte, c'est-à-dire l'intitulé qui figure dessus.

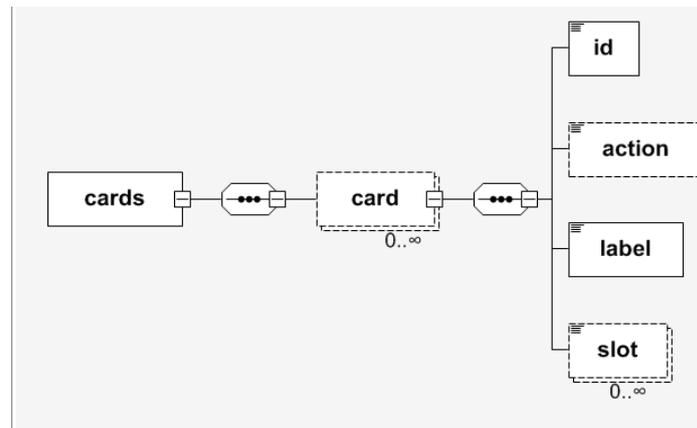


Figure 93 : Structure du fichier de transformation de traces

Pour résumer, les traces de Ludiville sont principalement constituées des éléments suivants :

- identification du cas ;
- date et heure de début ;

- temps de traitement ;
- score ;
- détail chronologique des actions de jeu classées par onglet (combinaison slot + carte).

2.5.7.2 Les indicateurs de performance

Le jeu à l'origine propose un certain nombre d'indicateurs. Nous rappelons que le joueur ne peut avancer dans la partie que s'il traite correctement le cas proposé. Il doit pour cela jouer toutes les cartes nécessaires et prendre la bonne décision finale.

À l'issue de chaque cas correctement traité, le joueur obtient son score ainsi qu'un nombre d'étoiles (1, 2 ou 3) qui définit le degré d'efficacité. Le nombre d'étoiles tient essentiellement compte du nombre d'erreurs commises par le joueur. Il gagne également des cartes qui lui seront utiles dans la suite du jeu (cf. Figure 94).



Figure 94 : Cartes gagnées à l'issue du cas Lemartine

Notre outil Laalys ajoute des indicateurs de compétences et sous-compétences pour :

- une tentative d'un cas ;
- toutes les tentatives d'un cas ;
- tous les cas d'un niveau.

À cela s'ajoute également le nombre d'actions :

- correctes ;
- tardives ;
- prématurées ;
- erronées ;
- manquantes ;
- redondantes.

Nous présentons également des indicateurs sur l'ensemble du jeu :

- une évaluation par cas sous forme de compétences et sous-compétence ;
- un nombre de tentatives par cas.

Des indicateurs de comparaison sont également fournis afin de situer l'apprenant par rapport à un groupe (une classe par exemple). L'apprenant peut consulter les compétences et sous-compétences globales de son groupe par niveau et par cas. Il peut également consulter le nombre moyen de tentatives pour chaque cas. Cela lui permet de se situer par rapport aux autres. Ces éléments sont également très utiles au concepteur de jeu. Un nombre de tentatives élevé sur cas traduit sûrement une incompréhension dans le cas. La Figure 95 présente le prototype de l'interface de bilan de Laalys avec les différents indicateurs proposés.

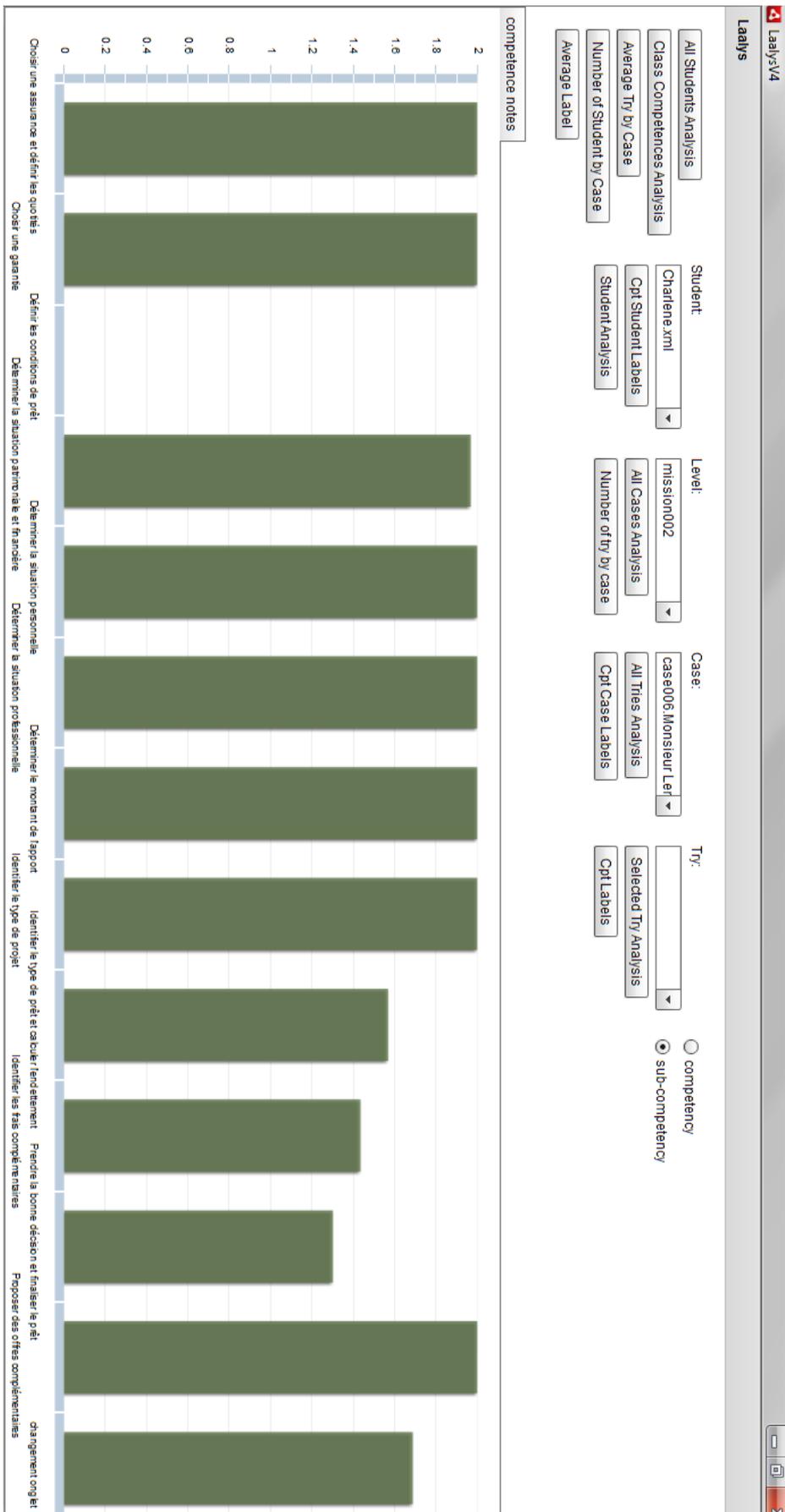


Figure 95 : Prototype de l'interface d'analyse de Laalys

2.5.7.3 L'algorithme de diagnostic

L'objectif de l'algorithme de diagnostic est de produire les indicateurs définis précédemment en interrogeant notamment le réseau de Petri et l'ontologie instanciés avec les paramètres du cas traité.

Pour Ludiville, l'algorithme qui permet de définir les indicateurs d'erreurs est quasiment celui présenté dans la partie générique du modèle de preuves. Nous avons ajouté des éléments en amont de l'analyse des actions juste après le chargement des traces pour les transformer en actions de jeu correspondantes dans le réseau de Petri. La Figure 96 met en évidence les étapes spécifiques à Ludiville qui ont été ajoutées.

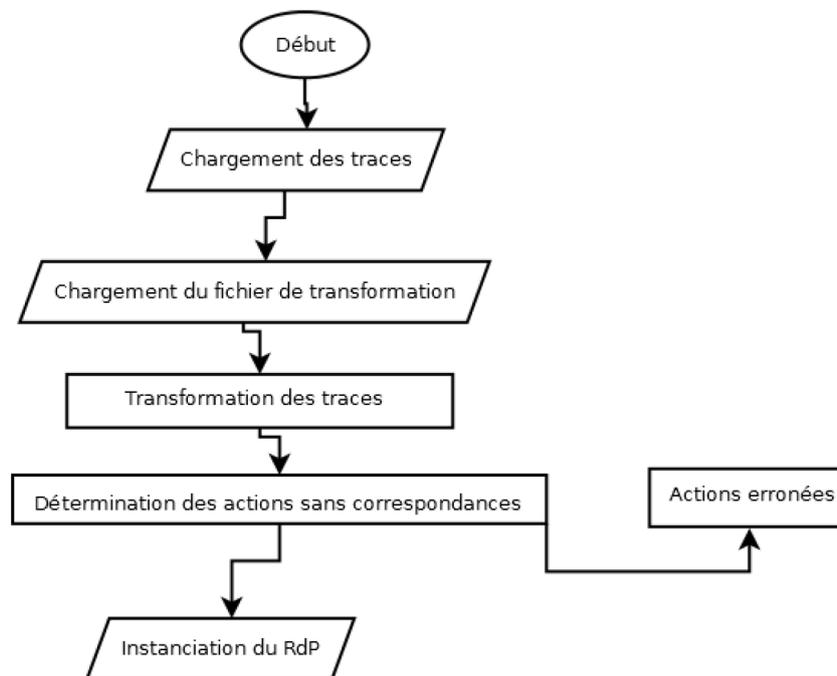


Figure 96 : Modification de l'algorithme de diagnostic

Le calcul des indicateurs liés au groupe se fait par agrégation des indicateurs individuels.

2.5.7.4 La remontée vers les compétences

Pour la remontée vers les compétences, nous appuyons notamment sur le fait que dans Ludiville, chaque action peut être rattachée à une sous-compétence, elle-même rattachée à une compétence. À l'issue de l'analyse, les actions sont classées selon leur labellisation. Ensuite, un score par compétence est calculé selon les pondérations définies dans la partie générique.

La Figure 97 présente l'analyse de toutes les tentatives de l'étudiante Charlène lors de toutes ses tentatives sur le cas Lemartine. Nous constatons qu'elle a parfaitement traité la partie Client du dossier. La Figure 98 présente quant à elle l'analyse en termes de sous-compétences. Nous constatons que la sous-compétence portant sur les conditions de prêt n'a pas été évaluée dans le cas Lemartine. Dans la mesure où Charlène a recommencé le cas à quatre reprises, la sous-compétence « prendre la bonne décision finale » bénéficie d'une note plus faible.

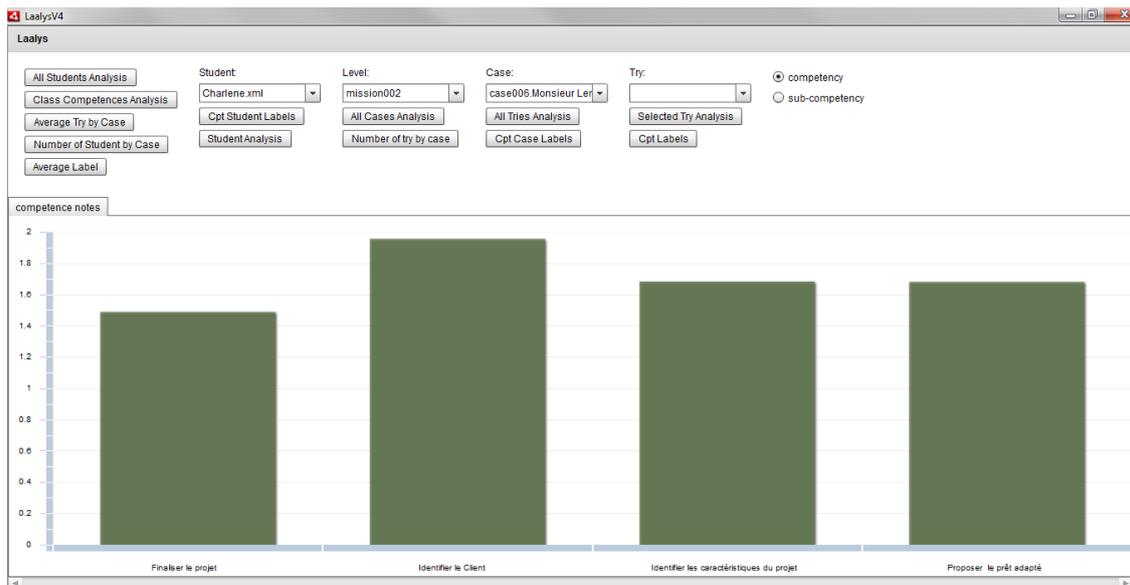


Figure 97 : Analyse des compétences de Charlène sur le cas Lemartine pour toutes les tentatives

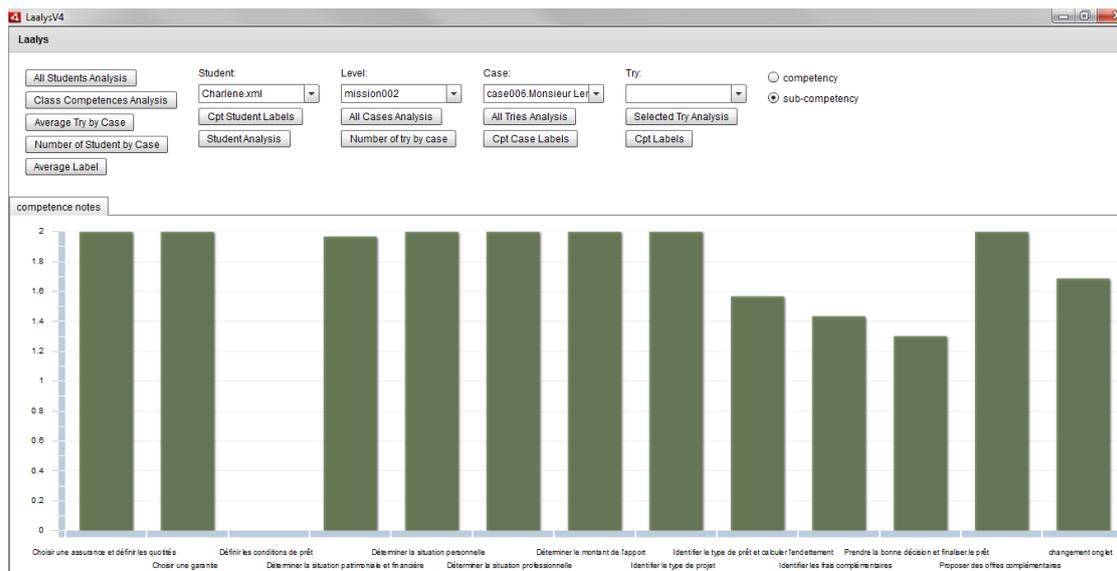


Figure 98 : Analyse des sous-compétences de Charlène sur le cas Lemartine pour toutes les tentatives

Chapitre 3. Architecture informatique et mise à l'épreuve de la démarche

3.1 Architecture informatique

Le module de suivi Laalys a vocation à s'intégrer dans Genome, le framework de conception de jeux sérieux développé par Bruno Capdevilla dans sa thèse (Capdevilla Ibañez, 2013).

Bruno Capdevilla est ingénieur en développement dans l'entreprise KTM Advance et sa thèse s'est déroulée dans le cadre d'un contrat CIFRE. Genome est actuellement utilisé par KTM Advance pour la conception de jeux sérieux. Dans la mesure où la majorité des jeux sérieux de cette entreprise sont développés en Flash Action Script, Genome a été également conçu dans ce langage.

Pour faciliter le suivi, Genome implémente notamment un outil de tracking qui permet de stocker certaines actions dans un fichier de traces. L'idée est d'indiquer dès la conception du jeu si l'on souhaite ou non tracer les actions liées à un objet du jeu. La Figure 99 présente le système de traces de Génome. Le concepteur indique au système s'il souhaite ou non tracer une action de jeu par l'intermédiaire de la propriété « Tracking ». Dans cet exemple, le jeu est intégré à une plateforme d'apprentissage, le système envoie donc les traces à la plateforme.

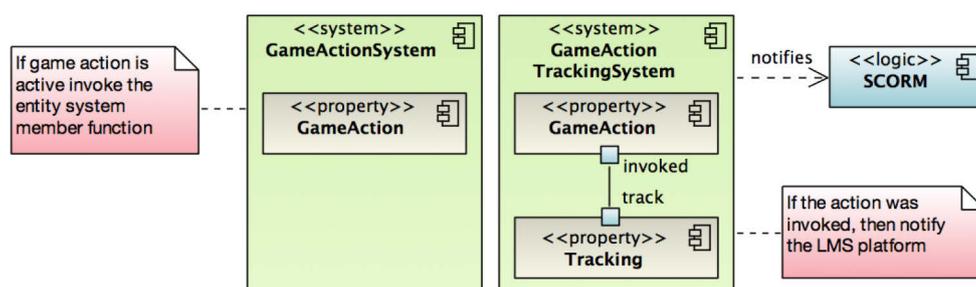


Figure 99 : Système de traces de Genome (Capdevilla Ibañez, 2013)

Laalys est un module complémentaire qui s'ajoute à Genome afin d'analyser des traces produites par l'apprenant. Dans la Figure 100, le module de traces peut être celui de Genome.

