UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ARCHITECTURE DE GÉNÉRATION AUTOMATIQUE DE SCÉNARIOS PÉDAGOGIQUES DE JEUX SÉRIEUX ÉDUCATIFS

THÈSE

PRÉSENTÉE

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DU DOCTORAT EN INFORMATIQUE COGNITIVE

PAR

SOPHIE CALLIES

OCTOBRE 2016

à Iria et Maëlys

à François et Denise de Saint-Laurent

REMERCIEMENTS

Parce qu'une doctorante a besoin d'être guidée et soutenue dans les différentes étapes de la thèse, j'aimerais tout d'abord remercier ma directrice et mon co-directeur de thèse. Josianne Basque, de par son expertise en technologie éducative et en éducation, a contribué au volet pédagogique de cette thèse, tout en assurant un encadrement idéal. Ses rétroactions et ses conseils ont été précieux et restent bien ancrés dans ma mémoire. Éric Beaudry a complété de manière très pertinente et pédagogue ma formation en intelligence artificielle et a contribué au volet informatique de cette thèse. Je voudrais les remercier tous les deux d'avoir respecté mon rythme un peu particulier de doctorante, d'étudiante, de travailleuse et de mère de famille, de m'avoir laissé libre dans mes choix et mes convictions, tout en m'assurant un soutien quand j'en avais besoin.

Cette thèse a été réalisée en étroite collaboration avec l'étudiant en maitrise en informatique Nicolas Sola qui a codé une grande partie du jeu sérieux *Game of Homes*. Je le remercie particulièrement pour sa patience et son efficacité. D'autres étudiants ont eux aussi investi du temps et de l'énergie dans *Game of Homes* et ont contribué à son amélioration. Je remercie Émeric Morin, Christophe Gigax, Chloé Chevrier, Mathieu Gravel, Dorian Graner et Sylvain Labranche. Je remercie également les participantes et les participants des expérimentations.

J’aimerais remercier les professeurs du doctorat en informatique cognitive (DIC) qui ont contribué à ma formation, et tout particulièrement Daniel Memmi et Pierre Poirier. Je me suis sentie vraiment bien accueillie dans ce programme, notamment par Mounir Boukadoum et Roger Nkambou.

J’aimerais remercier également mes différents employeurs qui m’ont permis d’effectuer cette thèse dans de bonnes conditions, et qui m’ont permis d’approfondir mes connaissances et d’accumuler une expérience professionnelle qui est et restera très pertinente dans ma carrière. Je remercie donc les institutions suivantes : la TÉLUQ, l’UQAM, le Collège de Maisonneuve et le Centre jeunesse de Montréal, ainsi que les professeurs Josianne Basque, Éric Beaudry, Roger Nkambou, Béatrice Pudelko, Caroline Brassard, Martin Noël et Hakim Lounis.

Réaliser une thèse n’est pas toujours évident, et les périodes de doute viennent parfois obscurcir les pensées des doctorants. Dans mon cas, une seule personne a su les ôter à chaque fois, et c’est pourquoi je remercie du fond du cœur mon conjoint Cédrick Félicité qui a permis, par sa patience, sa compréhension et son soutien, l’aboutissement de cette thèse. J’en profite pour remercier également mes filles pour m’avoir laissée (presque) toujours travailler sur ma thèse et d’avoir fait toutes les deux leurs nuits à trois semaines!

Je ne serais jamais arrivée jusqu’à la thèse sans l’aide et le soutien de mes parents qui ont financé une grande partie de mes études. Cette thèse est donc le fruit de leur confiance et de leur croyance en moi et je les remercie, comme je les remercie de m’avoir laissée partir si loin d’eux. Je remercie également mon frère et mes sœurs, que je n’oublie pas, malgré leur éloignement… Merci à mon grand-père et ma mère d’avoir tant joué avec nous à toutes sortes de jeux.

Mes amis ont eux aussi contribué un peu à cette thèse, soit en me posant mille questions sur les jeux sérieux et l’intelligence artificielle, soit en ne me parlant pas du tout de ma thèse, ce qui est parfois reposant. Dans tous les cas, ils ont été un soutien

et un réconfort, et je tiens particulièrement à remercier Sonja, Geneviève, Marion, ma Cocotte, Clo, la Gang des Magic, Romaine, Victoria, François, Alice et Toinou, Ramzy, Sandra et Thomas, David, Loïc, Gérald, Joanne, Gaby et Romain, Jocelyn et Isabelle.

Enfin, je tiens à remercier, en vrac, la panthère rose, le café Sfouf, Alan Turing, Vivaldi, Mr. Hubertu, les sushis d'à côté et la garderie le Lapin-Lièvre.

Je dédie cette thèse à toutes les étudiantes et tous les étudiants : ne laissez personne dire que vos projets sont trop ambitieux. Réalisez-les!

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES XIII
LISTE DES TABLEAUX XV
LISTE DES ACRONYMES XVII
RÉSUMÉ XIX
INTRODUCTION 1
CHAPITRE I 7
LE DESIGN DES JEUX SÉRIEUX ÉDUCATIFS EN TANT QUE EIAH ET JEUX VIDÉO : FONDEMENTS THÉORIQUES 7
1.1 Apport des théories de l'apprentissage au design de jeux sérieux éducatifs 7
1.2 Apport des théories motivationnelles de l'apprentissage au design de jeux sérieux éducatifs 14
1.3 Apport des travaux en ingénierie pédagogique et en design de jeux vidéo à la scénarisation de jeux sérieux éducatifs 24
1.4 Rôle et structure des scénarios pédagogiques de jeu dans notre architecture 33
CHAPITRE II 37
DE L'ADAPTABILITÉ À LA GÉNÉRATION AUTOMATIQUE DE SCÉNARIOS DANS LES JEUX SÉRIEUX ÉDUCATIFS 37
2.1 Généralités sur l'évaluation de l'apprentissage et sur l'adaptabilité dans les EIAH et les jeux vidéo 37
2.2 Taxonomie de l'évaluation de l'apprentissage et de l'adaptabilité dans les EIAH et les jeux vidéo 41
2.2.1 Cibles de l'évaluation de l'apprentissage et de l'adaptabilité 42
2.2.2 Objectifs de l'évaluation de l'apprentissage et de l'adaptabilité 43
2.2.3 Niveaux de l'évaluation de l'apprentissage et de l'adaptabilité 46
2.2.4 Techniques d'évaluation de l'apprentissage et d'adaptabilité internes 48

2.2.5 Synthèse de la taxonomie de l'évaluation de l'apprentissage et de l'adaptabilité dans les JSÉ 57

2.3 Aspects problématiques et critiques de notre analyse 59

2.4 Génération automatique de scénarios dans les jeux sérieux éducatifs et dans les EIAH 61

CHAPITRE III 67

PROPOSITION D'UNE ARCHITECTURE DE GÉNÉRATION AUTOMATIQUE DE SCÉNARIOS PÉDAGOGIQUES DE JEUX 67

3.1 Justification du choix de la simulation comme type de jeux sérieux éducatifs pour la conception de notre architecture 68

3.2 Problèmes, lacunes et enjeux de la génération automatique de scénarios pédagogiques de jeu 70

3.2.1 Incertitude reliée à l'évaluation de l'apprentissage et apport de la modélisation du joueur-apprenant et de ses connaissances 70

3.2.2 Adaptation au niveau interne en direct des scénarios pédagogiques de jeu et apport de la planification 74

3.2.3 Engagement dans les jeux sérieux éducatifs 75

3.2.4 Apport des scénarios pédagogiques de jeu adaptés par rapport aux scénarios pédagogiques de jeu scriptés 77

3.3 Proposition d'architecture générique de génération automatique de scénarios pédagogiques dans les jeux sérieux éducatifs de simulation 77

3.3.1 Version générique de notre architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques dans les jeux sérieux éducatifs de simulation 78

3.3.2 Modèle du joueur-apprenant soutenu par l'approche bayésienne et son rôle dans notre architecture 79

3.3.3 Module d'adaptation soutenu par la planification et son rôle dans notre architecture 81

3.3.4 Module de traces et son rôle dans notre architecture 85

3.3.5 Question et hypothèses de recherche 86

CHAPITRE IV 89

MISE EN ŒUVRE DE L'ARCHITECTURE DE GÉNÉRATION AUTOMATIQUE DE SCÉNARIOS PÉDAGOGIQUES DANS *GAME OF HOMES* 89

4.1 Domaine de la vente immobilière et modélisation des connaissances utilisée pour la conception de *Game of Homes* 89

4.2 *Gameplay* du jeu sérieux éducatif de simulation *Game of Homes* 102
4.3 Modèle de simulation dans *Game of Homes* en lien avec notre architecture .. 104
4.4 Mise en œuvre du modèle du joueur-apprenant dans *Game of Homes* 113
4.4.1 Module du réseau bayésien dans le modèle du joueur-apprenant 113
4.4.2 Module Niveau « Joueur » dans le modèle du joueur-apprenant 117
4.5 Mise en œuvre du module d'adaptation et du module de contrôle dans *Game of Homes* 118
4.6 Conception d'une version scriptée des scénarios pédagogiques de jeu dans *Game of Homes* 131
4.7 Mise en œuvre du module de traces dans *Game of Homes* 132
4.8 Contributions et efforts fournis dans la mise en œuvre de l'architecture de génération automatique de SPJ au sein de notre équipe de recherche 134
CHAPITRE V 137
ÉVALUATION EMPIRIQUE DE L'ARCHITECTURE DE GÉNÉRATION AUTOMATIQUE DE SCÉNARIOS PÉDAGOGIQUES 137
5.1 Enjeux des preuves empiriques d'apprentissage dans les jeux sérieux éducatifs 137
5.2 Expérimentation 1 139
5.2.1 Contexte et objectifs de l'expérimentation 1 139
5.2.2 Design de l'expérimentation 1 et hypothèses 140
5.2.3 Instruments de mesures 141
5.2.4 Participants et procédure 147
5.2.5 Résultats 149
5.2.6 Interprétation des résultats de l'expérimentation 1 158
5.3 Expérimentation 2 161
5.3.1 Contexte et objectifs de l'expérimentation 2 161
5.3.2 Design de l'expérimentation 2 et hypothèses 161
5.3.3 Participants et procédure 162
5.3.4 Résultats 163
5.3.5 Interprétation des résultats de l'expérimentation 2 177