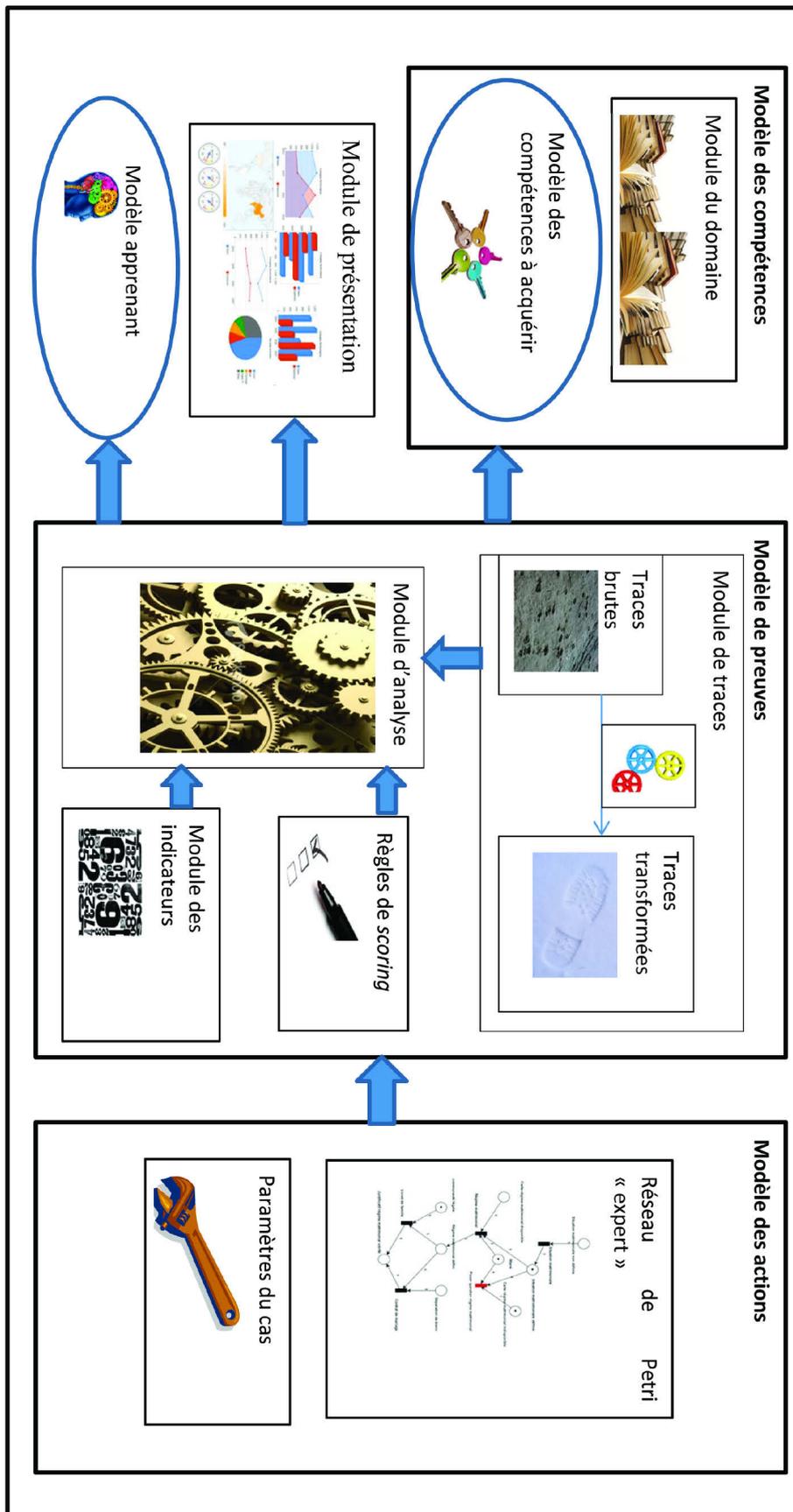


Figure 100 : L'architecture de Laalys

L'architecture de Laalys reprend celle du cadre conceptuel de l'*Evidence Centered Design*. Le diagnostic s'effectue de droite à gauche.

Le modèle des actions est constitué de l'ensemble des éléments permettant de caractériser la situation. Il s'agit du réseau de Petri expert et des paramètres d'initialisation du cas. Le modèle de preuves comprend quatre composants :

- le module de traces : il permet de transformer les traces brutes produites par le jeu en traces compréhensibles par le module d'analyse ;
- les indicateurs correspondent à une liste d'indicateurs que l'enseignante souhaite extraire lors de l'analyse. Selon les jeux, il n'est pas possible d'obtenir l'ensemble des indicateurs que nous avons présentés ;
- les règles de *scoring* permettent de valoriser les indicateurs pour la remontée vers les compétences ;
- le module d'analyse prend en entrée l'ensemble des éléments précédents afin de fournir à partir de l'algorithme de diagnostic la remontée vers le modèle de compétences.

Le modèle de compétences prend appui sur la modélisation du domaine et des compétences à acquérir. Il permet de construire le modèle de l'apprenant en fonction des résultats produits par le module de diagnostic.

Le module de présentation permet quant à lui de définir la représentation graphique que l'on souhaite afficher à l'apprenant et à l'enseignant.

3.2 Mise à l'épreuve de la démarche

3.2.1 Expérimentations de Laalys en classe de section de technicien supérieur

Afin de tester notre outil de suivi Laalys, nous avons mené deux expérimentations en classe de section de technicien supérieur au lycée Maximilien Sorre de Cachan avec Ludiville.

Les étudiants suivent une formation de brevet de technicien supérieur spécialité « Banque, conseiller de clientèle (particuliers) ». Ils sont en première année de formation. L'enseignant souhaite utiliser Ludiville afin de situer les connaissances des étudiants avant de démarrer le cours théorique.

Cette expérimentation répond à trois objectifs :

- collecter des traces d'apprenants ;
- collecter des données liées aux connaissances du domaine à l'aide d'un questionnaire ;
- obtenir un retour des enseignants sur les indicateurs de suivi de l'apprenant que nous avons définis.

Après une présentation du jeu et de son interface, les étudiants ont joué sur Ludiville en autonomie pendant environ 2 heures. Ils ont traité l'ensemble des cas du premier niveau et quelques cas du second niveau. Les traces ont été collectées et stockées en temps réel.

À l'issue de l'étape de jeu, les étudiants ont été soumis à un questionnaire d'évaluation sur les connaissances présentées dans le jeu. Ainsi, on demandait à l'apprenant de citer trois opérations à effectuer pour vérifier la situation personnelle du client afin de vérifier si la compétence « vérification de la situation personnelle » était acquise. L'ensemble des questions posées est présenté à l'annexe 5.8. L'objectif est ensuite de comparer les résultats de ce questionnaire avec ceux fournis par Laalys.

Nous présentons à la Figure 101 un extrait du bilan produit par Laalys sur les compétences des apprenants à l'issue de l'ensemble des cas du niveau 1. Les résultats ont été pondérés de manière à obtenir une note sur 2.

Figure 101 : Extrait du bilan par compétences produit par Laalys

Pour analyser les questionnaires, nous avons relié les questions aux compétences qu'elles testaient. Nous avons ensuite encodé les réponses de la façon suivante :

- réponse bonne : 2 pts ;
- réponse approximative : 1 pt ;
- absence de réponse : 0 ;
- réponse erronée : - 1.

Une moyenne pondérée sur 2 pts a également été calculée par compétences. La Figure 102 présente les résultats du questionnaire. On constate que, globalement, les parties client et finalisation sont plutôt bien maîtrisées par les apprenants au niveau des questionnaires.

Nous avons ensuite comparé les deux scores. La Figure 103 présente les résultats de cette comparaison. Afin d'étayer notre analyse, nous avons effectué un test de rangs signés de

Wilcoxon. Il permet notamment de comparer des valeurs sur des échantillons appariés. Il est recommandé pour comparer deux types de traitements par exemple³⁷.

Le résultat donne une valeur de 0,45 avec une p-valeur de 0,39. Ce qui est encourageant.

³⁷ <http://www.cons-dev.org/elearning/stat/St4.html>

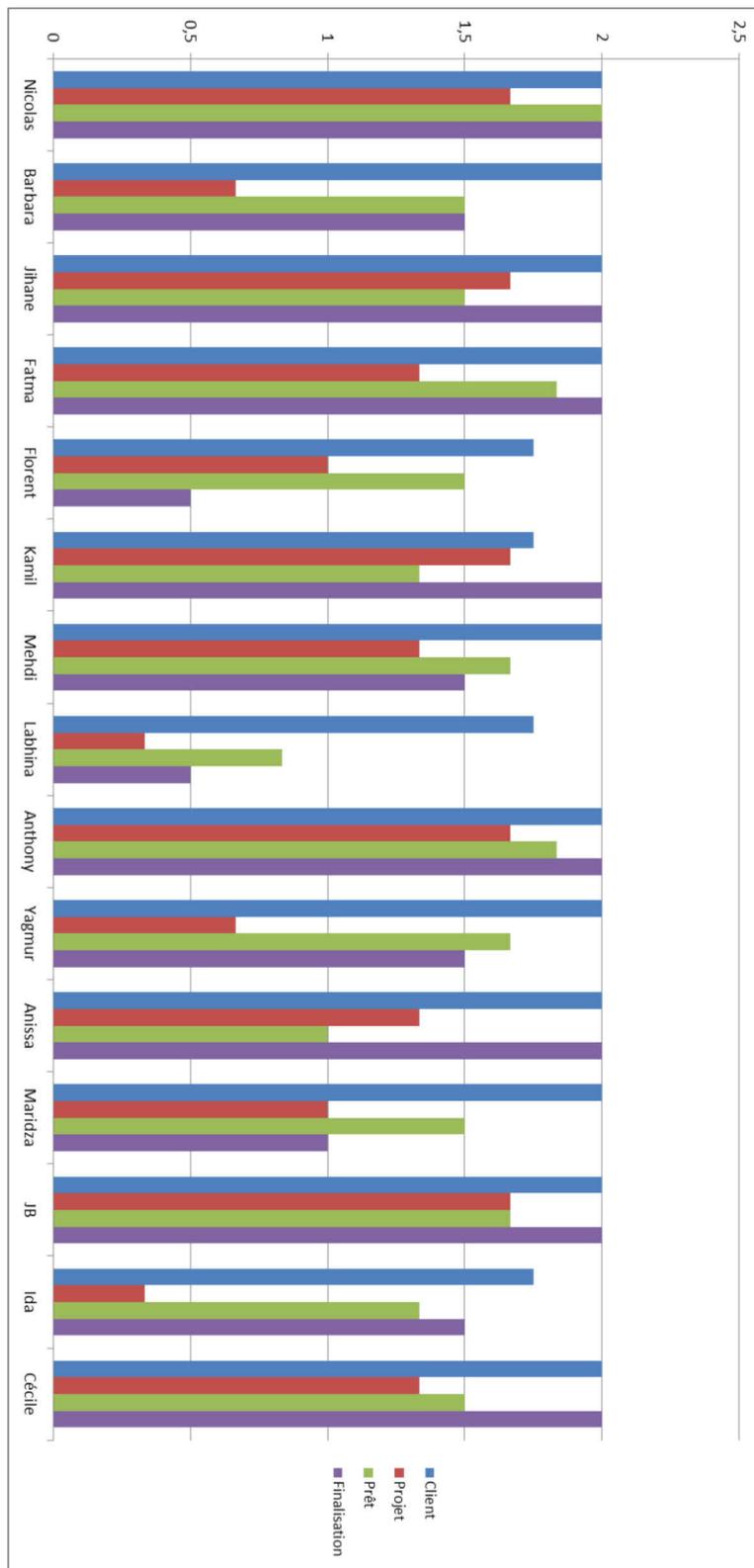


Figure 102 : Extrait du bilan par compétences du questionnaire d'évaluation

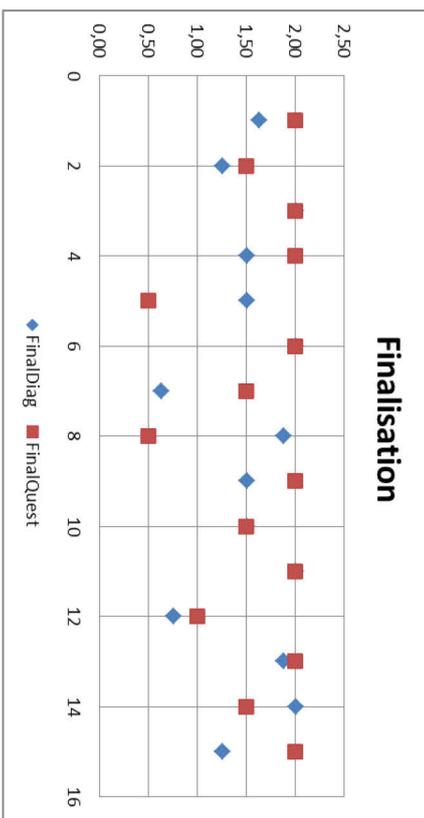
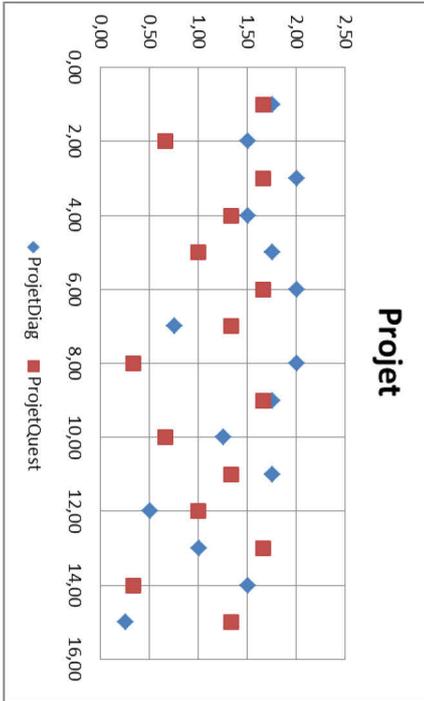
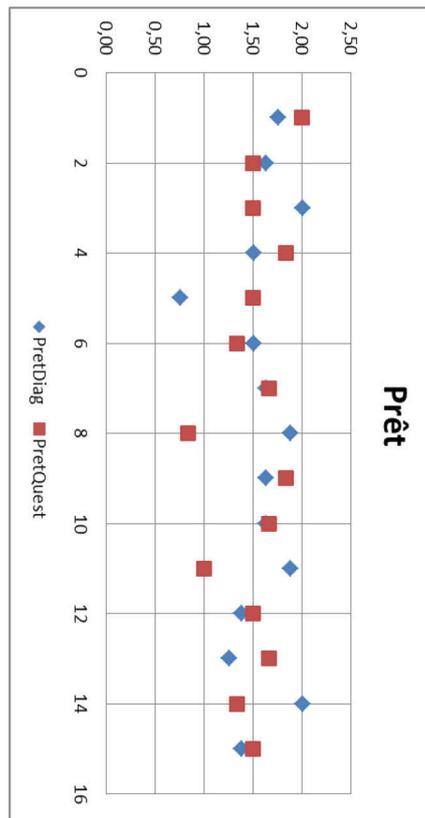
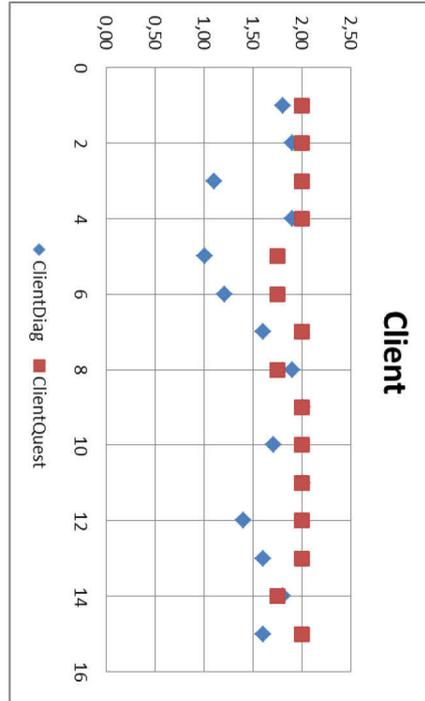


Figure 103 : Comparaison des résultats de Laalys et du questionnaire

3.2.2 Transposition à un autre jeu de type « étude de cas » : *Play And Cure*

Afin de mettre à l'épreuve notre méthodologie et notre outil de diagnostic, nous l'avons appliqué dans le cadre du projet *Play And Cure*.

3.2.2.1 Le projet *Play And Cure*

Il s'agit d'un projet financé par le secrétariat d'État à l'économie numérique lors de l'appel à projet *serious game* de 2009. L'objectif du jeu est de permettre aux étudiants en médecine de s'entraîner au diagnostic différentiel. L'idée étant de compléter les séances d'apprentissage par problème (APP) et d'apprentissage du raisonnement clinique (ARC) dispensés dans les facultés de médecine. Ce projet a été porté par plusieurs partenaires :

- IBC Integrative Biocomputing : entreprise spécialisée dans la modélisation d'objet 3D en biologie ;
- la faculté de médecine de Rennes ;
- Game consulting : entreprise dans les jeux sérieux et la réalisation de contenus interactifs ;
- Telecom SudParis pour son expertise sur les moteurs de présentations multimédia ;
- l'équipe MOCAH de l'UPMC à laquelle nous appartenons pour son expérience en matière de suivi de l'apprenant.

D'un point de vue pédagogique, *Play And Cure* vise à former les étudiants à l'analyse différentielle et la détection de pathologies dans le domaine du diagnostic de l'œdème. C'est un jeu de type « étude de cas ». L'apprenant adopte le rôle d'un médecin se trouvant confronté à un patient souffrant de différents symptômes. L'étudiant doit mener les différentes étapes de résolution d'un cas. Il doit expliciter son raisonnement en excluant certaines pathologies et en confirmant d'autres. Chaque cas vise à traiter des pathologies différentes telles que la thrombose veineuse, l'embolie pulmonaire ou l'insuffisance veineuse. Dans l'étape de prototypage à laquelle nous avons participé, les suspicions se limitent à sept pathologies. Il s'agit donc d'identifier celle qui correspond au patient en éliminant les autres à partir des informations collectées.

L'environnement de jeu se situe dans le cabinet. Le joueur se trouve en face du patient et peut lui poser des questions et l'ausculter. Il peut également demander des examens complémentaires et récupérer les résultats afin de les interpréter. À l'issue du jeu, l'apprenant bénéficie d'un bilan avec un *scoring* inversé sous forme de pénalités qui permet d'insister sur les erreurs (plus l'apprenant a de points plus il a fait d'erreurs).

Le jeu se décompose en plusieurs étapes successives rythmées par des évaluations intermédiaires :

- l'observation : elle permet à l'apprenant d'ausculter le patient, de porter son attention sur certaines zones en cliquant dessus ;
- QCM : en fonction des informations transmises par le système, le joueur peut être amené à répondre à un QCM ;
- premières inférences sur des suspicions de pathologies ;
- observations supplémentaires ;
- inférences ;
- fin des observations et bilan intermédiaire ;
- examens complémentaires ;
- validation du diagnostic.

Nous retrouvons ici les grandes étapes d'une étude de cas que nous avons définies précédemment.

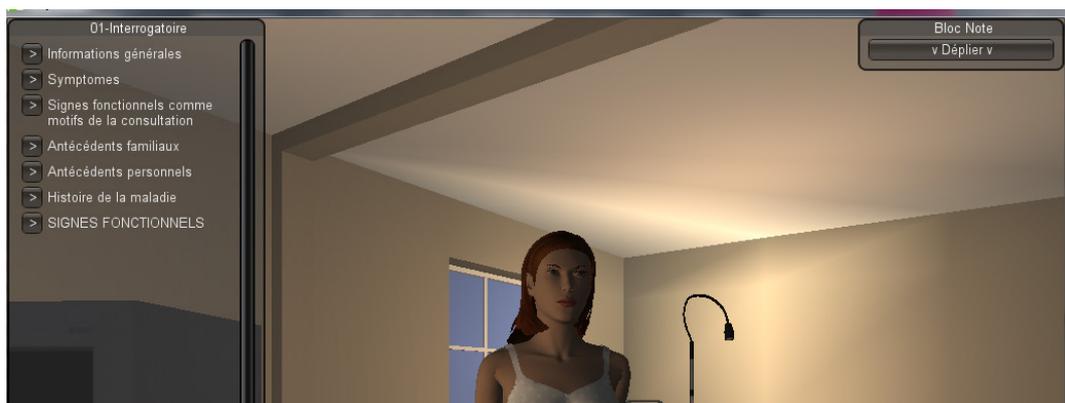


Figure 104 : L'interface de jeu de *Play And Cure*

La validation du diagnostic conduit à l’affichage du bilan pour le joueur. L’enseignant dispose d’une autre interface pour collecter les traces de l’apprenant et les analyser avec Laalys.

3.2.2.2 L’architecture du système du diagnostic

Contrairement à Ludiville, le diagnostic effectué par Laalys est en temps réel. Il est directement intégré dans le jeu. Le jeu a été développé sous Unity 3D et Laalys en Actionscript, un protocole de communication à base de sockets a été mis en place pour permettre l’échange de données entre les deux outils (les développements liés à ce projet ont été menés en collaboration avec Mathieu Muratet de l’équipe MOCAH). En effet, Laalys a besoin des données liées au cas traité et des traces de l’apprenant. Ensuite, Laalys envoie au jeu les résultats du diagnostic ainsi que les indicateurs d’évaluation afin de les présenter directement à l’apprenant dans le jeu. L’enseignant, quant à lui, se connecte directement sur Laalys afin de consulter le bilan de l’étudiant.

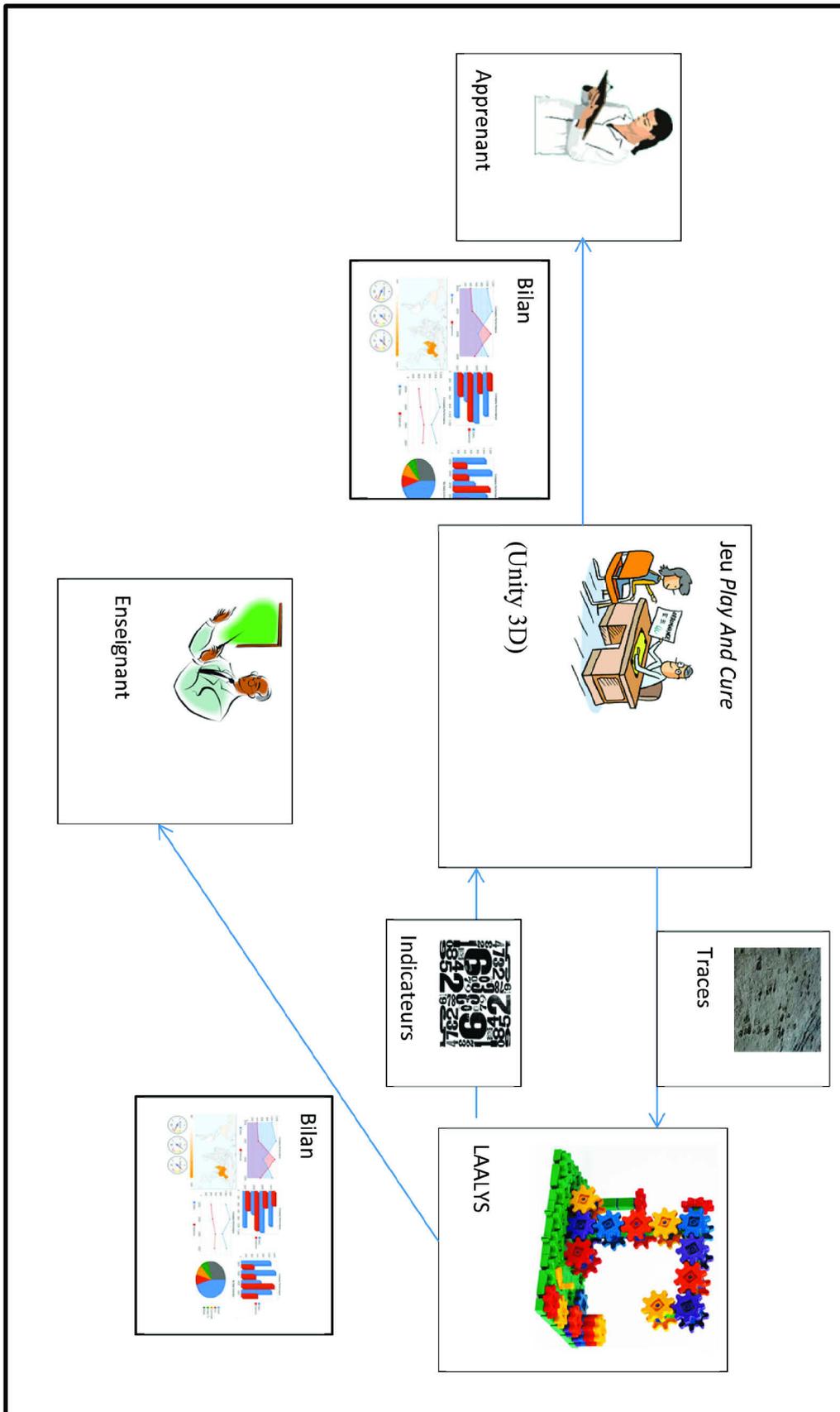


Figure 105 : L'architecture du diagnostic dans *Play And Cure*

Nous détaillons par la suite les différents composants de Laalys tels qu'ils ont été adaptés pour *Play And Cure*. Face aux contraintes de temps liées au projet, la remontée vers les compétences n'a pu être implémentée. Le système produit donc un modèle de l'apprenant uniquement constitué d'indicateurs. Nous avons néanmoins construit un modèle du domaine et des compétences. Ce travail a été réalisé en collaboration avec la faculté de médecine de Rennes. En particulier, un travail d'ingénierie des connaissances a été mené par Amel Yessad (de l'équipe MOCAH) et Ilana Doukhan (interne en médecine) dans le cadre de son mémoire de fin d'études.

3.2.2.3 Le modèle des actions

Le modèle des actions permet de définir les paramètres d'initialisation d'un cas et les règles métier liées au domaine étudié.

Les paramètres d'initialisation sont les données de base du patient. Voici un extrait des éléments descriptif de la situation (*cf.* l'annexe 5.7 pour l'ensemble des informations) :

- Caractéristiques de la situation :
 - Nom du cas : Nadine Rousseau
 - Niveau : 1
 - Niveau de difficulté : début
- Paramètres d'initialisation
 - Caractéristiques fournies :
 - Age : 62 ans
 - Sexe : féminin
 - Motif de la consultation : Œdèmes des membres inférieurs
 - Caractéristiques à découvrir :
 - Œdème inspection :
 - blanc
 - dermite ocre
 - télangiectasies
 - varicosités

- Palpation
 - Consistance molle
 - Indolore
- Disponibilité des actions (dans ce jeu toutes les actions sont disponibles dès le début)
 - Inspection
 - Palpation de l'œdème
 - Percussion de l'abdomen
 - Auscultation du cœur

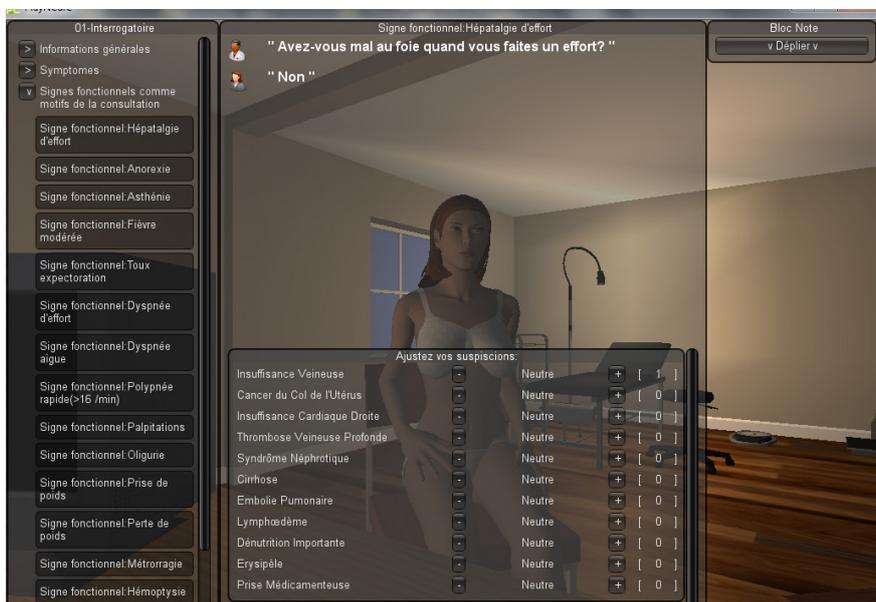


Figure 106 : Les actions disponibles dans *Play And Cure*

Au fil de son interrogatoire, l'apprenant doit identifier l'existence de pathologies veineuses chez les parents, une chirurgie antérieure des varices (il y a 10 ans), etc. Pour cela, il clique sur les boutons de gauche sur l'interface présentée Figure 106.

Pour la construction du réseau de Petri, des adaptations ont été nécessaires afin de tenir compte de l'imbrication des QCM dans le jeu. Il était également nécessaire de modéliser les étapes intermédiaires d'inférence et le diagnostic final. La collaboration avec Ilana Doukhan (interne en médecine) a permis de définir la pondération des suspicions pour chaque couple observation/pathologie. Nous nous sommes basés sur les résultats de ce travail pour construire le réseau de Petri « expert ». La Figure 107 présente une version générique d'un réseau non initialisé. Le système construit un sous-réseau pour chaque étape de résolution. Le

haut du schéma contient cinq places et transition, il s'agit d'une contrainte liée au jeu : les QCM ont au maximum cinq réponses. Les places et transitions de gauche et en dessous représentent les pathologies suspectées et la possibilité pour le joueur de les confirmer ou infirmer en fonction des observations :

- IV : insuffisance veineuse ;
- CCC : cancer du col de l'utérus ;
- ICD : insuffisance cœur droit ;
- TVP : thrombose veineuse profonde ;
- SN : syndrome néphrotique ;
- C : cirrhose ;
- EP : embolie pulmonaire.

Les éléments à la droite du schéma correspondent aux hypothèses intermédiaires de diagnostic avec également la possibilité de les infirmer ou confirmer en fonction des informations collectées :

- DI : dénutrition importante ;
- PM : prise médicamenteuse ;
- E : érysipèle ;
- L : lymphœdème.

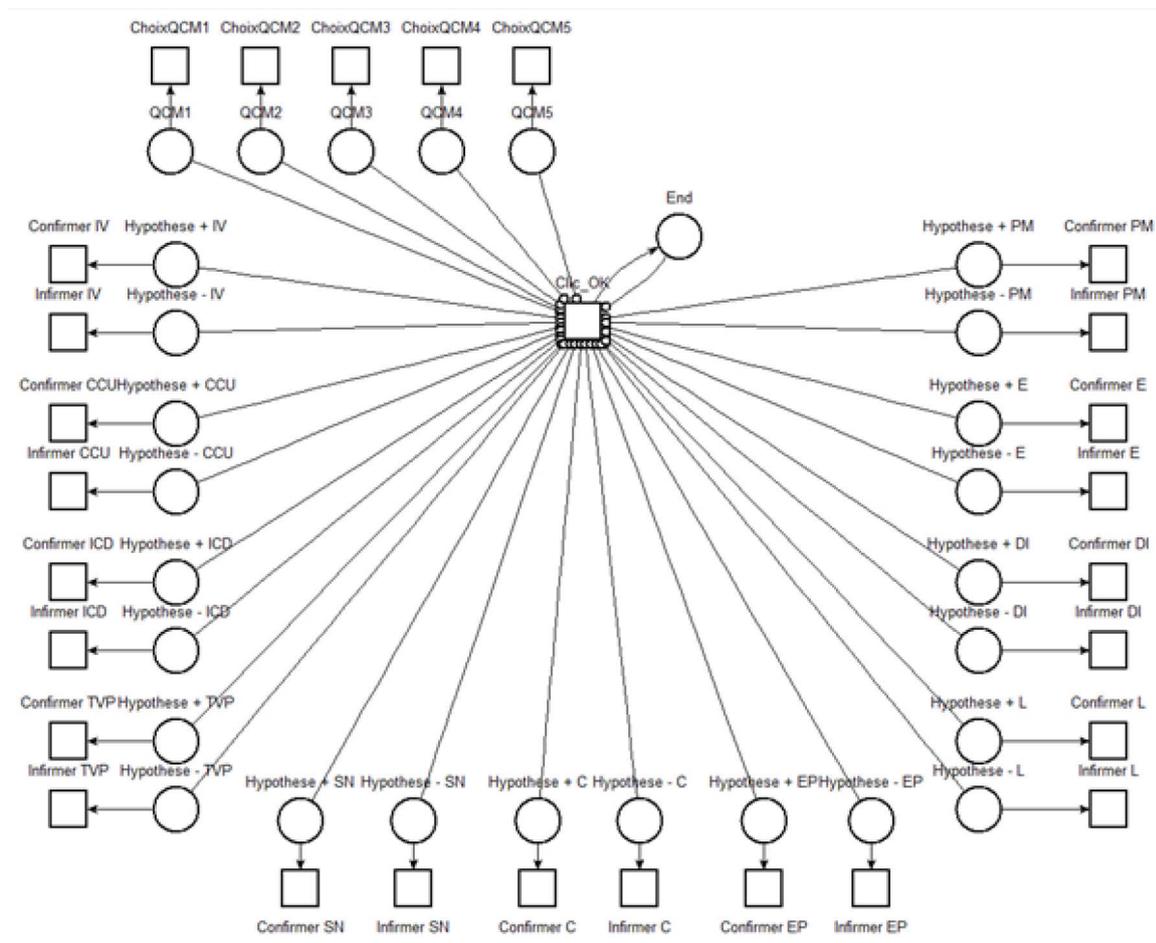


Figure 107 : Extrait du réseau de Petri expert

Tout au long du jeu et en fonction de la progression du joueur, certaines actions sont recommandées par l'expert et d'autres pas.

Pour un QCM, cinq réponses au maximum peuvent être proposées. Chaque place « QCM i » représente un choix possible, chaque transition « ChoixQCM i » représente l'action de choisir la réponse « i ». Lors de l'initialisation du RdP, le nombre de jetons dans ces places est soit 0 soit 1 ce qui indique si la réponse « i » doit être choisie ou non.

Face à une observation, le joueur doit déterminer si celle-ci permet de confirmer ou d'infirmer une pathologie particulière. Ainsi, pour chaque pathologie « X », deux inférences peuvent être faites : « Confirmer X » ou « Infirmer X ». Les places « Hypothese + X » et « Hypothese - X » représentent les hypothèses intrinsèques à l'observation courante. Le nombre de jetons dans ces places fait référence à la force de la confirmation ou de l'infirmer à apporter. Par exemple, si la place « Hypothese + SN » contient deux jetons et que la place « Hypothese + C » contient un seul jeton alors la confirmation pour

la pathologie SN sera plus forte que pour la pathologie C car le joueur doit déclencher deux fois la transition « Confirmer SN » contre une seule fois pour la transition « Confirmer C » pour vider les deux places de leurs jetons.

Le marquage d'initialisation du RdP expert définit explicitement les inférences à déduire compte tenu d'une observation clinique particulière. Sur la Figure 108, les actions en rouge sont celles qui sont recommandées par l'expert lorsque l'inspection donne pour résultat un œdème de couleur blanche. Afin de valider l'inspection, l'apprenant doit répondre à un QCM lié à ce qu'il vient d'observer. Le RdP expert nous indique que la première réponse est la bonne. Au niveau des inférences, le joueur doit augmenter faiblement sa suspicion pour une insuffisance veineuse, un cancer du col de l'utérus, une insuffisance cardiaque droite, un syndrome néphrotique, une cirrhose et un lymphœdème. Il doit aussi réduire sa suspicion d'une thrombose veineuse profonde.

Pour construire ce RdP, deux types d'arc sont utilisés :

- les arcs réguliers (*ex.* : entre « QCM1 » et « ChoixQCM1 ») rendent la transition en sortie active si la place en entrée possède un nombre de jeton supérieur ou égal au poids de l'arc. Lorsque la transition est déclenchée, un nombre de jeton égal au poids de l'arc est consommé ;
- les arcs inhibiteurs (*ex.* : entre « QCM1 » et « Clic_OK ») rendent la transition en sortie active si la place en entrée possède un nombre de jeton strictement inférieur au poids de l'arc. Lorsque la transition est déclenchée, aucun jeton de la place en entrée n'est consommé.

L'utilisation des arcs inhibiteurs permet de verrouiller la transition « Clic_OK » (c'est-à-dire valider l'observation en cours) tant que tous les jetons des places en entrée n'ont pas été consommés par les transitions capables de le faire. À noter que, lorsque la transition « Clic_OK » est déclenchée, elle ajoute un jeton dans la place « End » ce qui a pour résultat de rendre la transition « Clic_OK » à nouveau inactive grâce à son arc inhibiteur.