CHAPITRE VI 181
DISCUSSION ET CONCLUSION 181
6.1 Apport de notre architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques de jeu à l'apprentissage et au maintien de l'engagement dans la démarche d'apprentissage 182
6.1.1 Apport du modèle du joueur-apprenant et des modules d'adaptation et de contrôle mis en œuvre dans notre architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques de jeu 182
6.1.2 Apport du module de traces de notre architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques de jeu 184
6.1.3 Limites de notre architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques de jeu et recommandations pour de futures recherches 186
6.2 Choix de la simulation comme type de jeu sérieux éducatif et difficultés méthodologiques rencontrées 188
6.3 Vision des jeux sérieux éducatifs comme outils de recherche 190
6.4 Vers une méthodologie de design des jeux sérieux éducatifs 191
6.5 Conclusion 193
APPENDICE A 195
MODÉLISATION DES CONNAISSANCES DANS *GAME OF HOMES* 195
APPENDICE B 203
CONSIGNES DONNÉES AUX PARTICIPANTS AVANT DE JOUER À *GAME OF HOMES*, FORMULAIRES DE CONSENTEMENT DES DEUX EXPÉRIMENTATIONS ET CERTIFICAT D'ÉTHIQUE 203
APPENDICE C 213
PRÉ ET POSTS-TESTS DE CONNAISSANCES RELATIFS À LA VENTE IMMOBILIÈRE 213
APPENDICE D 231
QUESTIONNAIRE DE MOTIVATION ET D'ENGAGEMENT 231
APPENDICE E 243
TRACES ISSUES DE L'EXPÉRIMENTATION 2 243
APPENDICE F 250
ARTICLES PUBLIÉS ET PARTICIPATION À DES CONFÉRENCES DANS LE CADRE DE LA THÈSE 250
BIBLIOGRAPHIE 253

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
0.1	Représentation schématique de la structure de la thèse	6
1.1	État de flow dans un JSÉ et émotions reliées (tiré de Kiili et al., 2014)	19
1.2	Proposition d'une architecture théorique de JSÉ	24
1.3	La scénarisation pédagogique de jeu dans un JSÉ composé d'une seule unité d'apprentissage	34
2.1	Fonctionnement d'un réseau bayésien dans un modèle de l'apprenant utilisé dans les EIAH	50
2.2	Ébauche d'une architecture de SPJ dans les JSÉ	65
3.1	Proposition d'architecture de génération automatique de SPJ dans les JSÉ de simulation	79
4.1	Exemple d'un modèle conçu avec le logiciel G-MOT (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, P: Précède, I/P : Intrant/Produit)	92
4.2	Premier niveau du modèle de devis intégré de conception de *Game of Homes* (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, P: Précède)	95
4.3	Détails de la connaissance procédurale représentant la compétence 2 « Estimer le prix de vente de la propriété » (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, I/P: Intrant/Produit ou Extrants)	96
4.4	Détail de la connaissance procédurale représentant la compétence 1 « Sélectionner et obtenir le contrat de courtage auprès du Vendeur » (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, P: Précède, I/P: Intrant/Produit ou Extrants)	98
4.5	Les contextes impliqués dans la vente d'une propriété (Légende des liens: C : se Compose de)	100
4.6	Capture de l'écran principal de *Game of Homes*	102

4.7 Le réseau bayésien dans le modèle du JA dans *Game of Homes* avec les variables d'interrogation et les variables d'évidence 115

5.1 Moyenne des scores au pré-test et au post-test de connaissances 150

5.2 Moyennes des scores obtenus au questionnaire de motivation et d'engagement pour chaque aspect motivationnel (N=14) 153

5.3 Évolution des probabilités d'acquisition des compétences calculées par le réseau bayésien en fonction des mois simulés de jeu pour les deux versions du JSÉ de simulation: SPJ scriptés (en rouge) et SPJ adaptés (en bleu) (N=15) 168

5.4 Nombre d'aides affichées pour chaque participant et en fonction du mois simulé de jeu pour les deux versions du JSÉ de simulation: SPJ scriptés (en rouge) et SPJ adaptés (en bleu) (N=15) 169

5.5 Territoires des participants 9 et 16 à la fin de la partie de *Game of Homes* 173

5.6 Graphique de progression de l'argent gagné dans *Game of Homes* en fonction du temps de jeu simulé 176

5.7 Graphique de progression du facteur de réputation dans *Game of Homes* en fonction du temps de jeu simulé 176

A.1 Premier niveau du modèle de devis intégré de conception de *Game of Homes* (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, P: Précède) 198

A.2 Les contextes impliqués dans la vente d'une propriété (Légende des liens: C : se Compose de) 198

A.3 Détail de la connaissance procédurale représentant la compétence 1 « Sélectionner et obtenir le contrat de courtage auprès du Vendeur » (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, P: Précède, I/P: Intrant/Produit ou Extrants) 199

A.4 Détail de la connaissance procédurale représentant la compétence 2 « Estimer le prix de vente de la propriété » (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, I/P: Intrant/Produit ou Extrants) 200

A.5 Détail de la connaissance procédurale représentant la compétence 3 « Gérer et conclure la vente de la propriété » (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, I/P: Intrant/Produit ou Extrants) 201

LISTE DES TABLEAUX

Tableau Page

2.1 Synthèse de la taxonomie de l'évaluation de l'apprentissage et l'adaptabilité concernant les JSÉ 58

3.1 Composantes du planificateur utilisé dans notre architecture de génération automatique de SPJ 83

4.1 Éléments de simulation dans *Game of Homes* et leurs liens avec notre architecture de génération automatique de SPJ (PV = prix de vente, TC = Taux de commission, Caract. = Caractéristiques) 105

4.2 Synthèse des connaissances et sous-connaissances à appliquer dans *Game of Homes*, en lien avec les concepts, les stratégies et les tactiques (caract. = caractéristiques, TC = taux de commission) 110

4.3 Huit actions possibles du plan pédagogique généré par le module d'adaptation dans *Game of Homes* (Cptce = Compétence, RB = Réseau bayésien) 121

4.4 Aides textuelles s'affichant dans *Game of Homes* lorsque le JA n'exécute pas la stratégie ou la tactique pertinente 129

4.5 Répartition des tâches pour la conception de notre architecture et du JSÉ de simulation *Game of Homes* 135

5.1 Synthèse des dimensions en lien avec aspects motivationnels et engageants inclus dans notre questionnaire de motivation 144

5.2 Moyennes du score global, des scores pour les Compétences 1 et 2 et des scores de stratégies pour le pré-test et le post-test de connaissances (Cptce = Compétence) 150

5.3 Moyennes des scores au pré-test et au post-test relatifs aux stratégies (N=14) 152

5.4 Moyennes des scores obtenus pour chaque aspect motivationnel dans le questionnaire de motivation et d'engagement 154

5.5 Fonctionnalités et/ou rétroactions les plus et les moins utilisées dans *Game of Homes* (N=14)..... 155

5.6 Stratégies utilisées dans *Game of Homes*..... 156

5.7 Compétences développées dans *Game of Homes* et utilité du JSÉ de simulation selon les participants..... 157

5.8 Synthèse du contenu des scénarios pédagogiques de jeu dans les deux versions (scriptée et adaptée) de *Game of Homes* (N=15)..... 165

5.9 Exemples de deux SPJ issus des deux versions de *Game of Homes* 170

C.1 Exercices présentés dans les pré et les post-tests de connaissances avec leur contenu pédagogique et leur système de notation (Cptce = Compétence, Sg = Stratégie, TC = taux de commission, caract. = caractéristiques)..... 213

D.1 Version Auteur du questionnaire de motivation et d'engagement..... 231

E.1 Détails des SPJ inclus dans les *logs* pour les participants inclus dans les analyses qualitatives de l'Expérimentation 2 pour les deux versions de *Game of Homes* 243

LISTE DES ACRONYMES

- EA : Évènement d'apprentissage
- EIAH: Environnement informatique pour l'apprentissage humain
- IA: Intelligence artificielle
- JA : Joueur-apprenant
- JSÉ: Jeu sérieux éducatif
- MISA : Méthode d'ingénierie des systèmes d'apprentissage
- PNJ: Personnage non jouable
- RB: Réseau bayésien
- RBD: Réseau bayésien dynamique
- SPJ : Scénarios pédagogiques de jeu
- STI : Système tutoriel intelligent
- UA : Unité d'apprentissage

RÉSUMÉ

Cette thèse porte sur les jeux sérieux éducatifs (JSÉ). En tant qu'environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH), les JSÉ doivent adapter leur contenu à la progression de l'apprentissage chez le joueur-apprenant (JA) et, en tant que jeux vidéo, ils doivent chercher à maintenir son engagement dans cette expérience d'apprentissage. Dans un JSÉ, les tâches que réalise le JA ainsi que les rétroactions que fournit le système forment le scénario pédagogique de jeu (SPJ). Cette thèse se focalise sur l'adaptation de ces SPJ à la progression de l'apprentissage du JA, tout en le maintenant engagé.