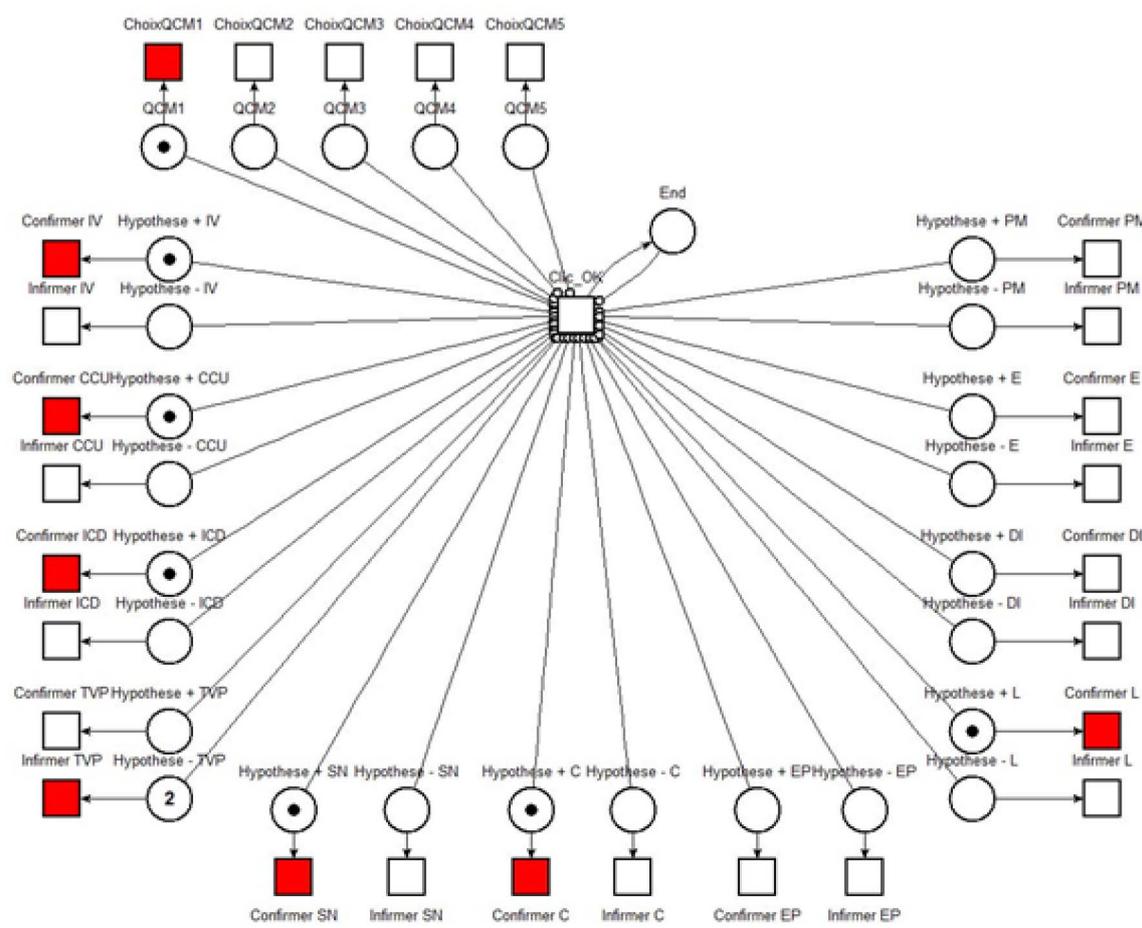


Figure 108 : Exemple de RdP initialisé

3.2.2.4 Le modèle de compétences

Le modèle de compétences doit répondre aux objectifs suivants :

- aider à la labellisation des erreurs en donnant une sémantique aux actions présentes dans le réseau de Petri en produisant un modèle du domaine ;
- permettre de construire un débriefing pertinent ;
- permettre la remontée vers les compétences de l'apprenant.

Nous reprenons les éléments de notre modèle général de compétences et montrons comment l'appliquer à *Play And Cure*.

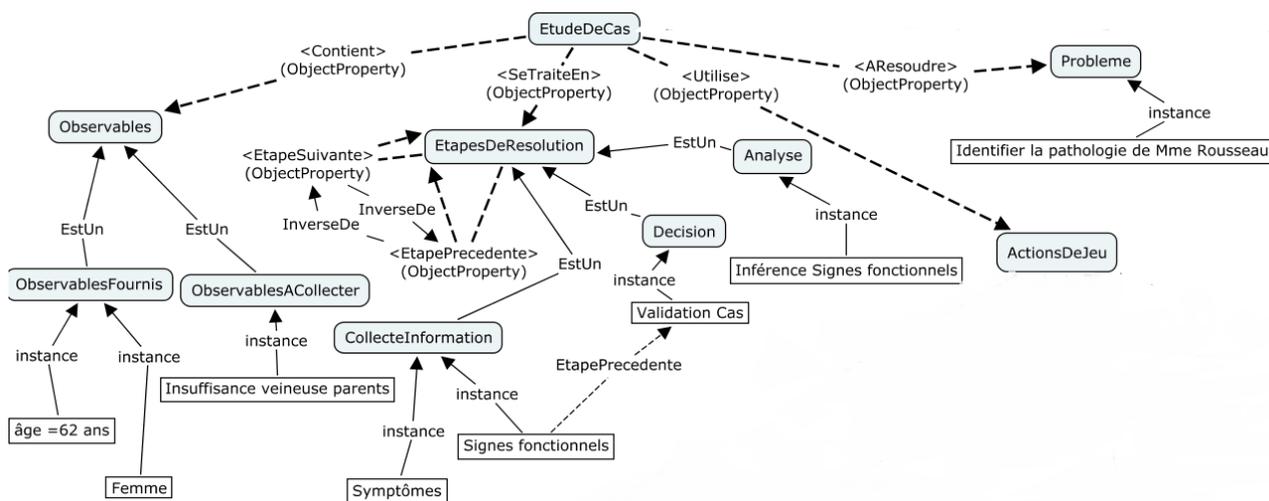


Figure 109 : Extrait de l'ontologie, partie « étude de cas » instanciée pour le cas Rousseau

La Figure 109 présente une version instanciée pour *Play And Cure* de notre ontologie générale de l'étude de cas. Il n'y a aucune adaptation nécessaire par rapport à Ludiville. Une étape supplémentaire est présente : l'analyse. Il s'agit des inférences faites par le joueur après chaque information collectée.

En ce qui concerne la partie de l'ontologie liée au domaine, nous avons procédé de la même façon qu'avec Ludiville. Nous avons commencé par construire une carte conceptuelle décrivant l'ensemble des éléments de contexte liés au diagnostic du patient (*cf.* Figure 110). Ainsi, nous retrouvons les caractéristiques qui deviennent les places du RdP « expert », les différentes étapes du jeu (l'interrogatoire, l'inspection, le diagnostic, le traitement, etc).

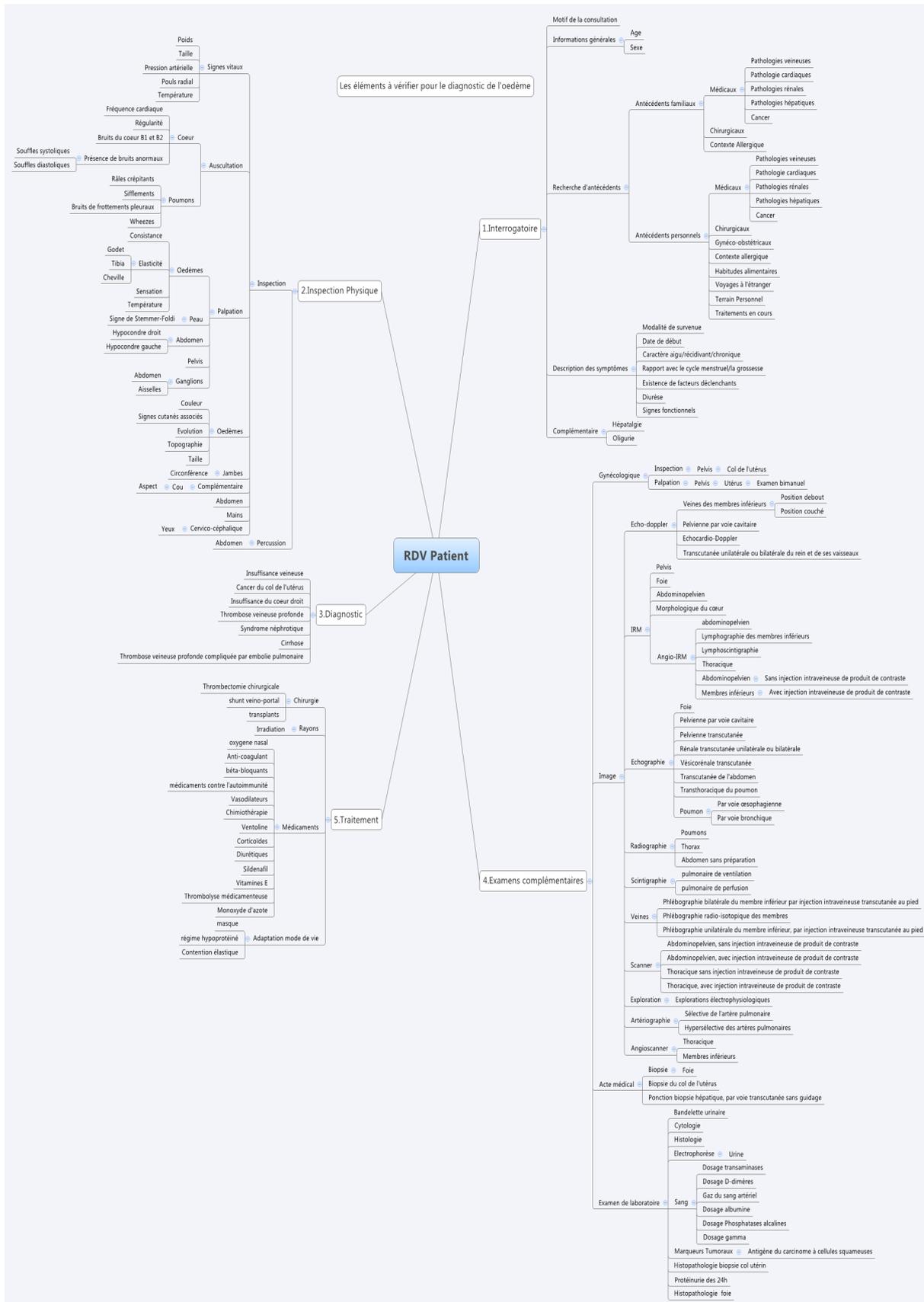


Figure 110 : Éléments caractérisant le diagnostic d'un patient

Nous allons nous concentrer plus particulièrement sur les actions métier et la manière dont nous pouvons les relier aux compétences. Le travail avec les médecins, nous a conduits à distinguer les compétences liées à l'analyse (c'est-à-dire lors des étapes d'inférence), aux quiz, aux examens complémentaires et au diagnostic final. Il s'agit d'informer l'apprenant sur la justesse de ses inférences lors de chacune des phases du jeu. Ainsi, à la Figure 111, on voit que lors de la palpation des jambes, l'apprenant peut inférer une pathologie veineuse. Donc, on peut inférer à partir des résultats du jeu que sa compétence en termes de palpation des jambes est bonne s'il a inféré dans le sens défini précédemment lors du recueil d'expertise.

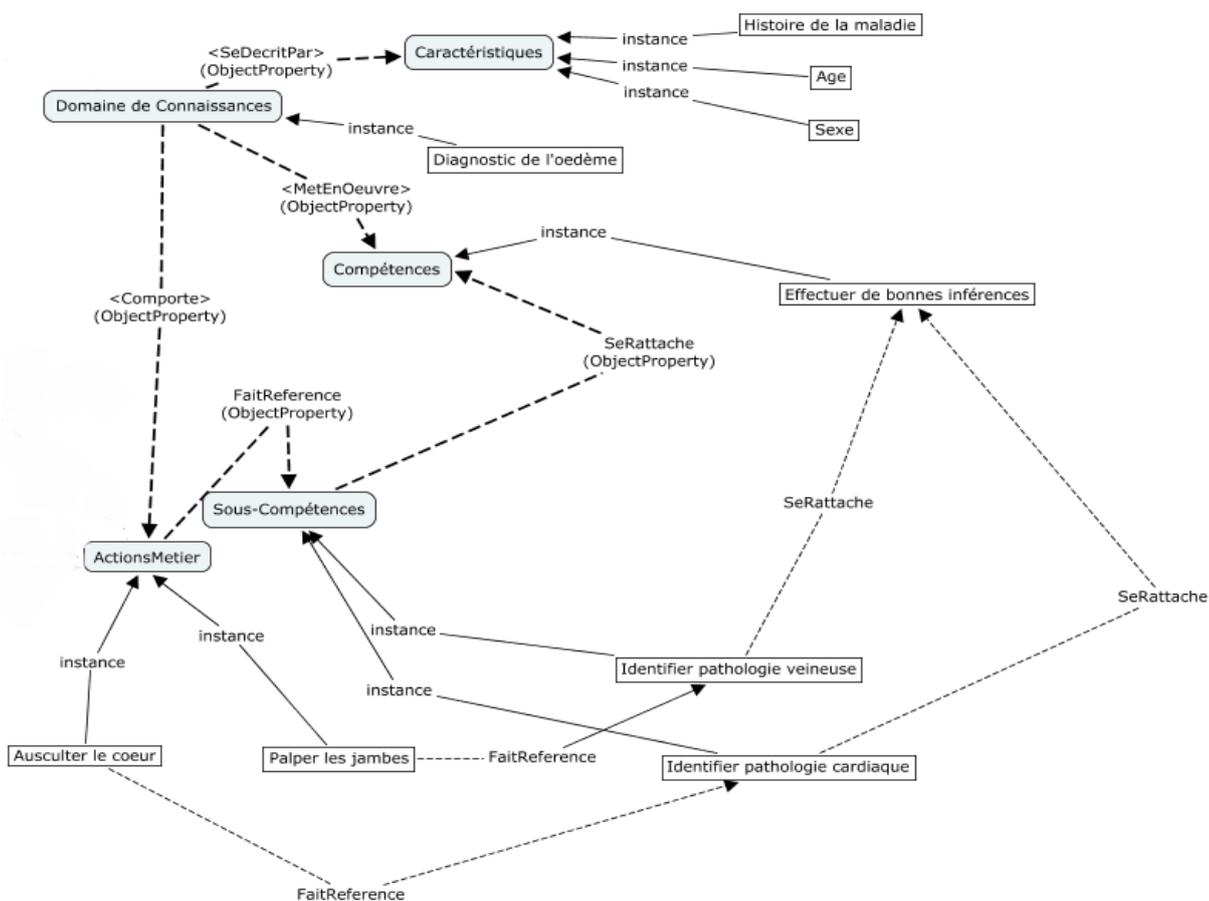


Figure 111 : Les instances du modèle de compétences pour le cas Rousseau

Lors de la phase de conception du jeu, une réflexion importante a été menée sur l'analyse des actions métiers et plus particulièrement les relations que l'on pouvait établir entre elles. De nouvelles relations (telles que inférences erronées, examen invasif non prioritaire, ...) semblent pertinentes suite au contexte spécifique de *Play And Cure*. Cet aspect n'a pas été implémenté dans le jeu faute de temps.

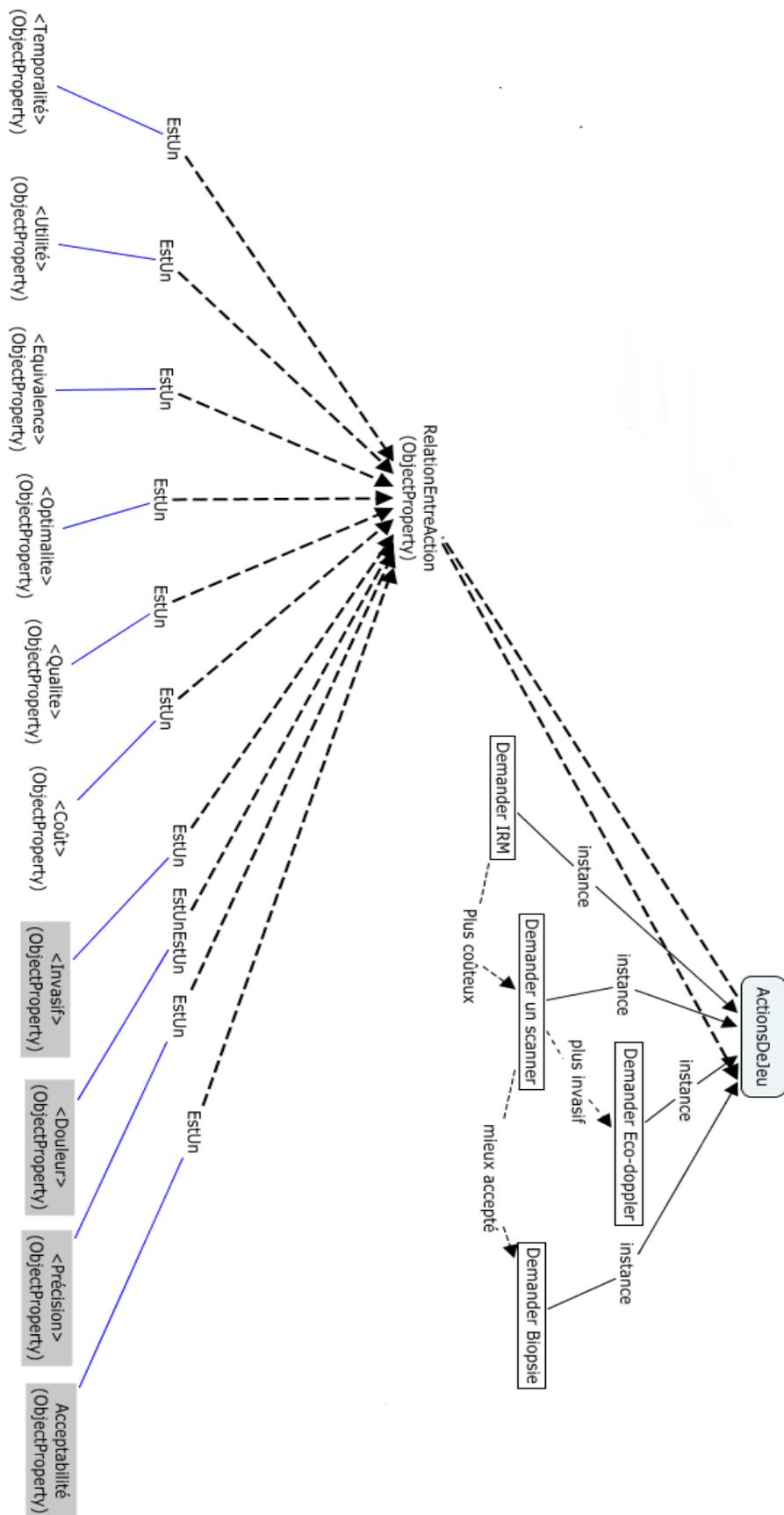


Figure 112 : Les nouvelles relations entre actions

La Figure 112 présente sur fond gris les relations qui ont été ajoutées au modèle général. Ainsi, le côté invasif d'un examen est mis en évidence. Si un apprenant utilise un examen plus invasif qu'un autre, on pourrait le lui montrer lors du débriefing et même en tenir compte lors du calcul de scores. Dans notre modélisation, nous avons choisi aussi de prendre en compte l'acceptabilité et la douleur liée aux différents examens. Ainsi, un scanner est en général mieux accepté par le patient que la biopsie.

3.2.2.5 Le modèle de preuves

Le modèle de preuves a pour objectif de faire le lien entre le modèle de compétences et le modèle d'actions. Il prend en entrée les actions joueur et produit un diagnostic sur les compétences.

Nous reprenons les composants du modèle de preuves de Laalys et indiquons les adaptations effectuées :

- modèle de traces pour les études de cas ;
- taxonomie d'indicateurs de performance ;
- algorithme permettant de définir les indicateurs ;
- règles de *scoring* pour remonter aux compétences.

Comme nous l'avons précisé lors de la présentation du projet, un fichier de trace est conservé pour alimenter la présentation du diagnostic à l'enseignant. Nous présentons sa structure à la Figure 113. L'élément niveau n'existe pas dans le prototype. Les actions ne sont pas détaillées, ce qui compte ce sont les résultats aux quiz et les inférences lors de chaque phase, les examens complémentaires demandés, le diagnostic final et la valeur des pénalités attribuées à l'apprenant.

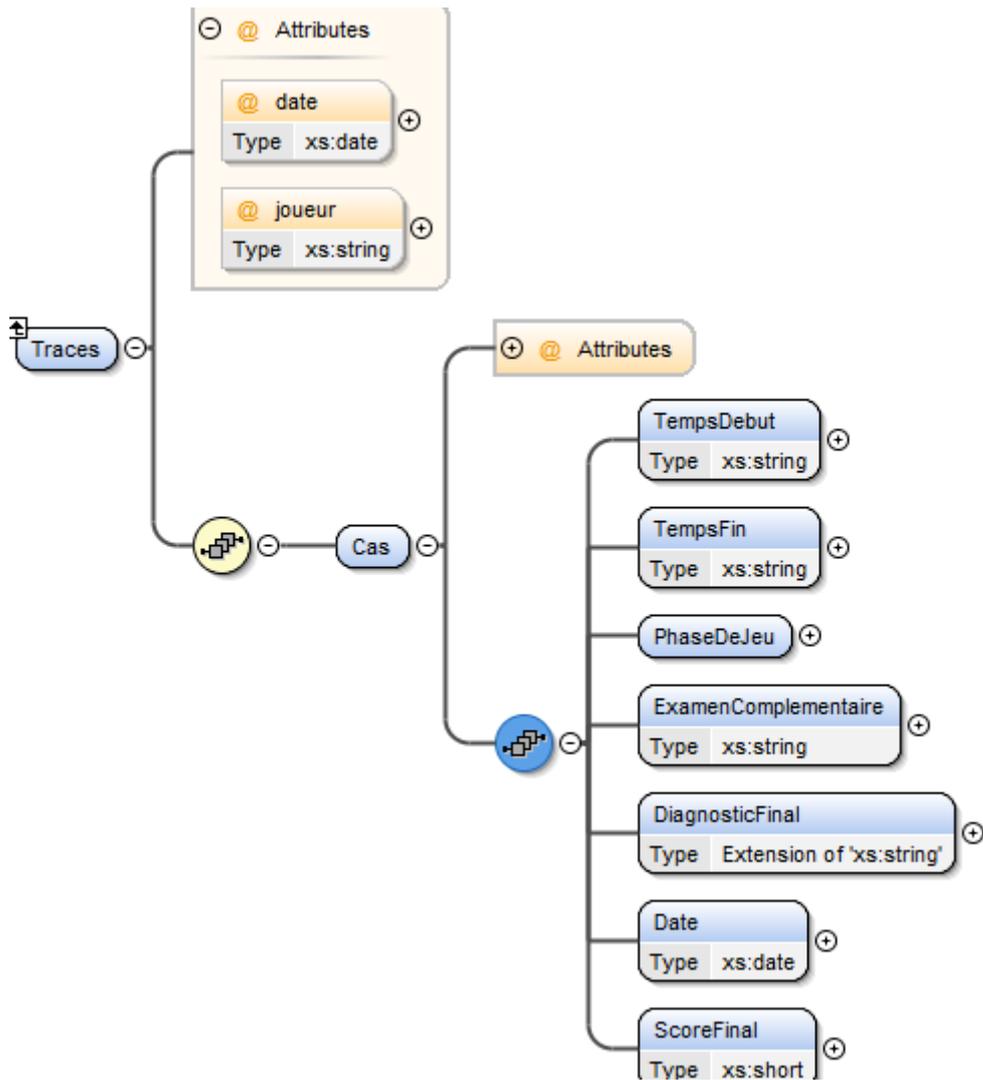


Figure 113 : Structure du fichier de traces

Le traitement des quiz s'effectue comme indiqué à la Figure 114. Chaque QCM est représenté et les choix de l'apprenant sont enregistrés pour chacun afin de permettre la construction du réseau de Petri. Les inférences sont gérées de la même façon mais il convient de sauvegarder les inférences qui confirment et celles qui infirment. Le système sauvegarde ces valeurs avant et après la phase afin d'identifier les modifications effectuées par le joueur.

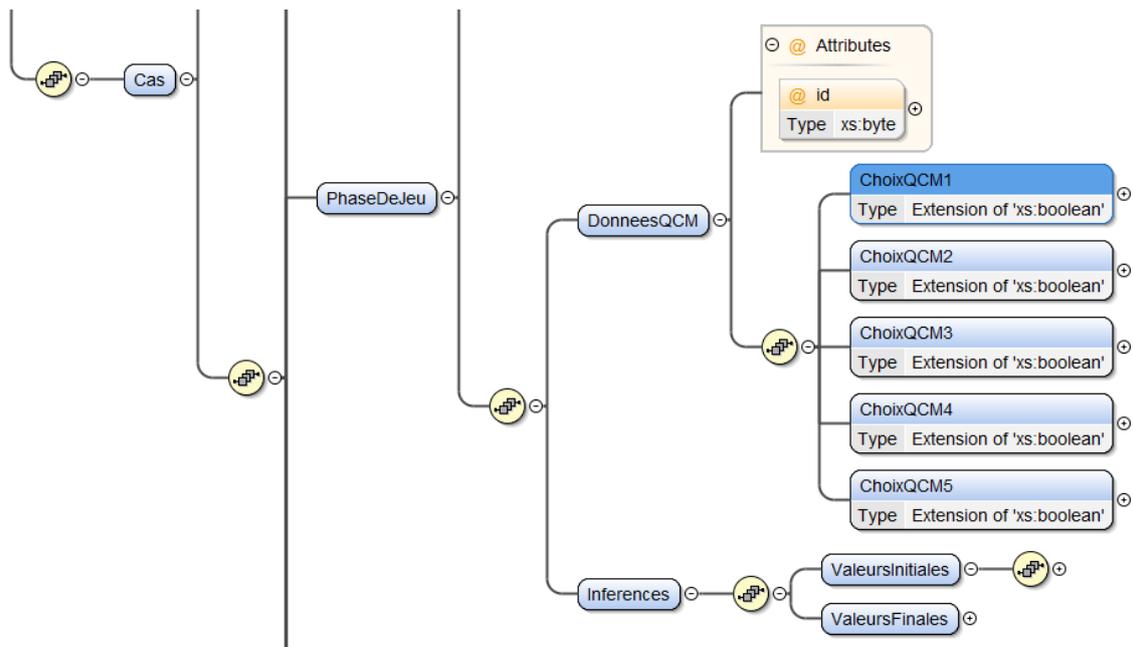


Figure 114 : Prise en compte des quiz et inférences

Au niveau des indicateurs de performance, le *gameplay* et les actions disponibles nous permettent de définir les labellisations suivantes :

- action correcte : elle correspond à celle de l’expert, il s’agit d’une bonne réponse au QCM ou du bon degré d’inférence sur une pathologie ;
- action sous optimale : elle correspond au cas où l’apprenant agit sur la bonne pathologie, dans la bonne direction (positive ou négative) mais que le degré n’est pas suffisant (*ex.* : le joueur estime que la palpation de l’œdème lui permet d’inférer d’une insuffisance veineuse à +1 alors que l’expert indique + 2) ;
- action manquante : elle correspond à une inférence de l’experte non réalisée par le joueur ;
- action non experte : elle correspond à une action réalisée par le joueur non réalisée par l’expert, il s’agit aussi d’une erreur à un QCM ;
- action prématurée : elle correspond par exemple à la validation d’une étape sans réaliser toutes les actions nécessaires.

L’algorithme de diagnostic permet de labelliser les actions citées précédemment. Il est présenté à la Figure 115. Le système commence par vérifier si la transition est franchissable et si l’action est donc correcte. Si ce n’est pas le cas, il vérifie sa présence dans le graphe d’accessibilité afin de repérer les actions non expertes. Si l’action est dans le graphe d’accessibilité mais non déclenchable, elle est sous optimale dans la mesure où le joueur l’a

déjà déclenchée. Les actions manquantes sont des actions déclenchables dans le RdP mais non exécutées par le joueur.

```
Programme labelliserInférence

Entrées :

tr // la transition à déclencher

nbFois // nombre de fois que la transition « tr » est déclenchée par le
joueur

Sortie :

label // le label à définir

Début

label <- « Correct » // labellisation par défaut

// déclencher nbFois la transition

Pour x <- 1 jusqu'à nbFois Faire

Si tr n'est pas déclenchable Alors

Si tr n'est jamais présente dans le graphe d'accessibilité Alors

label <- « Non expert » // Nous sommes dans le cas où cette transition
n'est jamais exécutée par l'expert

Sinon
```

Figure 115 : L'algorithme de diagnostic appliqué à *Play And Cure*

La remontée vers les compétences s'effectue comme dans Ludiville à l'aide de règles de *scoring* mais ce *scoring* s'exprime en termes de pénalités. Les pénalités générales font référence aux observations obligatoires que l'apprenant n'aurait pas consultées. La Figure 116

présente les valeurs attribuées aux différentes erreurs. En effet, dans la mesure où il s'agit de pénalités, l'action correcte n'est pas valorisée.

Étape du jeu	Type d'erreur	Pénalité
Quiz	Manquante	1
	Erronée	1
Inférences	Sous-optimales	1
	Manquantes	2
	Erronées	3
Générales	Manquantes	1

Figure 116 : Les règles de *scoring* dans *Play And Cure*

Comme nous l'avons précisé lors de la présentation de *Play And Cure*, il n'y a pas eu de remontée vers les compétences métier dans le prototype. Laalys indique à l'apprenant pour chaque phase de jeu, les erreurs et les pénalités correspondantes. La Figure 117 montre le bilan intermédiaire d'un apprenant ayant 20 points de pénalités suite à des inférences manquantes, fausses, non optimales. Il n'a aucune pénalité sur le QCM de cette étape. Les enseignants souhaitent un bilan vague lors des phases intermédiaires afin de ne pas mettre l'apprenant sur la voie de la réponse du diagnostic final.

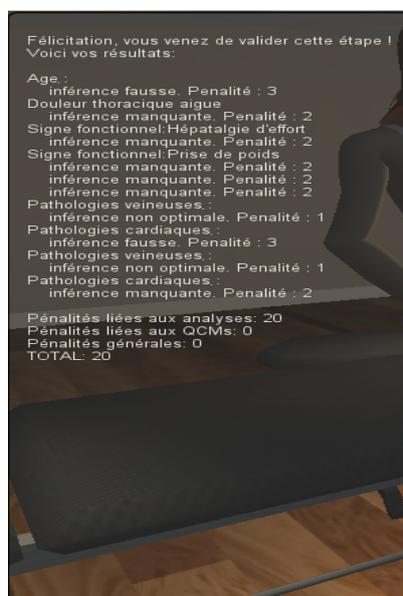


Figure 117 : La présentation du bilan intermédiaire à l'apprenant

Le diagnostic final quant à lui indique la validité ou non de la solution et effectue le total des pénalités (cf. Figure 118). À terme, il serait intéressant d'intégrer l'ontologie des actions de jeu afin de relier chaque action à une ou plusieurs compétences et indiquer des pénalités non plus seulement sur le type d'erreur mais aussi sur la compétence associée.

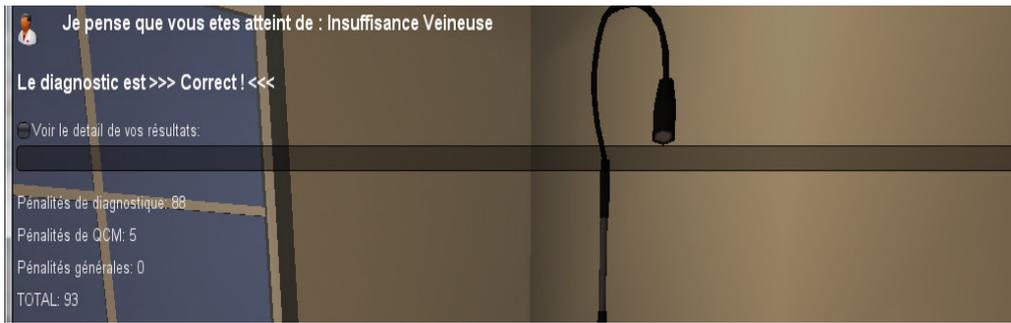


Figure 118 : L'interface de bilan final

L'interface enseignant permet d'analyser en détail chaque action et de consulter la labellisation associée. Il s'agit d'une analyse pas à pas réalisée *a posteriori* à partir des traces collectées durant le jeu. Un diagramme permet d'évaluer la fréquence des différents types d'erreur.

Trace d'exécution

Nom de la transition	Remarque
Poids :	false
ChoixQCM2	false
Confirmer CCU	false
Infirmier DI	false
Clic_OK	false
Pression artérielle:	false
ChoixQCM2	false

Afficher le bilan

Chargement des sources

Réseau de Petri Expert

C:\Users\Mathieu\PostDoc\PlayAndCure\SVN_src\Pradeep

Charger RdP Expert

Traces du joueur

C:\Users\Mathieu\PostDoc\PlayAndCure\SVN_src\Pradeep

Charger traces

C:\Users\Mathieu\Documents\PetriNet\traces.txt

Charger bilan

Diagnostic Pas à pas des actions du joueur

Action de jeu	Statut de la transitio	Places avec marqu	Transitions manqu	Transition vivace	LabelErreurDiag	Actions expertes a	Remarques
Poids :	Franchissable			true	Correct		
ChoixQCM2	Franchissable			true	Manquante		
Confirmer CCU	Non franchissable	Hypothese + CCU;		false	Non experte	ChoixQCM2, Infirmier DI;	
Infirmier DI	Franchissable			true	Sous optimale		
Clic_OK	Non franchissable	QCM2;	ChoixQCM2;	true	Trop tot	ChoixQCM2;	
Pression artérielle:	Franchissable			true	Correct		

Synthèse

■ Manquantes
 ■ Trop tôt
 ■ Trop tard
 ■ Non expertes
 ■ Sous optimales
 ■ Bonnes

Trace d'exécution

Nom de la transition	Remarque
Poids :	false
ChoixQCM2	false
Confirmer CCU	false
Infirmier DI	false
Clic_OK	false
Pression artérielle:	false
ChoixQCM2	false

Chargement des sources

Réseau de Petri Expert

C:\Users\Mathieu\PostDoc\PlayAndCure\SVN_src\Pradeep

Charger RdP Expert

Traces du joueur

C:\Users\Mathieu\PostDoc\PlayAndCure\SVN_src\Pradeep

Charger traces

C:\Users\Mathieu\Documents\PetriNet\traces.txt

Charger bilan

Retour Diagnostic

Bonnes actions	Connaissances associées
Poids :	
Pression artérielle:	
Infirmier IC	Pression artérielle:

Bilan Global

Actions tardives	Connaissances ass	Actions prématurée	Connaissances ass	Actions non expe	remarques	Connaissances a	Actions manqua	Connaissances d	Actions Sous Optimale	Connaissances
		Clic_OK	Poids :	Confirmer CCU		Poids :	ChoixQCM2	Poids :	Infirmier DI	Poids :
				ChoixQCM3		Pression artérielle:			Confirmer SN	Palpation Oedém

Figure 119 : Les interfaces de bilan à destination de l'enseignant

Chapitre 4. Conclusion et perspectives

4.1 Objectifs de recherche

Nos travaux ont pour objectif d'outiller l'enseignant et l'apprenant afin de mieux analyser et comprendre ce qu'il s'est passé durant un jeu sérieux en termes d'apprentissage. Il s'agit notamment de mettre en évidence les forces et les faiblesses de l'apprenant afin de l'aider à avancer dans le jeu et surtout à recommencer. L'idée implicite étant que plus on joue (et rejoue), plus on apprend.

Les outils de suivi sont souvent *ad hoc* et rarement génériques. L'idée est donc de proposer une méthode pour concevoir le suivi et une architecture avec une certaine généralité qui permet une ré-employabilité. Il s'agit d'une méthodologie globale et transposable à d'autres contextes que le nôtre.

Un autre aspect de nos travaux consiste à définir un ensemble pertinent d'indicateurs permettant d'analyser l'activité de l'apprenant. L'idée est d'identifier non seulement ce qui s'est bien passé dans le jeu mais aussi les erreurs commises. Les jeux et les simulateurs sont de rares domaines dans lesquels l'erreur est permise, elle est même utile pour apprendre. Se pose alors la question de détailler ces erreurs pour mieux les comprendre et les analyser. Aider l'apprenant à apprendre de ses erreurs, tel est notre deuxième objectif.

Dans un premier temps, nous sommes focalisés sur les jeux sérieux de type « étude de cas ».

4.2 Contributions

Mon travail de recherche dans le cadre de cette thèse apporte deux contributions principales :

- l’application du cadre méthodologique de l’*Evidence Centered Design* au domaine des jeux sérieux de type « étude de cas » en combinant des réseaux de Petri et une ontologie ;
- la définition et le calcul d’indicateurs de performance pour cette catégorie particulière de jeux sérieux.

L’application du cadre de l’*Evidence Centered Design* au domaine des jeux sérieux de type « étude de cas » nous a conduits à proposer dans Laalys une modélisation du domaine et des actions de ce type de jeu. La généralité de notre modèle a été testée à travers deux jeux sérieux dans des domaines distincts : le crédit immobilier et le diagnostic médical.

Les actions liées aux études de cas sont très proches des actions métiers et recourent à des règles bien précises. Nous avons fait le choix de les représenter à l’aide de réseaux de Petri. Cet outil formel a permis d’automatiser le calcul des solutions possibles d’un cas. Nous pouvons comparer pas à pas les solutions du joueur à celles de l’expert sans interférer dans la progression de celui-ci. Pour apporter de la sémantique à l’analyse par réseau de Petri, nous l’avons adossé à une ontologie du domaine et des actions de jeu. L’ontologie apporte une complémentarité non négligeable au réseau de Petri qui a une dimension purement procédurale. L’ontologie permet une finesse des retours effectués à l’apprenant et à l’enseignant en indiquant, par exemple, des erreurs liées au contexte ou au coût.