Nous proposons une architecture de génération automatique des SPJ principalement composée d'un modèle du JA et d'un module d'adaptation. Le modèle du JA est soutenu par un réseau bayésien, dont le rôle est d'estimer la progression de l'apprentissage en cours de jeu, afin d'envoyer cette estimation au module d'adaptation, qui, grâce à la technique d'intelligence artificielle de la planification, génère le contenu du SPJ.

Nous avons mis en œuvre notre architecture dans un JSÉ de simulation appelé *Game of Homes*, visant le développement de compétences de base en vente immobilière chez des apprenants adultes. Afin d'évaluer empiriquement notre architecture, nous avons effectué deux expérimentations au cours desquelles nous demandions à des participants de jouer à *Game of Homes*. Dans une première expérimentation, quatorze participants ont rempli un test de connaissances un jour avant et un jour après la session de jeu. Ils ont également rempli un questionnaire de motivation et d'engagement immédiatement après la partie. Dans une deuxième expérimentation, dix-huit participants ont participé à une session de *Game of Homes*, et leurs traces enregistrées lors de la partie ont été recueillies. Les résultats des expérimentations montrent que les participants, après avoir joué à *Game of Homes*, ont développé les connaissances associées aux compétences ciblées dans le JSÉ de simulation, tout en se sentant engagés lors de leur expérience de jeu. De plus, les analyses des traces montrent que les SPJ générés par le système étaient adaptés pour chaque JA et respectaient leur progression d'apprentissage.

L'architecture de génération automatique de SPJ présentée dans cette thèse permet non seulement de proposer une démarche d'apprentissage s'adaptant à la progression du JA, mais aussi de révéler des données détaillées sur la démarche de chaque JA qui

peuvent être utiles au formateur. Notre architecture pourrait être mise en œuvre dans d'autres JSÉ de simulation et donc s'appliquer à d'autres domaines d'expertise.

Mots-clefs : jeux sérieux éducatifs de simulation, scénario pédagogique de jeu, système adaptatif d'apprentissage, engagement du joueur-apprenant, développement des compétences, génération automatique de scénarios, réseau bayésien, planification en intelligence artificielle, analyse de traces.

INTRODUCTION

> Les *serious games* [(jeux sérieux)] se positionnent (…) comme de nouvelles solutions de formation qui viennent combler le déséquilibre entre une société multimédia attractive et interactive et un système éducatif ancré sur des modes académiques de transfert de connaissances (Lavergne-Boudier et Dambach, 2010, p. 36).

Cette citation résume bien la tendance en formation depuis une dizaine d'années : les jeux sérieux et de manière plus générale la ludification de la formation sont devenus un véritable phénomène de mode. Les établissements d'enseignement et les entreprises se tournent de plus en plus vers le jeu comme solution pédagogique, arguant qu'il répond davantage aux exigences de la génération née avec les nouvelles technologies (les *Digital Natives* selon Prensky, 2001). Cette génération est très familière aux jeux vidéo notamment et, de par leur interaction quotidienne avec les systèmes informatisés (ordinateurs, téléphones intelligents, tablettes, etc.), traite les informations de manière différente des générations d'avant l'ère numérique. Les jeunes adultes d'aujourd'hui et leurs enfants sont multi-tâches, en plus d'avoir besoin, pour apprendre, d'un contenu pédagogique interactif et accrocheur, suscitant leur intérêt tout en faisant du sens pour eux (Prensky, 2001).

Cette thèse porte sur les jeux sérieux éducatifs (JSÉ). La littérature scientifique comme les médias véhiculent de nombreuses définitions du jeu sérieux, ou s*erious game*. Nous en proposons ici une définition basée sur celles de Abt (1987), Alvarez et Djaouti (2010) et Corti (2006):

> les jeux sérieux sont des systèmes intelligents d'apprentissage dont l'application informatique s'appuie sur les jeux vidéo et ont pour but de

> favoriser la construction de connaissances et le développement de compétences chez le joueur, en exploitant sa capacité de motivation et d'engagement dans le jeu vidéo.

Le qualificatif « éducatifs » ajouté au vocable « jeux sérieux » permet de les distinguer des jeux sérieux visant d'autres buts que l'apprentissage, notamment des visées de marketing (p. ex. le jeu sérieux *America's Army*[1] conçu en 2001, qui vise à recruter de jeunes soldats par l'armée américaine). Parmi les JSÉ soutenant l'apprentissage, un bon nombre visent des buts d'apprentissage de faible complexité telle que la sensibilisation à un domaine ou la mémorisation (p. ex., *Darfur is dying*[2] qui vise à sensibiliser le joueur au quotidien des réfugiés dans un camp au Darfour). Les JSÉ auxquels nous nous intéressons dans cette thèse visent à guider la démarche d'apprentissage de joueurs adultes dans le but de les amener à développer des compétences dans un domaine d'expertise complexe. Ces joueurs trouvent une motivation supplémentaire à apprendre, en étant plongés dans des environnements divertissants où un apprentissage fortement contextualisé et authentique leur permet d'exercer des habiletés de résolution de problèmes qui pourront leur être utiles dans le monde réel.

Cette thèse s'inscrit plus généralement dans le domaine des environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH), dans lequel les recherches portent sur « les situations pédagogiques informatisées et les logiciels qui permettent ces situations » (Tchounikine, 2009, p.13). Nous considérons en effet les JSÉ à la fois comme des EIAH – au même titre que des cours en ligne (*e-learning*), des laboratoires virtuels, des systèmes tutoriels intelligents (STI) – et comme des jeux vidéo. Les EIAH sont soutenus par un système informatique dont l'objectif est de délivrer le contenu pédagogique et les activités d'apprentissage proposées à l'apprenant. Afin de rendre ce système performant, il est possible d'y inclure une ou

[1] https://www.americasarmy.com/
[2] http://www.darfurisdying.com

plusieurs techniques d'intelligence artificielle (IA) dont le rôle est de prendre des décisions, comme le ferait un formateur humain, quant aux activités pédagogiques à réaliser par l'apprenant. Les défis à la fois pédagogiques et informatiques des architectures des JSÉ sont donc importants : la dimension du divertissement basée sur le jeu vidéo doit harmonieusement s'intégrer à la dimension « sérieuse ». Ainsi, la conception d'un JSÉ implique de développer non seulement un scénario de jeu mais également un scénario pédagogique qui engage le joueur dans une démarche d'apprentissage.

Par ailleurs, les JSÉ sont des systèmes informatiques complexes. Ils peuvent en effet être composés, par exemple, d'une simulation et de personnages non jouables (PNJ) et ils comportent une interface graphique présentée à l'apprenant qui interagit avec ce dernier. Ces différentes composantes doivent être coordonnées par plusieurs modules qui sont interconnectées et qui interagissent entre eux. L'architecture du JSÉ spécifie ces interactions entre les modules. Une architecture désigne, en effet, la structure générale du système de jeu, le détail des différents éléments informatiques qui le composent ainsi que les relations entre ces éléments. Ces éléments incluent les éléments humains, à savoir l'apprenant en tant que joueur (ou joueur-apprenant) et, le cas échéant, le pédagogue qui utilise le JSÉ en situation d'enseignement ou de formation. L'architecture précise donc aussi les liens entre ces éléments humains et les éléments informatiques.

Dans le cadre de cette thèse, nous nous intéressons principalement aux JSÉ de simulation, c'est-à-dire des JSÉ dont le contenu pédagogique est présenté au moyen d'une simulation. Cette dernière est alimentée par un simulateur (module informatique) qui permet de mimer un phénomène réel et complexe.

La conception d'un JSÉ visant le développement de compétences dans un domaine complexe d'expertise pose un défi de taille car celui-ci doit amener le joueur-

apprenant (JA) à les développer de manière à la fois rapide et efficace, en le maintenant motivé à la fois dans le jeu et dans une démarche d'apprentissage (Kenny et Gunter, 2007; Muratet *et al*., 2009; Shute, 2011). Face à ce défi, nous nous sommes fixé pour objectif principal dans cette thèse de concevoir une architecture de JSÉ de simulation dont le système de jeu fonctionnant avec une IA permet de générer de manière automatique un scénario pédagogique de jeu (SPJ) s'adaptant à la progression du JA dans sa démarche de développement des compétences et de maintenir à un niveau optimal son engagement dans le jeu.

La structure de la thèse est résumée dans la figure 0.1. Dans le chapitre 1, nous présentons d'abord un état de l'art sur l'apport des théories de l'apprentissage et des théories motivationnelles au design de JSÉ de manière à en dégager les stratégies pédagogiques à privilégier dans de tels EIAH. Nous soulignons par la suite l'apport du domaine de l'ingénierie pédagogique et du design des jeux vidéo (*game design*) à la scénarisation des JSÉ.

Le chapitre 2 dresse un état de l'art sur la question de l'évaluation de la progression de l'apprentissage dans les EIAH ainsi que de l'adaptation des contenus des EIAH et des jeux vidéo. Nous y présentons une taxonomie que nous avons conçue pour brosser un portrait d'ensemble de l'évaluation de l'apprentissage et de l'adaptabilité dans les EIAH et dans les jeux vidéo, dont les techniques d'IA utilisées à ces effets (plus particulièrement, l'approche probabiliste des réseaux bayésiens et la planification). L'analyse et la critique de cette taxonomie ont guidé notre réflexion vers l'idée de génération automatique des scénarios dans les JSÉ soutenue par des techniques d'IA.

Dans le chapitre 3, nous proposons de concevoir notre architecture de génération automatique de SPJ dans le cas des JSÉ de type simulation, et nous exposons nos justifications à ce sujet. Ensuite, nous analysons les limites et les problèmes de la génération automatique de SPJ soulevés dans la littérature pour ce type de JSÉ, entre

autres. Ceci nous amène à présenter une version générique de notre architecture de génération automatique des SPJ, soutenue par les techniques d'IA de l'approche probabiliste des réseaux bayésiens (RB) et de la planification. Nous terminons ce chapitre par la présentation de la question de recherche ainsi que des principales hypothèses de recherche.

Le chapitre 4 présente la mise en œuvre de notre architecture réalisée dans un JSÉ de simulation appelé *Game of Homes*. Nous décrivons les étapes préalables à cette mise en œuvre, incluant notamment celle de la modélisation des connaissances mobilisées dans les compétences visées dans le JSÉ, puis présentons notre JSÉ de simulation *Game of Homes* et enfin détaillons l'implémentation en tant que telle, en insistant sur les composantes clés de notre architecture : le modèle de l'apprenant, les modules d'adaptation et de contrôle ainsi que le module de traces.

Afin de démontrer la valeur pédagogique de notre architecture de génération automatique de SPJ, le chapitre 5 présente le déroulement et les résultats de l'évaluation empirique que nous en avons faite. Celle-ci a consisté, dans une première expérimentation, à vérifier que *Game of Homes* favorisait chez les JA le développement des compétences ciblées dans le JSÉ de simulation, et, dans une deuxième expérimentation, que les SPJ générés dans *Game of Homes* étaient adaptés et propres à chaque joueur et révélaient la progression de leur apprentissage.

Le chapitre 6 présente enfin la discussion de la thèse, dans laquelle nous analysons les principaux résultats de l'évaluation empirique qui révèlent les contributions de cette thèse de même que les limites de notre architecture et les difficultés méthodologiques éprouvées, notamment dues au choix de la simulation comme type de JSÉ. Nous présentons également notre vision des JSÉ en tant qu'outils de recherche et enfin la contribution de cette thèse dans l'élaboration future d'une méthodologie de design de JSÉ.

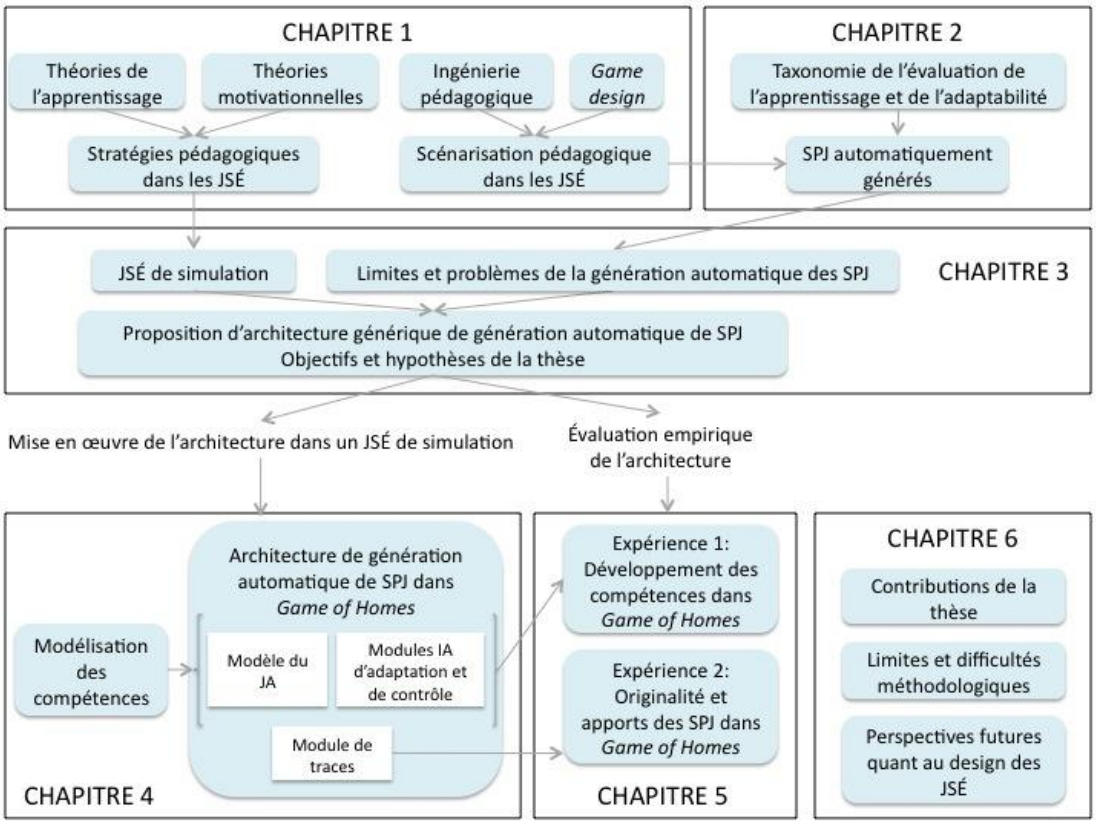


Figure 0.1 Représentation schématique de la structure de la thèse

CHAPITRE I

LE DESIGN DES JEUX SÉRIEUX ÉDUCATIFS EN TANT QUE EIAH ET JEUX VIDÉO : FONDEMENTS THÉORIQUES

Les travaux sur les jeux sérieux éducatifs (JSÉ), considérés à la fois en tant qu'environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH) et que jeux vidéo, s'appuient sur des fondements théoriques issus des sciences de l'éducation et de l'informatique, ainsi que des travaux sur l'ingénierie pédagogique et le design des jeux vidéo (*game design*) et des simulations. Ce chapitre vise à présenter ces fondements et d'en dégager les principes de design sous-jacents qui ont guidé l'élaboration de notre architecture des JSÉ de simulation. Dans une première section, nous nous attardons à l'apport des théories de l'apprentissage, puis en deuxième section à celui des théories motivationnelles de l'apprentissage au design de JSÉ. Dans une troisième section, nous tirons des travaux en ingénierie pédagogique et en design des jeux vidéo et des simulations des principes à retenir pour la scénarisation de JSÉ.

1.1 Apport des théories de l'apprentissage au design de jeux sérieux éducatifs

Parmi les théories de l'apprentissage, celle de l'apprentissage situé (Brown *et al*., 1989) s'applique particulièrement bien aux environnements divertissants d'apprentissage selon plusieurs chercheurs du domaine des JSÉ (Gee, 2003; Mills et Dalgarno, 2007; Nadolski *et al*., 2008; Shute, 2011; Squire, 2005). Cette théorie prône la mise en pratique réaliste, authentique et contextualisée des connaissances et

des compétences à développer chez l'apprenant (Brown *et al*., 1989; Gee, 2003; Squire, 2005). Cette mise en pratique a pour avantage de donner un sens concret à l'apprentissage, les chercheurs faisant l'hypothèse que le développement de compétences se fait efficacement dans un contexte d'apprentissage pertinent (Brown *et al*., 1989; Nadolski *et al*., 2008), et non de manière isolée et abstraite (Squire, 2005). Herrington et Oliver (2000, dans Basque *et al*., 2005) distinguent deux significations au concept d'authenticité de l'apprentissage dont il est question dans la théorie de l'apprentissage situé. Dans un premier sens, il est question d'un contexte authentique, celui-ci faisant référence au caractère complexe et « réutilisable des connaissances exercées dans l'environnement d'apprentissage » (Basque *et al*., 2005, p. 182). Dans un second sens, il est fait référence à la pertinence des activités proposées à l'apprenant dans cet environnement « par rapport au monde réel, leur faible structuration, leur complexité, leur transdisciplinarité ainsi que leur durée soutenue permettant l'exploration, l'analyse et la collaboration » (Basque *et al*., 2005, p. 183). Reeves *et al*. (2002) ajoutent que des activités authentiques devraient (a) simuler le domaine d'expertise réel, (b) présenter des situations-problèmes « mal définies » (*ill-defined*), c'est-à-dire qui peuvent se résoudre de différentes manières (afin de permettre à l'apprenant de formuler plusieurs interprétations possibles) et suffisamment complexes (la démarche de résolution pouvant être composée de tâches et de sous-tâches que l'apprenant peut choisir), (c) permettre à l'apprenant d'analyser les tâches sous différentes perspectives, (d) entraîner une réflexion chez l'apprenant quant à ses choix, (e) être étroitement intégrées à des évaluations elles aussi contextualisées et (f) induire une variété de solutions et non une seule réponse correcte.