L’étude des erreurs nous a conduits à proposer une taxinomie particulière pour les jeux sérieux en nous inspirant notamment des travaux réalisés dans le domaine de la sécurité. Cette taxinomie s’accompagne d’un algorithme de diagnostic qui combine un réseau de Petri expert instancié avec les paramètres du cas et une ontologie du domaine afin de produire une labellisation des actions effectuées.

À partir de ces labels, la remontée vers les compétences est permise par des règles de *scoring*. Des prototypes d’interfaces de présentation à l’apprenant et à l’enseignant ont également été développés dans Laalys.

Mes travaux de thèse ont été repris dans deux projets de l'équipe MOCAH : Generic-SG³⁸ et Play Serious³⁹.

Generic-SG a pour objectif de développer une plateforme d'édition de jeux sérieux pour l'enseignement supérieur. L'équipe MOCAH est partie prenante du projet pour les aspects liés à la conception du suivi de l'apprenant. Ma modélisation de l'étude de cas dans Laalys ainsi que la métaphore du jeu de cartes ont été reprises dans Generic-SG (Iza Marfisi-Schottman, 2013).

4.3 Limites et perspectives

Une des limites de nos travaux est la focalisation sur les jeux sérieux de type « étude de cas ». En effet, dans d'autres types de jeu tels que les jeux de quêtes et d'exploration, certaines de nos hypothèses ne sont pas valables. Par exemple, chaque action ne correspond pas forcément à une sous-compétence ; c'est un ensemble d'actions souvent ordonné dans un contexte donné qui permet de valider l'acquisition d'une compétence ou sous-compétence. Ainsi, dans le cadre du projet Play Serious, l'équipe MOCAH travaille à intégrer Laalys pour des jeux de quête. L'idée est d'affiner la remontée vers les compétences à partir d'observables collectées dans le jeu.

D'autre part, les règles de *scoring* que nous avons mises en place peuvent être contestables. Aussi des travaux sont en cours dans l'équipe afin d'intégrer des réseaux bayésiens pour la remontée vers les compétences. Cela permet d'introduire une notion d'incertitude sur les compétences travaillées et acquises.

Au final, nous pensons avoir réalisé un premier pas dans une nouvelle démarche, qui s'annonce prometteuse, dans le suivi et l'évaluation des apprenants dans les jeux sérieux.

³⁸ <https://sites.google.com/site/genericsg2012/>

³⁹ <http://seriousgames.lip6.fr/site/?Play-Serious>

Chapitre 5. Annexes

5.1 La fiche de consigne pour l'utilisation du jeu Politeco en classe de terminale Sciences et technique de gestion (STG) par Yasmina Soulié

Quel est le but ?

Vous êtes chef d'un gouvernement démocratique. Vous devez diriger le pays de manière à préserver le bien être des habitants. Si ce n'est pas le cas ceux-ci se passeront de vos services.

Les prochaines élections sont annoncées en haut du [Tableau de bord](#). Si vous perdez les élections le jeu est fini. Si vous restez 5 ans au pouvoir, vous avez gagné.

Comment remporter les élections ?

Pour remporter les élections, votre camp politique devra réunir 40% des voix.

Vos chances d'être réélu(e) dépendent de votre popularité. Surveillez-la dans le [Tableau de bord](#).

Votre popularité est influencée par plusieurs facteurs : chômage, pouvoir d'achat, niveau des services publics. Elle est susceptible de varier en fonction de vos décisions. Enfin, pour chaque indicateur en alerte (rouge), votre popularité chute.

Gouvernez au jour le jour

Pour gouverner, allez dans la rubrique [Affaires courantes](#). Des événements se produisent. Plusieurs décisions sont possibles : à vous de choisir.

De petites flèches vous permettent d'anticiper l'effet de chaque décision sur la situation.

Parfois, il n'y a qu'une seule décision possible : c'est un événement sur lequel vous n'avez pas prise.

Définissez vos orientations

Dans la rubrique [Politiques économiques](#) vous fixez vos orientations économiques de long terme : réglementation du marché du travail, grand choix budgétaires, fiscalité...

La fourchette des choix possibles est représentée par une échelle.

Glissez le curseur et prenez connaissance de la légende explicative avant d'arrêter votre choix.

A quel moment changer de politique économique ?

Vous pouvez changer de politique économique à tout moment. Il est conseillé de le faire au début du jeu.

Il est inutile de changer sans cesse de politique : beaucoup de décisions, comme l'investissement dans l'innovation, mettent du temps à produire des effets.

– Quelle est la bonne politique économique ?

Il n'y a pas de politique économique gagnante à tout coup. Observez bien le tableau de bord.

Par exemple, si le déficit budgétaire se creuse et que l'inflation galope, ce n'est peut-être pas une bonne idée d'augmenter les budgets des ministères ou les traitements des fonctionnaires.

Si l'investissement privé est très dynamique, vous pouvez vous permettre d'augmenter la fiscalité des entreprises.

Si la consommation est défallante, évitez de réduire le salaire minimum ou d'augmenter les taxes sur la consommation....

– Surveillez les indicateurs

Prenez connaissances des principaux indicateurs socio-économiques dans le [Tableau de bord](#).

Lorsqu'un indicateur est rouge, il est en alerte et vous le payez par une perte de popularité.

Au contraire, lorsqu'un indicateur est vert, vous gagnez en popularité.

– Comment les indicateurs évoluent-ils ?

Les indicateurs sont mis à jour chaque trimestre. Ils évoluent conformément aux lois économiques les plus couramment admises.

Par exemple, une politique salariale généreuse dans la fonction publique améliore le pouvoir d'achat mais creuse le déficit budgétaire. Celui-ci est source d'inflation.

Ou encore, des investissements importants dans la recherche stimulent les exportations. Le solde commercial s'améliore ce qui favorise la croissance.

– Conseils pour rester aux affaires

Évitez les choix extrêmes. Supprimer le budget de la santé et la couverture sociale se paiera tôt ou tard par des crises sanitaires. La dépense publique à tout va finit dans l'hyperinflation. La déréglementation totale des marchés financiers mène aux scandales et aux krachs.

Il est risqué de prendre des décisions impopulaires à la veille des élections.

Les mesures autoritaires vis-à-vis du marché (blocage de prix, réquisitions) peuvent être populaires mais attention : elles effrayent les investisseurs.

5.2 Scénario pédagogique : séance de 2 heures (1 heure de jeu et 1 heure de synthèse)

EN SALLE INFORMATIQUE PAR GROUPE DE 2 ÉLÈVES

- I. LIRE LES CONSIGNES CI-DESSUS
- II. RELEVEZ LES INDICATEURS DE DÉPART SUR LA FICHE DE SUIVI



- III. DÉFINISSEZ VOTRE POLITIQUE ÉCONOMIQUE



- IV. GÉREZ LES AFFAIRES COURANTES EN FONCTION DES ÉVÉNEMENTS



- V. N'OUBLIEZ PAS D'ALLER CONSULTER RÉGULIÈREMENT L'IMPACT DE VOS DECISIONS



- VI. COMPLÉTEZ LA FICHE DE SUIVI AU FUR ET À MESURE
- VII. RELEVEZ VOS INDICATEURS SUR LA FICHE DE SUIVI À LA FIN DES 15 ÉVÉNEMENTS
- VIII. À PARTIR DE L'ÉVOLUTION DES INDICATEURS, COMPAREZ LES POINTS POSITIFS ET LES POINTS NEGATIFS DE VOTRE POLITIQUE ÉCONOMIQUE ET ANALYSEZ-EN LES CAUSES.

SCORE À BATTRE 43 406 points en ½ heure !

5.3 La grille d'évaluation du jeu Politeco de Yasmina Soulié

Nom des élèves du groupe :			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Score en points	Score aux élections	Popularité	Croissance	Chômage	Inflation	Solde commercial	Solde Budgetaire	Dette publique	Taux d'intérêts	Pouvoir d'achat	Consommation	Investissement privé
Situation de départ	0	0											
Situation finale													

Evénements	Score de la décision	Impacts sur les indicateurs				Modification politique économique	1	2	3	4	5	6	7	8
		1	2	3	4		+ ou -							
0 Exemple : Mobilisation	Faire des concessions	+Q				I Réglementation travail								
1						N Minimas sociaux privés								
2						N Salaires fonctionnaires								
3						O Protection sociale : minims								
4						P Couverture santé								
5						Q Budget éducation								
6						R Budget justice, police								
7						S Budget santé								
8						T Budget environnement								
9						U Budget recherche et innovation								
10						V Impôts entreprises								
11						W Impôts ménages								
12						X Impôts consommation								
13						Y Réglementation marché financier								
14														
15														

5.4 La fiche de suivi du jeu Simuland (Isabelle Colombari)

	Tour 1	Tour 2	Tour 3	Tour 4	Tour 5	Tour 6
Recettes						
Dépenses						
Valeur société						
Place						
Liquidités						
Ressources humaines						
Nb de salariés						
Salaires/pers						
Heures sup						
Budget formation						
Coût total Salariés						
Taux de formation						
Moral						
Machines						
Achat Type						
Taux occupation salar						
Productivité						
Coût des réparations						
Infrastructures						
Agrandissement entrep						
Capacité de stockage						
Production						
Obj Production						
Prix						
Demande						
Ventes						
Production réalisée						
Nb de produit en stock						
Coût de possession st						
Coût de fabrication						
Marketing						
Publicité						
R&D						
Parts de marché						
Taux de notoriété						
Indice de R&D						
Niveau de qualité						
Comptabilité						
Emprunt						
Mensualités emprunt						

Intérêts reçus						
Coût RH						
Coût production						
Dépenses machines						
Frais immobiliers						
Frais divers						
Impôts prévisionnels						
Compte de résultat						
Résultat Net						

5.5 La richesse des réseaux de Petri en matière de représentation des structures de contrôle

Tout comme les modèles explorés précédemment, les réseaux de Petri (RdP) permettent de représenter un nombre important de structures de contrôle. Nous présentons comment chaque structure peut être représentée à l'aide d'un RdP.

5.5.1 La séquence

La séquence consiste à enchaîner de manière successive un ensemble d'actions.

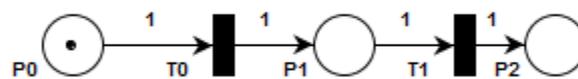


Figure 120 : Représentation de la séquence à l'aide d'un RdP

Sur la Figure 120, les transitions T0 et T1 s'enchaînent de manière séquentielle. Le résultat de T0 consiste à alimenter d'un jeton P1 qui elle-même alimente T1.

5.5.2 La boucle

La boucle consiste à répéter une ou plusieurs opérations selon un nombre fini (ou pas) d'itérations.

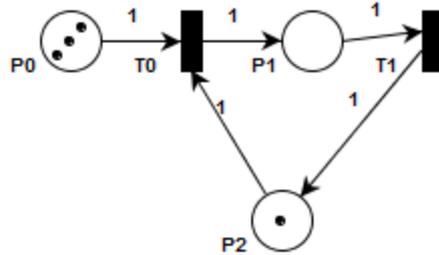


Figure 121 : Représentation d'une boucle à l'aide d'un RdP

La Figure 121 représente une boucle comportant trois itérations. En effet, P0 et P2 alimentent T0 qui alimente T1 qui alimente P2. P2 est donc systématiquement alimenté par T1. La présence de trois jetons en P0 permet de répéter trois fois cette séquence. À l'issue de la troisième itération T0 ne pouvant plus être exécutée, le réseau sera bloqué.

5.5.3 La concurrence

La concurrence représente le fait que deux processus se partagent une même ressource.

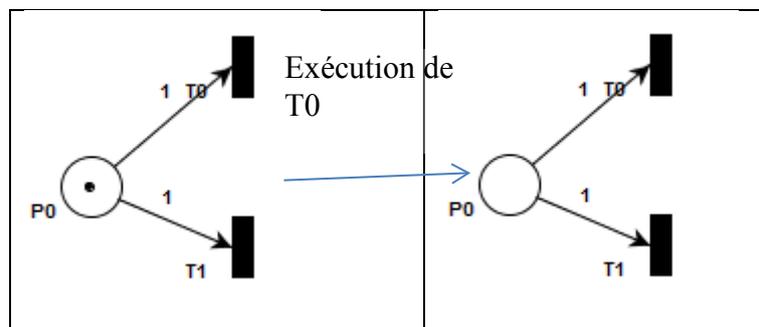


Figure 122 : Représentation de la concurrence à l'aide d'un RdP

Sur la Figure 122, les transitions T1 et T0 sont concurrentes car elles ont besoin toutes les deux du jeton en P0. Les deux transitions sont exécutables mais l'exécution de l'une empêche systématiquement l'exécution de l'autre.

5.5.4 La conjonction

La conjonction indique que deux conditions doivent être respectées simultanément pour effectuer une action.

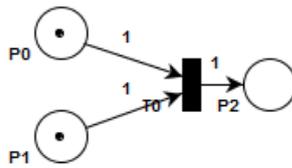


Figure 123 : Représentation de la conjonction à l'aide d'un RdP

Sur la Figure 123, la transition T0 ne peut être exécutée que si et seulement si P0 et P1 contiennent au moins un jeton. L'absence de jeton dans l'une des deux places, bloque l'exécution de T0.

5.5.5 Le parallélisme

Le parallélisme consiste à mener deux ou plusieurs actions sans chronologie entre elles.

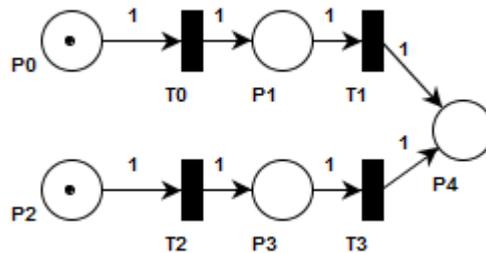


Figure 124 : Représentation du parallélisme à l'aide d'un RdP

Sur la Figure 124, les transitions (T0 et T1) d'un part et (T2 et T3) d'autre part, sont exécutées en parallèle.

5.5.6 La synchronisation

La synchronisation consiste à représenter le fait que deux actions (ou séquences d'actions) doivent s'attendre pour enclencher la suivante.

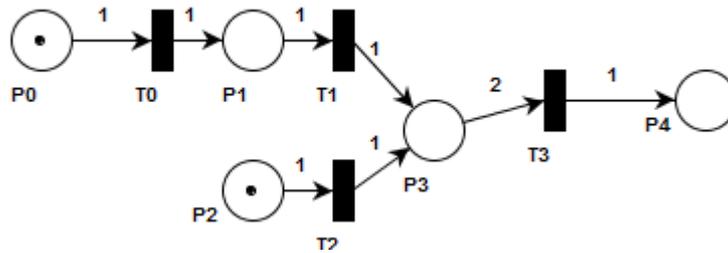


Figure 125 : Représentation de la synchronisation à l'aide d'un RdP

La Figure 125 indique que pour exécuter T3, place P3 doit comporter deux jetons. Or, ces jetons sont fournis par T1 et T2. Les transitions T1 et T2 sont synchronisées en vue de l'exécution de T3.

5.6 Description d'un cas client dans Ludiville

Cas client Durand

- Informations emprunteurs :
 - Situation matrimoniale et professionnelles
 - Mme Durand Laurène née Monceau
 - Née le 20/06/1966 à Paris XVIII^e
 - Secrétaire depuis 02/09/1995
 - M Durand Frédéric
 - Né le 22/07/1967 à Saint-Denis
 - Cadre commercial depuis 02/03/2003
 - 2 enfants communs (17 et 15 ans)
 - Mariés sous le régime de la communauté légale
- Situation patrimoniale
 - Revenus :
 - Salaires Mme : 22 200 €
 - Salaires M : 44 000 €
 - Allocations familiales : 110 €
 - Biens mobiliers :
 - Compte sur livret M et Mme : 8 000 €
 - PEE M : 15 000 €
 - PEE Mme : 7 000 €

- Charges :
 - Mensualité actuelle : 1 400 € par mois
 - Prêt voiture : 175 €
 - Pas d'incident et interdiction bancaire
- Objet de la demande du prêt :
 - Rachat de prêt
 - Coût de l'opération :
 - Capital Restant dû : 180 000 €
 - Sur 180 mois
- Informations crédits :
 - Montant : 180 000 €
 - Taux : 3,9 %
 - Frais de dossier : 500 €
 - Durée : 180 mois maxi
 - DIT : 70 % sur chaque tête et 50 % sur Madame (tarification : 4 €/10 K€ empruntés pour 100 %, donc 4,80 €/10 k€ empruntés, pour les deux).
 - Endettement = 28,71 % avec en charges le prêt auto en cours et le prêt sollicité.
 - Les Allocations Familiales ne sont pas prises en compte, en raison de l'âge avancé des enfants.
 - Durée du prêt sollicité : maximum durée résiduelle du prêt en cours
 - Le rachat porte certainement sur la résidence principale
 - **Garantie** : aval SCM. En général, il convient de préconiser, commercialement, une garantie sous-seing privé pour les rachats de prêt puisque une garantie réelle (hypothèque et non PPD) est assez onéreuse.

5.8 Questionnaire d'évaluation des connaissances en crédit immobilier présentes dans Ludiville

Définissez les termes et/ou répondez aux questions suivantes :

1. Citez trois opérations à effectuer absolument concernant la situation personnelle d'un client.
2. Comment vérifie-t-on la situation professionnelle d'un client ?
3. Dans quelles situations un client peut ne pas déclarer de charges ? Comment vérifie-t-on cette absence de charges ?
4. Y-a-t-il des frais d'agence lorsque l'on passe par un particulier ?
5. Citez trois éléments constitutifs de l'apport d'un client.
6. Comment vérifie-t-on l'apport dans le cas d'un client prospect ?
7. Dans quelles circonstances peut-on conseiller à un client d'augmenter son apport ?
8. Citez des exemples de projets pour lesquels on peut proposer un prêt immobilier.
9. Quel est le seuil d'endettement autorisé ? Dans quels cas peut-on éventuellement le dépasser ? À qui le conseiller doit-il demander l'accord ?
10. Quel(s) document(s) permet(ent) le décaissement d'un prêt ?
11. Quel document doit-on obligatoirement demander lors de l'achat d'un bien ancien ?
12. Quel(s) document(s) doit-on demander pour définir le projet dans le cas de l'achat d'un bien ancien avec travaux ?
13. Que doit-on vérifier avant d'accorder un prêt à un couple marié ?
14. Citez des exemples de caution.
15. Citez des exemples de garanties.
16. Citez des exemples d'assurances.
17. Peut-on jouer sur les quotités d'assurance ? Quel est l'intérêt ?
18. Qu'est-ce que l'indivision ?
19. Donnez des exemples d'offre complémentaire que l'on peut proposer au client.
20. Quels sont les différents types de prêt ?