La théorie de l'apprentissage situé s'inscrit parmi les théories associées à l'approche constructiviste de l'apprentissage (Bransford *et al*., 2000; Bruner, 1961; Quinn, 2005), qui est également fréquemment citée par les auteurs dans le domaine des JSÉ

(Kiili *et al*., 2014; Lavergne-Boudier et Dambach, 2010; Mills et Dalgarno, 2007; Sauvé et Kaufman, 2010). Cette approche met en valeur le lien direct entre apprentissage et expérience, que l'apprenant renforce en construisant ses connaissances de manière cohérente et organisée et en appliquant ces connaissances à des problèmes tirés de la vie réelle (Catalano *et al*., 2014; Kiili *et al*., 2012). Les JSÉ, comme les jeux vidéo, incitent en effet les joueurs-apprenants (JA) à construire, au cours de leur exploration de l'environnement du jeu, leur propre compréhension située du monde virtuel dans lequel ils sont plongés. L'accent est mis sur la participation active du JA (Kiili *et al*., 2014; Mills et Dalgarno, 2007) : l'interaction étroite que le système permet entre le JA et l'environnement de jeu favoriserait la construction active de connaissances chez le JA (Lavergne-Boudier et Dambach, 2010). Ce dernier peut poser diverses actions de jeu et chercher à extraire les règles qui les régissent (Lavergne-Boudier et Dambach, 2010), ce qui favoriserait chez lui la construction progressive de structures mentales au fil de son interaction avec le jeu. De plus, le jeu vidéo ou le JSÉ crée un environnement qui permet au joueur de manipuler des connaissances toujours contextualisées, tout en maintenant sa capacité d'abstraction. Afin de favoriser cette construction des connaissances, il est impératif de bien doser la difficulté des problèmes auxquels le JA est confronté dans l'environnement de jeu, en le maintenant dans une « zone proximale de développement ». Cette notion proposée par Vygotsky (1978) dans sa théorie socioculturelle de la cognition est interprétée, dans le domaine des JSÉ, comme la distance entre le niveau de compétence actuel de l'apprenant et le niveau de difficulté du jeu (McNamara *et al*., 2009; Niehaus et Riedl, 2009a). Si le niveau de difficulté est trop élevé par rapport à son niveau actuel de compétence, cela engendrera chez lui de la frustration et/ou de la confusion; à l'inverse, un niveau de difficulté trop faible engendrera de l'ennui, ce qui serait défavorable à sa démarche d'apprentissage.

Par ailleurs, les théories cognitives de l'apprentissage envisagent l'apprentissage comme l'acquisition et/ou la restructuration de structures cognitives (Catalano *et al*., 2014) et non pas seulement l'accumulation des connaissances (Squire, 2005). Parmi ces théories, on retrouve la théorie de la flexibilité cognitive (Spiro, 1988; Spiro *et al*., 1992), qui est peu citée dans les travaux sur les JSÉ et qui pourtant nous apparaît particulièrement pertinente. Elle stipule en effet que l'apprentissage, dans des domaines d'apprentissage complexes et « mal définis », est un processus de construction et de restructuration spontanée des connaissances sous la forme d'une adaptation continue de celles-ci en réponse aux changements de contexte. Les apprenants, en développant leur propre représentation de l'information qui leur est présentée, développent une compréhension profonde du contenu concerné en s'exerçant à l'appliquer dans plusieurs contextes d'apprentissage, le but ultime étant de favoriser le transfert des apprentissages dans divers contextes. Par contexte d'apprentissage, nous entendons les différentes situations qui peuvent se présenter à l'apprenant. Les connaissances de l'apprenant passent ainsi d'une structure « rigide », où la même structure de connaissances est utilisée dans divers contextes, à une structure « flexible », où les connaissances se restructurent afin de s'adapter aux différents contextes (Spiro, 1988). Les apprenants, en devenant experts dans un domaine, font ainsi preuve de flexibilité cognitive. Lemaire et Callies (2009), dans le domaine de l'arithmétique, ont par exemple montré qu'avec l'expérience, les enfants étaient capables d'adapter des stratégies de calcul au contexte, à savoir à la difficulté des opérations mathématiques à réaliser. Ainsi, afin de permettre à l'apprenant de développer sa flexibilité cognitive dans un domaine de connaissances, l'environnement d'apprentissage doit : (a) éviter de simplifier le domaine: si l'apprenant doit pouvoir sélectionner les connaissances à utiliser pour résoudre un problème de manière adaptative, le contenu de l'environnement d'apprentissage doit donc être complexe de manière à ce que cette sélection soit significative pour l'apprenant; (b) offrir de multiples représentations du domaine, afin que l'apprenant

puisse se constituer un répertoire varié de stratégies cognitives qu'il pourra utiliser dans différents contextes pour résoudre des problèmes; (c) présenter le domaine de manière interconnectée et non compartimentée : les concepts et ses applications dans le domaine ne peuvent pas être présentés séparément à l'apprenant; (d) éviter de rendre l'acquisition des connaissances évidente pour l'apprenant, qui doit activement chercher de par lui-même à comprendre le contenu, tout en recevant de l'aide au besoin (Spiro, 1988).

Des différentes théories de l'apprentissage présentées dans les paragraphes précédents, découlent des principes à favoriser dans la conception de JSÉ qui ont inspiré plusieurs chercheurs ayant mené des travaux sur les environnements de JSÉ (Catalano *et al*., 2014; Garris *et al*., 2002; Kiili, 2005; Protopsaltis *et al*., 2011).

En particulier, certains (Paraskeva *et al*., 2010; Shute, 2011) font référence à l'approche de l'apprentissage par la découverte et par l'exploration proposée par Bruner (1961), qui s'oppose à l'apprentissage passif dans lequel l'individu ne fait que recevoir des informations (Tamir, 1994). Plus spécifiquement, cette approche prône une « technique d'enseignement dans laquelle l'apprenant 'découvre' de façon indépendante, par expérimentation et exploration, ce qu'il y a à apprendre, plutôt que de recevoir directement le contenu à apprendre » (Hawes et Hawes, 1982, p. 67, traduction libre).

L'approche de l'apprentissage expérientiel (Kolb, 1984) est également fréquemment citée. Associée aux théories constructivistes de l'apprentissage et de l'apprentissage situé, l'approche prône une démarche d'apprentissage impliquant l'observation réflexive par l'apprenant des informations extraites d'une expérience concrète, sous forme d'hypothèses testées par la suite (Kiili, 2005; Squire, 2005). Ainsi, selon Kolb (1984), l'apprentissage est le résultat d'un « processus par lequel la connaissance est créée à partir de la transformation de l'expérience » (p. 41). La démarche

d'apprentissage comporte quatre phases : (1) acquérir une expérience concrète dans un domaine, puis (2) faire un travail d'observation et de réflexion sur cette expérience, pour en (3) formuler des concepts plus abstraits, et enfin (4) expérimenter de nouveau afin de valider sa compréhension de ces concepts.

Les concepteurs de jeux vidéo et de JSÉ peuvent également s'inspirer de la stratégie pédagogique de la résolution de problèmes (ou par problèmes) (Corti, 2006; Mills et Dalgarno, 2007), qui est très documentée dans les écrits en sciences de l'éducation (Barrows et Tamblyn, 1980; Jonassen, 1997; Merrill, 2002) et qui répond à la fois aux exigences théoriques et aux principes de design à retenir pour les JSÉ cités jusqu'ici. Un JSÉ, comme un jeu vidéo, peut en effet être vu comme un environnement d'apprentissage présentant un problème complexe à résoudre, composé lui-même de plusieurs sous-problèmes. La complexité du problème a son importance : c'est elle qui permet d'assurer la progression de l'apprentissage dans le jeu (Squire, 2005). Cette stratégie pédagogique incite à la découverte et à l'exploration au cours d'une démarche de résolution de problèmes authentiques (Merrill, 2002). La solution du problème ne doit pas être directement atteignable (Kiili, 2005) et l'apprenant doit utiliser, pour résoudre le problème, des ressources et des outils fournis dans le jeu. Dans un environnement d'apprentissage par problèmes, l'apprenant doit prendre la décision la plus optimale possible parmi plusieurs options possibles (Jonassen, 1997) et, comme un expert, il doit s'adapter aux situations en choisissant une solution parmi d'autres (Hatano et Inagaki, 1984, dans Cram *et al*., 2011). Le choix de la solution dépend des conséquences anticipées de chaque option de solution, mais ces conséquences dépendent des contraintes et des caractéristiques du problème et du contexte dans lequel il est posé.

Les jeux vidéo en particulier ne dévoilent volontairement pas toujours ces solutions, et c'est alors au joueur de découvrir de nouvelles règles ou tactiques (VanDeventer et White, 2002). Par l'expérience de jeu, il peut reproduire les actions guidées par une

stratégie s'étant révélée efficace dans un précédent jeu ou un précédent niveau du jeu. On parle alors de « transfert de connaissances antérieures » (Gee, 2003, p. 126). À ce stade, les compétences du joueur deviennent de plus en plus automatisées, de l'ordre du procédural. La structure mentale, composée de connaissances déclaratives et procédurales, est alors en place. Mais le jeu vidéo offre plus encore au niveau cognitif: il permet de confronter le joueur à ces automatisations développées, par exemple lors d'un nouveau niveau de jeu (et donc lors d'un changement de contexte que le jeu permet) où les routines ne fonctionnent plus. La stratégie utilisée jusqu'alors est à revoir (ou à rejeter) et le processus de transfert laisse ainsi une place à l'innovation (Gee, 2003) pour découvrir de nouvelles stratégies. La structure mentale existante n'est pas forcément détruite. Elle peut alors être reconstruite dans un processus de restructuration des connaissances, très étudié en sciences cognitives et vue plus haut (Spiro, 1988; Vosniadou, et Brewer, 1987).

Enfin, par ces cycles répétés de pratiques au cours du jeu et par la restructuration de ses connaissances, le joueur acquiert une forme d'expertise liée au contenu du jeu. Les jeux vidéo ou JSÉ sont en effet construits sur le modèle de la « spirale vertueuse de l'acquisition de l'expertise » (Lavergne-Boudier et Dambach, 2010, p. 115), où le joueur doit réutiliser les compétences acquises mais aussi les améliorer pour atteindre les objectifs de jeu. Ainsi, grâce à la résolution de problème, le JA, dans un JSÉ, devrait normalement s'être créé un répertoire de stratégies et être capable de (re)exécuter ces stratégies de manière efficace. Comme le stipule la théorie de la flexibilité cognitive, le JA serait ainsi capable d'« adaptabilité stratégique » ou de « flexibilité stratégique » quand la stratégie qu'il choisit d'appliquer est adaptée au problème posé (i.e. stratégie optimale), c'est-à-dire que son utilisation aboutirait à la meilleure performance tout en minimisant la quantité de ressources cognitives requises, autrement dit, qu'elle entraînerait moins d'erreurs et permettrait de le mener

plus rapidement à sa solution en en réduisant les étapes de résolution (Blöte *et al*., 2001 ; Lemaire et Callies, 2009).

1.2 Apport des théories motivationnelles de l'apprentissage au design de jeux sérieux éducatifs

Les théories motivationnelles de l'apprentissage (Keller, 1983) sont également fréquemment citées dans les travaux sur les JSÉ (Gunter *et al*., 2006; Pedersen *et al*., 2010). Effectivement, les jeux en général et plus particulièrement les jeux vidéo et les JSÉ sont conçus dans le but, en plus de favoriser l'apprentissage pour ce qui concerne les JSÉ, de motiver et d'engager le joueur ou l'apprenant. Avant de détailler ces théories et les liens que nous pouvons faire entre celles-ci et les JSÉ, il convient de clarifier les concepts impliqués dans ces théories. En effet, les chercheurs du domaine de l'éducation et du design des jeux vidéo utilisent souvent, et parfois de manière interchangeable, les termes de motivation, d'engagement, d'immersion et d'émotion, au sein d'une activité d'apprentissage et/ou d'une interaction avec un système informatique.

Selon Sauvé et Viau (2002, dans Sauvé et Kaufman, 2010), la motivation se définit comme « (…) l'effort ou l'énergie que la personne est prête à consentir pour accomplir une tâche d'apprentissage donnée » (p. 9). Ce comportement se traduit chez l'apprenant par un traitement cognitif que la motivation rend pertinent et engageant tant au niveau cognitif qu'émotionnel (Du Boulay *et al*., 2010; Ghergulescu et Muntean, 2010; Mayer, 2011). Selon cette définition, la motivation semble donc en lien étroit avec l'engagement : une activité d'apprentissage motivante est une activité qui incite l'apprenant à rester engagé dans cette tâche (Barab *et al*., 2005). Bouvier *et al*. (2013) considèrent l'engagement comme "la volonté d'avoir ses émotions, affect et pensées dirigées vers et déterminées par l'activité médiatisée" (p. 3). Les émotions que l'apprenant peut ressentir lorsqu'il est engagé dans une

activité d'apprentissage sont de nature multimodale et peuvent donc être : (a) comportementales (expressions faciales, discours, postures, etc.), (b) physiologiques (rythme cardiaque, pression sanguine, etc.) (c) cognitives (jugement par l'apprenant de l'environnement d'apprentissage selon ses objectifs et ses croyances) et enfin (d) subjectives (expérience consciente de ses propres émotions) (Hudlicka, 2009).

En revanche, d'autres auteurs soutiennent que la motivation et l'engagement sont deux notions distinctes (p. ex. Fredricks et McColskey, 2012). La motivation, pour ces auteurs, fait référence aux causes de l'implication de l'apprenant dans une activité d'apprentissage; elle évolue donc peu avec le temps et le contexte (Sailer *et al*., 2013). L'engagement, quant à lui, fait référence aux dimensions comportementales, émotionnelles et cognitives de la motivation et ne peut être séparé du contexte d'apprentissage (Fredricks et McColskey, 2012).

Par ailleurs, la motivation et les émotions que l'apprenant peut éprouver dans une activité d'apprentissage semblent au premier abord étroitement liées : tout apprenant ressent en effet du plaisir lorsqu'il réussit une activité, ce qui le motive à continuer à apprendre. Mais il est important de souligner ici que ce lien ne se cantonne pas aux émotions positives : l'apprentissage peut aussi être suscité et même amélioré par la frustration (Du Boulay *et al*., 2010). Ainsi, selon Du Boulay *et al*. (2010), « c'est la motivation de l'apprenant qui déterminera la manière dont il va réagir à ces états [émotionnels] (p. ex. s'il va persévérer et si oui, à quel niveau) » (p. 5).

Quant à l'immersion, ce terme est davantage utilisé dans le domaine du design des jeux vidéo: il relie le joueur au contexte « fantaisiste » de l'environnement de jeu (Kenny et Gunter, 2007). Il est défini comme la sensation d'être entouré d'une réalité toute autre focalisant toute l'attention du joueur (Ermi et Mayra, dans Kiili *et al*., 2012). L'immersion peut être sensorielle (musiques, graphismes, etc.) ou basée sur du

challenge (juste équilibre entre le *challenge* et les capacités du joueur). Selon le joueur, l'imagination (capacité pour le joueur d'être absorbé par le jeu en lui-même) peut favoriser l'immersion (Kiili *et al*., 2012).

Motivation, engagement, émotions et immersion sont donc des concepts inter-reliés, mais néanmoins différents. Dans cette thèse, nous proposons de considérer la motivation comme un concept de plus haut niveau qui fait référence à l'envie d'apprendre et aux besoins de l'apprenant. Ce concept englobe donc à la fois l'apprenant en tant qu'individu et son expérience de jeu, alors que l'engagement et l'immersion se focalisent sur l'expérience de jeu. Nous considérons l'engagement et l'immersion comme des concepts très proches et dont la définition rejoint celle de Bouvier *et al*. (2013). Le concept d'engagement ou d'immersion focalise sur les émotions et pensées de l'apprenant dans l'environnement du JSÉ, ce qui rend ce concept plus précis que celui de motivation, dans le sens où le concept d'engagement fait référence à l'interaction étroite entre l'apprenant et le système de JSÉ en cours de jeu.

Parmi les théories motivationnelles que les auteurs voient comme fondement au design des JSÉ, la théorie de Keller (1983) est l'une des plus citées. Cette théorie propose de manière générale d'orienter le processus de design pédagogique de manière à assurer le maintien constant de la motivation chez le joueur. Keller (1983) a ainsi développé le modèle ARCS qui identifie quatre composantes essentielles d'une activité pédagogique motivante: (a) attention (*Attention*) : composante focalisant sur l'éveil de la curiosité et de l'intérêt chez l'apprenant, (b) pertinence (*Relevance*) : composante focalisant sur les besoins et les aspirations de l'apprenant à s'engager dans l'activité, (c) confiance/*challenge* (*Confidence*/*Challenge*) : composante focalisant sur le succès au terme de l'activité, qui est assuré par un apprentissage adapté au niveau de connaissances de l'apprenant et (d) satisfaction/succès (*Satisfaction*/*Success*) : composante focalisant sur les

renforcements ou récompenses fournis à l'apprenant lorsqu'il réussit à réaliser avec succès des activités d'apprentissage. Le modèle ARCS a guidé le design de jeux et notamment de JSÉ dans de nombreuses études (Keller, 1999; Barab *et al*., 2005; Dempsey *et al*., 1998, dans Kenny et Gunter, 2007; Gunter *et al*., 2006).