21. Quels sont les documents qu'il est indispensable de demander dans le cas d'un rachat de prêt ?

22. Quels documents faut-il demander lors d'un achat/revente ?

5.9 Descriptif d'un cas patient « Nadine Rousseau » dans *Play And Cure*

– Interrogatoire

La patiente est assise en face du médecin, dans son cabinet.

– Motif de la consultation

Madame Nadine Rousseau, 62 ans, consulte pour des œdèmes des membres inférieurs. Depuis plusieurs années, la patiente se plaint d'avoir les jambes lourdes en fin de journée avec des brûlures quand elle se couche. Depuis quelques mois, elle a noté l'apparition d'œdèmes des membres inférieurs, notamment quand il fait chaud. Ces œdèmes ont disparu le matin au lever.

Le médecin recueille les informations générales sur la patiente, ses antécédents familiaux et personnels et l'histoire de la maladie. Ces informations apparaissent au fur et à mesure dans le « tableau blanc » du joueur.

– Informations générales

– **Age** : 62 ans

– **Sexe** : Féminin

– Antécédents familiaux :

– Médicaux :

– Pathologies veineuses : insuffisance veineuse chez les parents

– Pathologies cardiaques : NIL

– Pathologies rénales : NIL

– Pathologies hépatiques : NIL

– Cancer : NIL

– Chirurgicaux : NIL

– Contexte allergique : NIL

- Antécédents personnels :
 - Médicaux :
 - Pathologies veineuses : ulcères veineux
 - Pathologies cardiaques : NIL
 - Pathologies rénales : NIL
 - Pathologies hépatiques : NIL
 - Cancer : NIL
 - Chirurgicaux : chirurgie des varices il y a une dizaine d'années aux deux membres inférieurs.
 - Contexte allergique : NIL
 - Habitudes alimentaires : RAS
 - Voyages à l'étranger : NIL
 - **Terrain personnel** : station debout prolongée
 - Traitements en cours : NIL
 - Histoire de la maladie
 - Modalités de survenue : graduelle
 - **Date de début** : depuis plusieurs années
 - Caractère aigu/récurrent/chronique : chronique
 - Rapport avec le cycle menstruel/la grossesse : NP
 - Existence de facteurs déclenchants : NIL
 - Diurèse : NIL
 - **Signes fonctionnels** : Jambes lourdes, pseudo-érythémalgie

Le médecin invite la patiente à monter sur la balance pour évaluer son poids, et il mesure sa taille à l'aide d'une toise. La patiente est ensuite invitée à s'installer sur la table d'examen.

- **Examen physique**
 - **Heure de l'examen** : 18 heures (une horloge indique l'heure dans le cabinet ?)
 - Signes vitaux
 - **Poids** : normal
 - **Taille** : 1 m 60

- Pression artérielle : normale
- Pouls radial : normal
- Auscultation :
- Cœur
 - Avec le stéthoscope, écouter aux 5 foyers (2^e espace intercostal droit (2^e EICD), 2^e, 3^e, 4^e, 5^e espace intercostal gauche (2^e EICG, ...))
 - la fréquence cardiaque ainsi que sa régularité
 - les bruits du cœur B1 et B2
 - la présence de bruits anormaux comme les souffles systoliques et diastoliques
 - ⇒ Examen normal
- Poumons
 - Avec le stéthoscope, écouter les bruits pulmonaires. Rechercher la présence de bruits anormaux tels que des râles crépitants, sifflements, wheezes, et des bruits de frottements pleuraux.
 - ⇒ Examen normal

Pour cette patiente, l'œdème constitue le signe d'appel principal et l'examen physique est orienté vers son analyse.

- Analyse des œdèmes
 - Inspection:Oedèmes:Couleur : blancs
 - **Inspection:Oedèmes:Signes cutanés associés** : dermite ocre, télangiectasies, varicosités notamment dans le territoire distal des grandes veines saphène.
 - **Inspection:Oedèmes:Evolution**: Ils disparaissent le matin au réveil sans se redistribuer.
 - **Inspection:Oedèmes:Topographie**: bilatéraux, déclives, rétro-malléolaires, symétriques et localisés au niveau des membres inférieurs.
 - Palpation:Oedèmes:Consistance : mous

- **Palpation:Oedèmes:Elasticité:** prenant le godet (=dépression provoquée par la pression forte du pouce sur le dos des pieds, derrière les malléoles internes (chevilles), sur les tibias = le pouce y laisse une empreinte)
- Palpation:Oedèmes:Sensation: indolores
- **Palpation:Oedèmes:Température** (avec la face dorsale des doigts) : normale
- Autres signes physiques
 - **Inspection:Jambes:Circonférence:** augmentée pour les 2 membres inférieurs (mensurations avec un mètre de couturière)
 - Palpation:Peau:Signe de Stemmer-Foldi: négatif.

L'examen physique suggère la présence d'œdèmes veineux.

- Diagnostic différentiel

Le **caractère bilatéral des œdèmes** doit orienter le diagnostic vers les pathologies suivantes :

1. Insuffisance veineuse
2. Insuffisance cardiaque droite
3. Syndrome néphrotique
4. Hépatopathie
5. Compression pelvienne
6. Prise médicamenteuse
7. Dénutrition importante

L'interrogatoire et l'inspection présentent des signes d'appel de l'insuffisance veineuse :

- **Interrogatoire:Antécédants familiaux:** insuffisance veineuse chez les parents
- Interrogatoire:Terrain personnel : station debout prolongée

– **Inspection:Oedèmes:Evolution:** Ils disparaissent le matin au réveil sans se redistribuer.

– **Inspection:Oedèmes:Signes cutanés associés :** dermite ocre, varicosités notamment dans le territoire distal des grandes veines saphènes.

On peut donc tenter d'écarter les autres hypothèses en éliminant les signes évocateurs qui leur correspondent.

L'interrogatoire permet d'éliminer :

1. l'hypothèse de dénutrition car la patiente a un poids normal ;
2. et l'hypothèse médicamenteuse car elle ne prend pas de médicaments susceptible d'entraîner la formation d'œdèmes.

Il reste donc les hypothèses suivantes à éliminer:

1. Insuffisance cardiaque droite
2. Syndrome néphrotique
3. Hépatopathie
4. Compression pelvienne

Poursuite de l'examen physique

- Recherche de signes d'une insuffisance cardiaque droite
 - Interrogatoire: Hépatalgie
 - Inspection:Cou:Aspect: Turgescence jugulaire
 - **Inspection:Cou:Aspect:** Reflux hépto-jugulaire
 - **Palpation:Abdomen:Hypocondre droit:** Hépatomégalie à bord inférieur mou et sensible
 - ⇒ Ces signes sont absents.
- Recherche de signes d'un syndrome néphrotique
 - Interrogatoire: Oligurie
 - ⇒ Ce signe est absent.

- Recherche de signes d'une hépatopathie
 - Les signes d'une hypertension portale
 - Percussion:Abdomen: ascites
 - Palpation: Abdomen:Hypocondre gauche: splénomégalie
 - Inspection:Abdomen: circulation veineuse collatérale
 - ⇒ Ces signes sont absents.
- Les signes d'une l'insuffisance hépato-cellulaire
 - **Inspection:Mains:** Erythème palmaires
 - **Inspection:Jambes:** Angiomes stellaires
 - ⇒ Ces signes sont absents.
- Recherche de signes d'une compression pelvienne
 - **Palpation:Pelvis:** présence d'une masse pelvienne.
 - ⇒ Ce signe est absent.

L'examen physique ainsi complété permet d'écarter les hypothèses suivantes :

1. Insuffisance cardiaque droite
2. Hépatopathie
3. Compression pelvienne

Il reste le syndrome néphrotique à évaluer car l'absence d'oligurie ne constitue pas à elle seule un argument pour écarter ce syndrome. L'utilisation d'une **bandelette urinaire** qui permet de détecter la perte de protéines par les reins correspond à un test *sensible*.

La patiente est envoyée au laboratoire de biologie.

- Examen de laboratoire:Bandelette urinaire: protéinurie.
- ⇒ Ce test est négatif

Aucune protéinurie n'est détectée. Le syndrome néphrotique peut aussi être écarté.

- Confirmation du diagnostic

Les données cliniques sont en faveur d'une insuffisance veineuse. Pour confirmer ce diagnostic, un écho-doppler dont les résultats sont *spécifiques* peut être effectué.

La patiente est envoyée au service de radiologie.

Recherche de confirmation d'insuffisance veineuse.

– Imagerie:Echo-doppler:Veines des membres inférieurs: Positions debout et couché: signes d'insuffisance veineuse.

⇒ Cet examen est positif

Le résultat de cet examen confirme le diagnostic d'insuffisance veineuse.

– Traitement

Contention élastique et chirurgie.

Index des figures

Figure 1 : Le bilan de Ma cyber Auto-Entreprise	10
Figure 2 : Le bilan de Hair Be12	11
Figure 3 : Le palmarès de Simuland.....	12
Figure 4 : Le bilan de <i>StarBank</i>	13
Figure 5 : Les conseils prodigués au joueur dans <i>StarBank</i>	13
Figure 6 : Les étapes de l'étude de cas (Leplat, 2002).....	16
Figure 7 : Les trois principaux modèles de l' <i>Evidence Centered Design</i>	19
Figure 8 : Les indicateurs du simulateur	27
Figure 9 : Les indicateurs de jeu	28
Figure 10 : Le modèle de connaissances du jeu	30
Figure 11 : Les objectifs pédagogiques et les actions de jeu correspondantes pour le niveau 0	31
Figure 12 : Les conditions de passage de niveaux	32
Figure 13 : L'analyse de fin de partie	32
Figure 14 : L'intégration du jeu dans une plateforme d'apprentissage.....	34
Figure 15 : L'interface de suivi du formateur	35
Figure 16 : Le nouveau bilan.....	36
Figure 17 : Les conseils de fin de partie.....	37
Figure 18 : Architecture du système à base de traces	38
Figure 19 : L'interface de construction d'indicateurs spécifiques	39
Figure 20 : Les objets de l'avatar en fonction des connaissances.....	40
Figure 21 : Exemple de plan d'activité	40
Figure 22 : Arbre des causes	43
Figure 23 : Exemple d'insertion des probabilités dans Elvira	44
Figure 24 : Résultats de la propagation des informations initiales	45
Figure 25 : Mise à jour du réseau et propagation des probabilités.....	46
Figure 26 : L'architecture d'HERA	49
Figure 27 : Un exemple de problème et le graphe solution correspondant (Conati et <i>al.</i> , 2002)	51
Figure 28 : Le modèle de connaissance représenté par un réseau bayésien (Luengo et <i>al.</i> , 2006).....	53
Figure 29 : Ajout des variables de situation (Luengo et <i>al.</i> , 2006).....	53
Figure 30 : Le diagramme d'influence (Luengo et <i>al.</i> , 2006).....	53
Figure 31 : La fonction d'utilité (Luengo et <i>al.</i> , 2006)	53
Figure 32 : Le mécanisme de reconnaissance de plans dans (El-Kechaï, 2007).....	62
Figure 33 : Le réseau de Petri (RdP)	66
Figure 34 : Le graphe d'accessibilité du RdP	68
Figure 35 : Scénario du conflit au Darfour dans Europe 2045 (Brom et <i>al.</i> , 2007).....	70
Figure 36 : Exemple de règles d'évaluation (Moreno-Ger et <i>al.</i> , 2008)	72
Figure 37 : L'architecture du système de suivi (Serrano, Marchiori, del Blanco, Torrente, & Fernandez-Manjon, 2012)	73
Figure 38 : Un exemple d'ontologie (Horridge, 2011)	74
Figure 39 : Un modèle de cas dans COBRA (Assali et <i>al.</i> , 2009).....	78
Figure 40 : Les catégories du schéma de classification (Hollnagel, 1998a) dans (El-Kechaï, 2007).....	83
Figure 41 : Les groupes de phénotypes (Hollnagel, 1998a) dans (El-Kechaï, 2007)	84

Figure 42 : Les catégories de génotype, extrait simplifié de (El-Kechaï, 2007).....	85
Figure 43 : Extrait d’une typologie des erreurs dans <i>Assassin’s Creed II</i> traduit de (Milam & El Nasr, 2010).....	86
Figure 44 : Les 3 principaux modèles de ECD	87
Figure 45 : Le modèle de compétences	87
Figure 46 : Le modèle de preuves	88
Figure 47 : Le modèle de tâches.....	89
Figure 48 : ECD appliqué à Taiga Park	91
Figure 49 : Quelques actions avec indicateurs associés	92
Figure 50 : Résultats de la comparaison du diagramme de Clara avec celui de l’expert.....	94
Figure 51 : Le modèle bayésien de Clara au début du jeu	95
Figure 52 : La décomposition du premier niveau de Ludiville	100
Figure 53 : Les compétences et sous-compétences travaillées dans le cas Lemartine.....	100
Figure 54 : L’interface de Ludiville	101
Figure 55 : Exemples de cartes génériques et spécifiques	102
Figure 56 : Les caractéristiques initiales de M. Lemartine	103
Figure 57 : Les caractéristiques de M. Lemartine à identifier	103
Figure 58 : Descriptif de la situation dans le modèle de tâches	105
Figure 59 : Sous-ensemble des actions disponibles pour le cas Lemartine du niveau 1	111
Figure 60 : La modélisation des caractéristiques sans influence sur le jeu.....	114
Figure 61 : La modélisation des caractéristiques ayant une influence sur le jeu	115
Figure 62 : La détermination du régime matrimonial dans le cas d’une communauté légale	116
Figure 63 : Représentation de l’indisponibilité d’une carte	118
Figure 64 : Extrait du fichier des actions équivalentes	119
Figure 65 : Le modèles d’actions du cas Lemartine.....	120
Figure 66 : Le CM de la pensée systémique mis en œuvre dans Taiga Park.....	122
Figure 67 : Extrait de l’ontologie d’une étude de cas (+ hypothèse dans les étapes de résolution).....	127
Figure 68 : Détail de la propriété « RelationEntreActions ».....	128
Figure 69 : Extrait de l’ontologie du domaine de connaissances	129
Figure 70 : L’ontologie d’un jeu sérieux de type « étude de cas »	131
Figure 71 : Les caractéristiques du client.....	132
Figure 72 : Les éléments caractérisant un dossier de prêt.....	133
Figure 73 : Extrait des compétences et sous-compétences dans le crédit immobilier	135
Figure 74 : La partie associée au jeu dans l’ontologie générique	136
Figure 75 : Les valeurs possibles pour la caractéristique type de projet.....	137
Figure 76 : L’interface de jeu de Ludiville	137
Figure 77 : Les instances du modèle de connaissances utilisées pour le cas Lemartine.....	140
Figure 78 : Extrait de l’ontologie du cas Lemartine pour la partie étude de cas.....	142
Figure 79 : Le modèle de preuves	143
Figure 80 : Les indicateurs de performance dans les jeux sérieux de type « étude de cas »..	144
Figure 81 : Les ressources dans Cap Odyssey	145
Figure 82 : Le palmarès de Simuland.....	146
Figure 83 : Le classement de <i>Criminal Case</i>	146
Figure 84 : Les conseils à l’issue de 2025 exmachina	148
Figure 85 : Les conseils dans <i>StarBank The Game</i>	149
Figure 86 : L’aide dans <i>Criminal Case</i>	150
Figure 87 : Bilan des compétences dans Hair Be12.....	151
Figure 88 : Exemple d’erreur dans Mon entretien d’embauche.....	152
Figure 89 : Schéma XSD du fichier de traces d’une étude de cas	153

Figure 90 : Évaluation des actions du joueur dans les jeux sérieux d'après la méthode CREAM (Hollnagel, 93)	155
Figure 91 L'algorithme de diagnostic	159
Figure 92 : La structure du fichier de traces dans Ludiville.....	163
Figure 93 : Structure du fichier de transformation de traces.....	163
Figure 94 : Cartes gagnées à l'issue du cas Lemartine	164
Figure 95 : Prototypage de l'interface d'analyse de Laalys.....	166
Figure 96 : Modification de l'algorithme de diagnostic.....	167
Figure 97 : Analyse des compétences de Charlène sur le cas Lemartine pour toutes les tentatives.....	168
Figure 98 : Analyse des sous-compétences de Charlène sur le cas Lemartine pour toutes les tentatives.....	168
Figure 99 : Système de traces de Genome (Capdevila Ibañez, 2013).....	169
Figure 100 : L'architecture de Laalys	170
Figure 101 : Extrait du bilan par compétences produit par Laalys	173
Figure 102 : Extrait du bilan par compétences du questionnaire d'évaluation	175
Figure 103 : Comparaison des résultats de Laalys et du questionnaire	176
Figure 104 : L'interface de jeu de <i>Play And Cure</i>	178
Figure 105 : L'architecture du diagnostic dans <i>Play And Cure</i>	180
Figure 106 : Les actions disponibles dans <i>Play And Cure</i>	182
Figure 107 : Extrait du réseau de Petri expert.....	184
Figure 108 : Exemple de RdP initialisé.....	186
Figure 109 : Extrait de l'ontologie, partie « étude de cas » instanciée pour le cas Rousseau	187
Figure 110 : Éléments caractérisant le diagnostic d'un patient.....	188
Figure 111 : Les instances du modèle de compétences pour le cas Rousseau	189
Figure 112 : Les nouvelles relations entre actions	190
Figure 113 : Structure du fichier de traces	192
Figure 114 : Prise en compte des quiz et inférences	193
Figure 115 : L'algorithme de diagnostic appliqué à <i>Play And Cure</i>	194
Figure 116 : Les règles de <i>scoring</i> dans <i>Play And Cure</i>	195
Figure 117 : La présentation du bilan intermédiaire à l'apprenant	195
Figure 118 : L'interface de bilan final	196
Figure 119 : Les interfaces de bilan à destination de l'enseignant.....	197
Figure 120 : Représentation de la séquence à l'aide d'un RdP	206
Figure 121 : Représentation d'une boucle à l'aide d'un RdP	207
Figure 122 : Représentation de la concurrence à l'aide d'un RdP.....	207
Figure 123 : Représentation de la conjonction à l'aide d'un RdP.....	208
Figure 124 : Représentation du parallélisme à l'aide d'un RdP.....	208
Figure 125 : Représentation de la synchronisation à l'aide d'un RdP	209