Une autre théorie motivationnelle qui a influencé de manière très significative les études sur les JSÉ est la théorie de la motivation intrinsèque de Malone (1981; Malone et Lepper, 1987). Malone s'est penché sur l'aspect intrinsèque de la motivation, qui désigne la volonté chez un individu de s'engager dans une activité (notamment un jeu), parce qu'elle est stimulante et intéressante en soi. Pour Malone, seule une relation optimale entre le *challenge*, la fantaisie, la curiosité et le contrôle rendra un jeu amusant et plaisant (Fenouillet *et al*., 2009; Garris *et al*., 2002; Malone, 1981; Rieber et Noah, 2008; Van Staalduinen et de Freitas, 2011; Wouters *et al*., 2013). Tout d'abord, un jeu doit inviter au *challenge* ou au défi contre soi-même, en proposant des objectifs clairs et pertinents, ainsi que des rétroactions immédiates assurant l'engagement et la confiance chez le joueur. Néanmoins, le jeu doit aussi comporter des objectifs cachés, des éléments de hasard, et les résultats des actions du joueur ne devraient pas être certains afin de manifester une forme d'incertitude pour maintenir la curiosité du joueur. Cet élément de curiosité fait aussi référence à la surprise que peut éprouver le joueur et à l'activité exploratoire que permet le jeu. Malone distingue la curiosité sensorielle de la curiosité cognitive. La première fait référence à l'intérêt que provoque une nouvelle sensation dans le jeu par des sons, des effets visuels, etc. Ceux-ci peuvent : (a) rendre le jeu plus esthétique, mais aussi (b) améliorer la fantaisie dans le jeu, (c) être utilisés comme rétroaction donnée au joueur et enfin (d) fournir une représentation graphique d'un concept, plutôt que sous forme de texte. La deuxième fait référence au désir chez le joueur de développer des connaissances et donc de le motiver à compléter, confirmer ou éventuellement changer ses structures incomplètes de connaissances. La dimension de contrôle dans

le jeu fait référence au sentiment de contingence entre les actions du joueur et les résultats de ces actions dans l'environnement du jeu ainsi qu'à celui que rien n'est dû au hasard. Enfin, la fantaisie dans un jeu permet au joueur d'évoquer des images mentales de situations qui ne sont pas présentes dans le jeu. Idéalement, ces situations au sein desquelles les compétences sont apprises devraient dépendre de la fantaisie du jeu présente dans l'environnement du jeu.

Cet accent mis sur le *challenge* et le plaisir dans les jeux nous amène à aborder la théorie du *flow* proposée par le psychologue hongrois Csikszentmihalyi (1990), qui se focalise sur les concepts d'engagement et d'immersion. Seul l'état de *flow* offre au joueur une « expérience optimale » selon l'expression de Csikszentmihalyi (1990) pour que l'apprentissage ait lieu (Barab *et al*., 2005; Fenouillet *et al*., 2009; Kiili *et al*., 2012, 2014; Rosas *et al*., 2003; Squire, 2003; Sweetser et Wyeth, 2005; Van Der Spek, 2012; VanDeventer et White, 2002). Comme le résument Fenouillet *et al*. (2009) :

> Lorsque l'individu plonge dans le *flow*, l'implication dans l'activité est telle qu'il en oublie le temps, la fatigue et tout ce qui l'entoure sauf l'activité elle-même. Dans cet état, l'individu fonctionne au maximum de ses capacités et pour l'expérience de *flow*. L'activité est effectuée pour elle-même (comme défini dans le cadre de la motivation intrinsèque), et ce, même si l'objectif n'est pas encore atteint. La théorie du *flow* est basée sur une expérience symbiotique entre des challenges et les compétences qu'il faut mettre en œuvre pour les relever (p. 4).

Le joueur est donc invité à s'engager dans le jeu de manière immersive, afin d'augmenter son niveau d'attention et de focaliser sa concentration sur les objectifs à atteindre. Cette immersion provoque des sensations de plaisir et d'amusement pour l'activité en elle-même. Afin de provoquer cet état chez le joueur, il faut trouver dans le jeu « un équilibre entre le défi proposé et les compétences de l'individu pour le relever ; on peut parler de maîtrise dans la difficulté (…). En cas de déséquilibre entre le défi et la compétence, nous passons par des états plus ou moins éloignés du flow :

curiosité, anxiété, apathie… » (Denis, 2006, p. 44). Nous pouvons ici faire un lien étroit entre la théorie du *flow* et la notion de zone proximale de développement proposée par Vygotsky (1978) et vue plus haut (Murray et Arroyo, 2002). La difficulté du jeu doit être adaptée au niveau de progression du joueur, afin de ne pas le submerger quant aux apprentissages à effectuer, ce qui entrainerait un risque de frustration et d'anxiété, mais en même temps, il faut ne pas leur rendre les tâches trop faciles à exécuter, ce qui entrainerait un sentiment d'ennui ou de confusion. D'un côté comme de l'autre, le risque ultime est que le joueur se désengage, perde sa motivation (et donc son intérêt) à jouer et abandonne le jeu, comme le montre la figure 1.1. Les émotions ressenties par le joueur sont indiquées en rouge dans la figure.

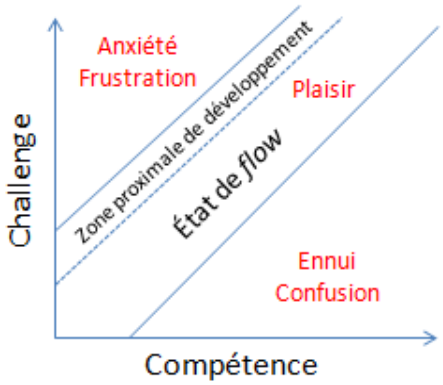


Figure 1.1 État de flow dans un JSÉ et émotions reliées (tiré de Kiili et al., 2014, p. 370)

La théorie du *flow* concernant surtout le domaine des jeux vidéo, il est important de souligner ici, comme le stipule Kiili *et al*. (2014), que dans le contexte plus particulier des JSÉ, l'état de *flow* doit certes être atteint, mais sans outrepasser les objectifs d'apprentissage à réaliser. En effet, l'état de *flow* implique que les tâches à faire dans le jeu deviennent spontanées et automatiques, ce qui n'est pas toujours souhaitable dans un JSÉ où le JA doit pouvoir prendre des temps de réflexion quant

aux activités proposées et construire au fur et à mesure ses connaissances. Aussi, il est important de faire la distinction entre les éléments du JSÉ qui doivent être automatiques (comme les contrôles physiques dans le jeu par exemple) et le contenu pédagogique qui devrait être traité de manière consciente et réfléchie par le JA.

De l'ensemble des théories motivationnelles présentées dans les paragraphes précédents, découlent des principes de design qui sont fréquemment cités dans les écrits rapportant des travaux sur les jeux vidéo et les JSÉ (Barab *et al*., 2005; Dickey, 2005; Fenouillet *et al*., 2009; Garris *et al*., 2002; Lavergne-Boudier et Dambach, 2010; McNamara *et al*., 2009; Sauvé et Kaufman, 2010; Sweetser et Wyeth, 2005). D'abord, le plaisir engendré par le jeu est un principe clé du design des JSÉ, bien qu'il n'en soit pas le but premier :

> le joueur est, à l'inverse du lecteur, investi dans le scénario du jeu. (…) sans son intervention, aucune construction scénaristique ne se concrétise et il se sent l'unique responsable de l'évolution de son histoire et de la situation dans laquelle il se trouve à chaque instant du jeu. Ce double sentiment de responsabilité et d'autonomie est la raison principale de l'addiction des joueurs : le 'savoir-faire' des *game designers* est de maintenir et de renforcer à chaque instant l'engagement du joueur. Le plaisir n'est donc pas le but d'un bon jeu : il n'est que la conséquence de mécaniques psychiques beaucoup plus complexes qui lorsque bien maîtrisées, déclenchent effectivement les sensations de satisfaction recherchées (Lavergne-Boudier et Dambach, 2010, p. 87).

Selon les auteurs cités plus haut, les JSÉ, afin d'assurer un apprentissage engagé et immersif (et donc de respecter l'état de *flow*), devraient, de manière générale, proposer des objectifs clairs, précis et réalisables, des règles claires et convaincantes, de la variété et de la nouveauté, la possibilité pour le JA de choisir ses actions dans le jeu de manière autonome et des rétroactions (positives et négatives) pertinentes.

Par ailleurs, pour induire un sentiment d'autonomie et de contrôle dans le jeu, les règles dans le jeu ne doivent pas être trop restrictives et trop nombreuses. Elles

doivent également permettre au JA d'être responsable de ses actions et de comprendre les raisons de ses succès et échecs. Le JA doit se sentir libre d'agir dans le jeu en l'explorant (Lavergne-Boudier et Dambach, 2010). En plus d'être flexibles, les règles dans un jeu ne devraient pas toutes être explicites :

> les règles doivent plutôt être inférées par le JA en cours de jeu. L'apprentissage des règles qui gouvernent le jeu devient une sorte de processus d'investigation continue au cours duquel le JA élabore des hypothèses, en vérifie leur valeur, modifie ses hypothèses, les teste à nouveau, etc., jusqu'à ce qu'il en vienne à une compréhension complète des règles. Cette démarche de découverte exerce chez le JA un puissant attrait (Sauvé et Kaufman, 2010, p. 57).

Il est important de souligner ici le rôle important que prennent l'erreur et l'échec dans les jeux vidéo. Dans les jeux, l'erreur fait partie intégrante de la progression du joueur. Les hypothèses que le joueur teste engendrent souvent et surtout en début de jeu ou au début des niveaux de jeu, des erreurs qui permettent au joueur de réajuster ses actions en conséquence (Gee, 2005; Lavergne-Boudier et Dambach, 2010; Prensky, 2001; Squire, 2005).