Bibliographie

- Amokrane, K. (2010). *Suivi de l'apprenant en environnement virtuel pour la formation à la prévention des risques sur des sites SEVESO* (Thèse doctorat). Université de Technologie de Compiègne, France.
- Amokrane, K., & Lourdeaux, D. (2009). Virtual Reality Contribution to training and risk prevention. In C. Press (Éd.), *ICAI 2009: the proceeding of the International Conference on Artificial Intelligence 2009* (p. 466-472). Las Vegas, États-Unis. Consulté à l'adresse <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00462120>
- Amokrane, K., & Lourdeaux, D. (2010). PEDAGOGICAL SYSTEM IN VIRTUAL ENVIRONMENTS FOR HIGH-RISK SITES. In I. Press (Éd.), *ICAART 2010: the proceedings of the International Conference on Agents and Artificial Intelligence* (p. 371-376). Valencia, Espagne. Consulté à l'adresse <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00462130>
- Andersen, E. (2012). Optimizing adaptivity in educational games. In *Proceedings of the International Conference on the Foundations of Digital Games* (p. 279–281). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/2282338.2282398
- Andersen, E., Liu, Y.-E., Apter, E., Boucher-Genesse, F., & Popović, Z. (2010). Gameplay analysis through state projection. In *Proceedings of the Fifth International Conference on the Foundations of Digital Games* (p. 1–8). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/1822348.1822349
- Andersen, E., Liu, Y. E., Snider, R., Szeto, R., Cooper, S., & Popovic, Z. (2011). On the Harmfulness of Secondary Game Objectives. In *Proceedings of the Sixth International Conference on the Foundations of Digital Games*.
- Anderson, J. R., Matessa, M., & Lebiere, C. (1997). ACT-R: a theory of higher level cognition and its relation to visual attention. *Human-Computer Interaction*, 12, 439–462. doi:http://dx.doi.org/10.1207/s15327051hci1204_5
- Araujo, M., & Roque, L. (2009). Modeling Games with Petri Nets. In *Breaking New Ground: Innovation in Games, Play, Practice and Theory*. West London, United Kingdom.
- Assali, A. A., Lenne, D., Debray, B., & Bouchet, S. (2009). COBRA : Une plate-forme de RàPC basée sur des ontologies. In *Actes des 20es Journées Francophones d'Ingénierie*

- des Connaissances (IC 2009)* (p. 277-288). Consulté à l'adresse <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00377373>
- Astolfi, J. P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner*. ESF.
- Brom, C., Šisler, V., & Holan, T. (2007). Story Manager in 'Europe 2045 ' Uses Petri Nets. In *LNCS* (Vol. 4871, p. 38-50). Germany: Springer, Heidelberg. Consulté à l'adresse <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.85.1186>
- Capdevila Ibañez, B. (2013, janvier 1). *Serious game architecture and design : modular component-based data-driven entity system framework to support systemic modeling and design in agile serious game developments*. Université Pierre et Marie Curie - Paris 6. Consulté à l'adresse <http://www.theses.fr/2013PA066727>
- Carron, T., & Marty, J. C. (2009). User modelling in learning games. In *3rd European Conference on Games Based Learning*. Graz, Austria.
- Carron, T., & Marty, J.-C. (2011). Améliorer la motivation dans les environnements d'apprentissage basés sur le jeu. *Revue d'intelligence artificielle*, 25, 223-251. doi:10.3166/ria.25.223-251
- Carron, T., & Marty, J.-C. (2012). Enhancement of Adaptation and Monitoring in Game-Based Learning Environments. *Student Usability in Educational Software and Games*, 201-220.
- Carron, T., & Marty, J.-C. (s. d.). Enhancement of Adaptation and Monitoring in Game-Based Learning Environments.
- Charlet, J. (2002, décembre 10). *L'ingénierie des connaissances : développements, résultats et perspectives pour la gestion des connaissances médicales*. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI. Consulté à l'adresse <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00006920>
- Conati, C., Gertner, A., & VanLehn, K. (2002). Using Bayesian Networks to Manage Uncertainty in Student Modeling. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 12(4), 371-417. doi:10.1023/A:1021258506583
- Conlan, O., Hampson, C., Peirce, N., & Kickmeier-Rust, M. D. (2009). Realtime Knowledge Space Skill Assessment for Personalized Digital Educational Games. In *2009 Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (2009)* (p. 538-542). Riga, letvia: IEEE Computer Society. doi:10.1109/ICALT.2009.150
- Connolly, T., Stansfield, M., Hainey, T., & Cousins, I. (2009). Arguing for Multilingual Motivation in Web 2.0: a Games-Based Learning Platform for Language Learning. Présenté à European Conference on Games Based Learning, Graz, Austria.

- Csikszentmihályi, M. (1991). *Flow : the psychology of optimal experience* (Vol. 1-1). New York: HarperPerennial.
- Csikszentmihályi, M. (2004). *Good business: Leadership, flow, and the making of meaning*. Penguin. com.
- Csikszentmihályi, M., & Patton, J. D. (1997). Le bonheur, l'expérience optimale et les valeurs spirituelles: une étude empirique auprès d'adolescents. *Revue québécoise de psychologie*, 18(2), 169-192.
- Del Blanco, Á., Torrente, J., Marchiori, E. J., Martínez-Ortiz, I., Moreno-Ger, P., & Fernández-Manjón, B. (2010). Easing assessment of game-based learning with e-adventure and LAMS. In *Proceedings of the second ACM international workshop on Multimedia technologies for distance leaning* (p. 25–30). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/1878052.1878059
- Desmoulins, C. (2010). Construction avec des enseignants d'une ontologie des compétences en géométrie, Geoskills. In *Actes du workshop Bonnes pratiques de construction d'ontologies pour les concepteurs novices*. Nîmes. Consulté à l'adresse <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01008929>
- Dupire, J., Labat, J.-M., & Natkin, S. (2011). Du jeu sérieux au jeu utile. *Revue d'intelligence artificielle*, 25(2), 143-146.
- El-Kechaï, N. (2007). *Suivi et Assistance des apprenants dans les environnements virtuels de formation*. Le Mans.
- El-Kechaï, N., & Després, C. (2006). A plan recognition process, based on a task model, for detecting learner's erroneous actions. In *Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 4053, p. 329-338). Jhongli, Taiwan: Springer Berlin.
- El-Kechaï, N., & Labat, J. M. (2012). Premier pas vers un outil pour réaliser des *serious games* de type étude de cas. In *Serious Games en médecine et santé* (p. 30-35). Nice, France: UNIVERSITE NICE --- SOPHIA ANTIPOLIS.
- Fabricatore, C. (2000). *Learning and VideoGames : an Unexploited Synergy*. Présenté à AECT National Convention, Long Beach, CA : Secaucus: Springer Science + Business Media.
- Gendron, E., Carron, T., & Marty, J.-C. (2008). Collaborative Indicators in Learning Games: an immersive factor. *2nd ECGBL, Barcelona, Spain*.
- Gertner, A. S., & VanLehn, K. (2000). Andes: A Coached Problem Solving Environment for Physics. In G. Gauthier, C. Frasson, & K. VanLehn (Éd.), *Intelligent Tutoring Systems*

- (p. 133-142). Springer Berlin Heidelberg. Consulté à l'adresse http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-45108-0_17
- Gómez-Pérez, A. (1999). Développement récents en matière de conception, de maintenance et d'utilisation des ontologies. *Terminologies nouvelles*, 19, 9-20.
- Gonzales, C., & WUILLEMIN, P. (1998). Réseaux bayésiens en modélisation d'utilisateurs. *Sciences et Techniques éducatives*, 5(2), 173.
- Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*, 5(2), 199-220.
- Hays, M., Lane, C. H., Auerbach, D., Core, M. G., Gomboc, D., & Rosenberg, M. (2009). Feedback Specificity and the Learning of Intercultural Communication Skills. In *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Artificial Intelligence in Education*. Brighton, England, United Kingdom.
- Hibou, M., & Labat, J.-M. (2007). Un modèle de l'apprenant constitué de plusieurs réseaux bayésiens concurrents. *Actes de la conférence ELIAH 2007*. Consulté à l'adresse <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00161596>
- Hibou, M., & Py, D. (2006). Représentation des connaissances de l'apprenant. In *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (Hermès Lavoisier, p. 97-115).
- Hollnagel, E. (1998a). *Cognitive Reliability and Error Analysis Method* (Elsevier Science). Oxford.
- Hollnagel, E. (1998b). *Cognitive reliability and error analysis method: CREAM*. Elsevier.
- Hollnagel, E. (2005). Human reliability assessment in context. *Nuclear Engineering and Technology*, 37(2), 159.
- Horridge, M. (2011, mars 24). A Practical Guide To Building OWL Ontologies Using Protégé 4 and CO-ODE Tools.
- Iza Marfisi-Schottman, J.-M. L. (2013). Approche basée sur la méthode pédagogique des cas pour créer des Learning Games pertinents dans de nombreux domaines d'enseignement. In *Actes de la conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*. Toulouse, France: IRIT.
- Kickmeier-rust, M. D., & Albert, D. (2008). The ELEKTRA ontology model: A learner-centered approach to resource description. In *Berlin / Heidelberg*. Springer.

- Koedinger, K. R., Anderson, J. R., Hadley, W. H., & Mark, M. A. (1997). Intelligent Tutoring Goes To School in the Big City. *International Journal of Artificial Intelligence in Education (IJAIED)*, 8, 30-43.
- Labat, J.-M. (2002). EIAH : Quel retour d'informations pour le tuteur ? (p. 81-88). Présenté à Colloque Tice.
- Lane, C. H., Hays, M., Core, M., Gomboc, D., Forbell, E., Auerbach, D., & Rosenberg, M. (2008). Coaching Intercultural Communication in a Serious Game. In *Proceedings of the Sixteenth International Conference on Computers in Education (ICCE 2008)*. Taipei, Republic of China (Taiwan).
- Lavergne Boudier, V., & Dambach, Y. (2010). *Serious game, la révolution pédagogique* (Hermès Sciences). Paris, France.
- Le Boterf, G. (2010). *Ingénierie et évaluation des compétences*. Paris: Eyrolles : Éditions d'Organisation.
- Lee, J.-S., & Hsu, P.-L. (2003). Remote supervisory control of the human-in-the-loop system by using Petri nets and Java. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 50(3), 431-439.
- Leplat, J. (1985). *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*. Armand Colin.
- Leplat, J. (2002). De l'étude de cas à l'analyse de l'activité. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, (4-2). Consulté à l'adresse <http://www.pistes.uqam.ca/v4n2/articles/v4n2a8.htm>
- Liu, Y. E., Andersen, E., Snider, R., Cooper, S., & Popovic, Z. (2011). Feature-Based Projections for Effective Playtrace Analysis. In *Proceedings of the Sixth International Conference on the Foundations of Digital Games*.
- Luengo, V. (2009). *Les rétroactions épistémiques dans les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*. Consulté à l'adresse <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00699802>
- Luengo, V., Vadcard, L., Dubois, M., & Mufti-Alchawafa, D. (2006). TELEOS : de l'analyse de l'activité professionnelle à la formalisation des connaissances pour un environnement d'apprentissage (p. 101-110). Présenté à 17e journées francophones d'Ingénierie des connaissances IC'2006. Consulté à l'adresse <https://telearn.archives-ouvertes.fr/hal-00190719/document>
- Lund, K., & Mille, A. (2009). Traces, traces d'interactions, traces d'apprentissages : définitions, modèles informatiques, structurations, traitements et usages. In H. S.

- Publications (Éd.), *Analyse de traces et personnalisation des environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (p. 21–66). Hermes Sciences Publications.
- Malone, T. W. (1981). Toward a theory of intrinsically motivating instruction. *Cognitive Science*, 5(4), 333–369. doi:10.1016/S0364-0213(81)80017-1
- Marty, J.-C., Carron, T., & Pernelle, P. (2012). Observe and react: interactive indicators for monitoring pedagogical sessions. *International Journal of Learning Technology*, 7(3), 277–296.
- Messick, S. (1994). The Interplay of Evidence and Consequences in the Validation of Performance Assessments. *Educational Researcher*, 23(2), 13–23.
doi:10.3102/0013189X023002013
- Milam, D., & El Nasr, M. S. (2010). Analysis of Navigation Behavior and Enjoyment in Assassins Creed II.
- Mislevy, R. J., Steinberg, L. S., & Almond, R. G. (2003). Focus Article: On the Structure of Educational Assessments. *Measurement: Interdisciplinary Research & Perspective*, 1(1), 3–62. doi:10.1207/S15366359MEA0101_02
- Mitrović, A. (1998). Experiences in Implementing Constraint-Based Modeling in SQL-Tutor. In B. P. Goettl, H. M. Halff, C. L. Redfield, & V. J. Shute (Éd.), *Intelligent Tutoring Systems* (Vol. 1452, p. 414–423). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
Consulté à l'adresse <http://www.springerlink.com/content/a3113k47264717r1/>
- Mizoguchi, R., Vanwelkenhuysen, J., & Ikeda, M. (1995). Task ontology for reuse of problem solving knowledge. *Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building & Knowledge Sharing*, 46–59.
- Montmollin, M. de. (1984). L'intelligence de la tâche. *Éléments d'ergonomie cognitive*. Berne, Edition Peter Lang 1983, 187 p.
- Moreno-Ger, P., Burgos, D., Martínez-Ortiz, I., Sierra, J. L., & Fernández-Manjón, B. (2008). Educational game design for online education. *Computers in Human Behavior*, 24(6), 2530–2540. doi:10.1016/j.chb.2008.03.012
- Natkin, S., & Vega, L. (2003). Petri Net Modelling for the Analysis of the Ordering of Actions in Computer Games. Présenté à 4th International Conference on Intelligent Games and Simulation (GAME-ON 2003).
- Noy, N. F., & McGuinness, D. L. (2001). *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*. Stanford knowledge systems laboratory technical report KSL-01-05 and Stanford medical informatics technical report SMI-2001-0880.

- Ohlsson, S. (1996). Learning from performance errors. *Psychological Review*, 103(2), 241-262. doi:10.1037/0033-295X.103.2.241
- Petit dit Dariel, O. J., Raby, T., Ravaut, F., & Rothan-Tondeur, M. (2013). Developing the Serious Games potential in nursing education. *Nurse Education Today*, 33(12), 1569-1575. doi:10.1016/j.nedt.2012.12.014
- Prensky, M. (2003, octobre). Digital game-based learning, 1(1).
- Py, D. (1996). Aide à la démonstration en géométrie: le projet Mentoniez. *Sciences et techniques éducatives*, 3(2), 227-256.
- Raby, T., & Ravaut, F. (2011). Utilisation d'ontologies dans une application médicale décisionnelle. In *Symposium Mobilité et Santé, Colloque scientifique Ludovia*. Ax-les-Thermes.
- Rickel, J., & Johnson, W. L. (1998). STEVE: A Pedagogical Agent for Virtual Reality. *Proceedings Of The Second International Conference On Autonomous Agents*, 332-333.
- Riout, F. (2009). Fouille de traces pour la recommandation stratégique en sport électronique. In *Workshop ICT2009 : Interactions, Contextes, Traces*. Caen.
- Riout, F., Metivier, J.-P., Helleu, B., Scelles, N., & Durand, C. (s. d.). Fouille de traces de jeu vidéo en compétition: Une approche stratégique et sportive. *Ingénierie des systèmes d'information*, 17(2), 99-120.
- Rupp, A. A., Gushta, M., Mislavy, R. J., & Shaffer, D. W. (2010). Evidence-centered design of epistemic games: Measurement principles for complex learning environments. *The Journal of Technology, Learning and Assessment*, 8(4).
- Serrano, A., Marchiori, E. J., del Blanco, A., Torrente, J., & Fernandez-Manjon, B. (2012). A framework to improve evaluation in educational games. In *Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2012 IEEE* (p. 1 -8). Marrakesh, Morocco. doi:10.1109/EDUCON.2012.6201154
- Shute, V. J. (2009). Simply Assessment. *International Journal of Learning and Media*, 1(2), 1-11. doi:10.1162/ijlm.2009.0014
- Shute, V. J., Masduki, I., & Donmez, O. (2010). Conceptual framework for modeling, assessing, and supporting competencies within game environments. *Technology, Instruction, Cognition, and Learning*, 8(2), 137-161.
- Smith, A. M., Andersen, E., Mateas, M., & Popović, Z. (2012). A case study of expressively constrainable level design automation tools for a puzzle game. In *Proceedings of the*

- International Conference on the Foundations of Digital Games* (p. 156–163). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/2282338.2282370
- Suraweera, P., & Mitrovic, A. (2002). KERMIT: A Constraint-Based Tutor for Database Modeling. In S. A. Cerri, G. Gouardères, & F. Paraguaçu (Éd.), *Intelligent Tutoring Systems* (p. 377-387). Springer Berlin Heidelberg. Consulté à l'adresse http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-47987-2_41
- Swartout, B., Patil, R., Knight, K., & Russ, T. (1996). Toward distributed use of large-scale ontologies. In *Proc. of the Tenth Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems*.
- Synnaeve, G., & Bessiere, P. (2011). A Bayesian Model for Plan Recognition in RTS Games Applied to StarCraft. In *AIIDE*.
- Thomas, J. M., & Young, R. M. (2010). Annie: Automated Generation of Adaptive Learner Guidance for Fun Serious Games. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 3(4), 329-343. doi:10.1109/TLT.2010.32
- Thomas, P. (2012). Quelle évaluation de l'apprentissage dans les jeux sérieux ? *Economie et management*, (145), 49-54.
- Toussaint, B.-M., Luengo, V., Vadcard, L., & Tonetti, J. (2014). Apprentissage de la chirurgie orthopédique assisté par ordinateur : Le cas du Système Tutoriel Intelligent TELEOS. *Field Actions Science Reports. The Journal of Field Actions*, (Special Issue 9). Consulté à l'adresse <http://factsreports.revues.org/3169>
- Tychsen, A., & Canossa, A. (2008). Defining personas in games using metrics. In *Proceedings of the 2008 Conference on Future Play: Research, Play, Share* (p. 73–80). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/1496984.1496997
- Van Heijst, G., Schreiber, A. T., & Wielinga, B. J. (1997). Using explicit ontologies in KBS development. *International journal of human-computer studies*, 46(2), 183-292.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels' Recherches en Didactique des Mathématiques 10 (2, 3), 133-170. *Vergnaud213310Recherches en Didactique des Mathématiques1990*.
- Weed, L. L. (1970). *Medical records, medical education, and patient care: the problem-oriented record as a basic tool*. Press of Case Western Reserve University.
- Yessad, A., Thomas, P., Capdevilla, B., & Labat, J.-M. (2010). Using the Petri Nets for the Learner Assessment in Serious Games. In *Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 6483/2010, p. 339-348). Springer. doi:10.1007/978-3-642-17407-0_35