Par ailleurs, les concepteurs de jeux vidéo ont pour habitude d'ajouter des évènements aléatoires dans le jeu, afin de maintenir un certain niveau d'incertitude sur le dénouement du jeu et de maintenir élevée la curiosité du joueur (Sauvé et Kaufman, 2010). La curiosité peut également être induite par le maintien dans le jeu d'une complexité de niveau optimal. Le jeu doit être ni trop compliqué, ni trop simple. Le défi ici est de proposer un contenu toujours nouveau et inattendu, afin que le joueur perçoive que ses connaissances sont incomplètes dans l'immédiat, mais qu'il puisse les restructurer après un temps raisonnable de jeu (Malone, 1981). Le jeu doit donc permettre de proposer un contenu de plus en plus difficile aux joueurs de plus en plus expérimentés (Sweetser et Wyeth, 2005).

La rétroaction (*feedback*) donnée au joueur a également une place prépondérante dans le design des jeux. Elle doit l'aider à découvrir les mécanismes et les règles du jeu, tout en maintenant son engagement et sa concentration dans le jeu (Garris *et al*., 2002). « Le *feedback* soutient [le JA] dans la compréhension de l'erreur » (Werts *et al*., 2003 ; dans Bottino *et al*., 2007, p. 8-9, traduction libre). Lors de la résolution de problèmes modélisés dans le jeu, le joueur doit d'abord explorer l'environnement virtuel par une action de jeu, tout en émettant des hypothèses sur la signification de cette action dans ce contexte. Il doit ensuite sonder à nouveau l'environnement afin de tester les hypothèses émises. Lorsque cette rétroaction est positive, elle permet au joueur de valider ses hypothèses; dans le cas contraire, le joueur peut les analyser à nouveau, voire même les rejeter. La rétroaction doit être dosée judicieusement, être donnée fréquemment et immédiatement, « sur demande », ou de manière différée, en plus d'être constructive et encourageante (Fenouillet *et al*., 2009; Sauvé et Chamberland, 2006, dans Sauvé et Kaufman, 2010; Sweetser et Wyeth, 2005). Elle doit également être « méritée » : « une victoire sans effort n'apporte aucune satisfaction au joueur et le jeu perd immédiatement de son intérêt » (Lavergne-Boudier et Dambach, 2010, p. 89). En outre :

> c'est parce que l'information n'a pas été imposée par le jeu mais recherchée par le joueur, c'est aussi parce qu'elle est arrivée à un moment opportun et parce qu'elle est venue combler un manque effectivement constaté, qu'elle pourra être assimilée, et sa nature informative évoluera naturellement vers une forme cognitive (Lavergne-Boudier et Dambach, 2010, p. 116).

Un dernier aspect, souligné par Barab *et al*. (2005), est que le jeu doit sembler « continu » aux joueurs : rien dans le jeu ne doit distraire le joueur ou interrompre le cours du jeu afin de maintenir l'engagement du JA.

En résumé, nous tirons de cet aperçu des approches situées, constructivistes, cognitivistes et motivationnelles de l'apprentissage des principes guidant notre travail

de conception d'une architecture des JSÉ. Cette architecture devrait, en effet, permettre aux JSÉ d'amener le JA à résoudre des problèmes à la fois authentiques, complexes et contextualisés, dont les solutions sont multiples et parfois incertaines. Le JA devrait pouvoir, en jouant, découvrir de manière libre et autonome l'environnement de jeu, expérimenter et exercer de multiples actions répondant à des objectifs pédagogiques de jeu clairs, tout en recevant des rétroactions pertinentes et immédiates. Les JSÉ devraient également pouvoir proposer différents contextes au sein desquels des stratégies adaptées peuvent être exécutées afin de permettre au JA de restructurer ses connaissances et de rendre flexible son exécution stratégique. Enfin, en plus d'avoir un sentiment de contrôle sur ses actions dans le jeu, le JA devrait ressentir de la curiosité à découvrir de nouvelles actions ou de nouveaux défis, aspect qui devrait être soutenu par un niveau de difficulté optimal respectant sa progression. Ces principes de design devraient assurer un niveau d'engagement élevé chez le JA.

Ces principes ainsi énumérés nous permettent de proposer une première architecture théorique des JSÉ, présentée dans la figure 1.2. Cette figure souligne l'importance dans le processus de conception d'un JSÉ d'extraire les connaissances et compétences pertinentes du domaine d'expertise ciblé afin d'en proposer une simulation concrète et authentique. L'apprenant devrait, par ses actions dans le jeu, résoudre de manière continue des problèmes complexes, dans différents contextes d'application et selon différents niveaux de difficulté. Le jeu devrait contenir différentes règles permettant au JA différentes actions possibles, tout en recevant des rétroactions pertinentes.

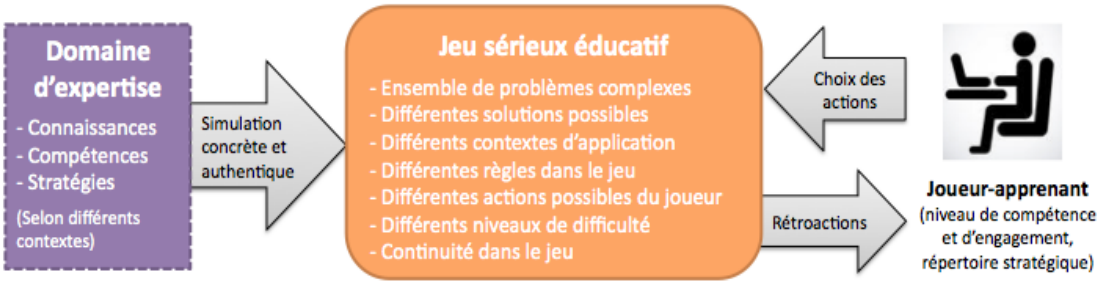


Figure 1.2 Proposition d'une architecture théorique de JSÉ

Nous avons détaillé le cadre théorique soutenant l'architecture de JSÉ que nous voulons proposer dans cette thèse. La troisième partie de ce chapitre, qui présente brièvement une méthode d'ingénierie pédagogique sur laquelle nous proposons de baser la conception de JSÉ, se focalisera plus particulièrement sur l'état de l'art en matière de conception des scénarios pédagogiques et de jeu.

1.3 Apport des travaux en ingénierie pédagogique et en design de jeux vidéo à la scénarisation de jeux sérieux éducatifs

Afin de concevoir des environnements ou systèmes d'apprentissage, diverses méthodes de design et d'ingénierie pédagogique élaborées par des chercheurs dans le domaine de la technologie éducative[3] sont à la disposition des concepteurs (Basque *et al*., 2010). Dans le cadre de cette thèse, nous avons choisi la méthode d'ingénierie d'un système d'apprentissage (MISA, Paquette, 2002a) afin de guider notre démarche de conception d'une architecture de JSÉ. D'une part, cette méthode est suffisamment générale pour modéliser tous types de système d'apprentissage (dont les JSÉ), et, d'autre part, elle se base sur les approches cognitivistes et constructiviste de l'apprentissage (Paquette, 2002a). De plus, cette approche intègre les principes et les

3 L'*Association for Educational Communications and Technology* propose cette définition du domaine de la technologie éducative (*Educational Technology*): « the study and ethical practice of facilitating learning and improving performance by creating, using, and managing appropriate technological processes and resources » (AECT Definition and Terminology Committee, 1977).

processus à la fois du design pédagogique, du génie logiciel et de l'ingénierie des connaissances (Pernin et Lejeune, 2004). Le terme de *design pédagogique* se présente « comme l'ensemble des théories et des modèles permettant de comprendre, d'améliorer et d'appliquer des méthodes d'enseignement favorisant l'apprentissage » (Paquette, 2002, p. 111). Le *génie logiciel* « s'intéresse à des systèmes composés d'acteurs, de processus, de produits et de principes d'opération. Cette méthodologie est globale, constituant un langage commun à des utilisateurs multiples et à des métiers divers » (Paquette, 2003, p. 4). L'*ingénierie des connaissances* « implique des opérations telles que l'identification des connaissances, leur explicitation, leur représentation et leur formalisation dans un langage symbolique ou graphique facilitant leur utilisation subséquente » (Paquette, 2003, p. 5). Ces trois domaines sont utiles dans le cadre de cette thèse, puisque les JSÉ sont considérés commes des systèmes informatiques, dont la conception nécessite l'utilisation d'une méthodologie rigoureuse intégrant des activités d'explicitation des connaissances à acquérir par le JA et de scénarisation pédagogique fondée sur des théories et modèles d'enseignement favorisant l'apprentissage.

La méthode MISA propose ainsi une démarche d'ingénierie pédagogique en six phases : (1) définition du problème, (2) analyse préliminaire, (3) conception de l'architecture du système d'apprentissage, (4) conception des matériels, (5) réalisation et validation des matériels et 6) planification de la diffusion.

Selon Paquette (2002a), un système d'apprentissage peut inclure, selon l'ampleur du système, un ensemble plus ou moins étendu d' « événements d'apprentissage » (ÉA), reliés entre eux de manière à former ce qu'il appelle un réseau d'évènements d'apprentissage, celui-ci se décomposant en plusieurs niveaux d'ÉA allant du plus général au plus spécifique (p. ex. un cours en ligne pourrait se décomposer en plusieurs modules, chacun incluant à leur tour plusieurs leçons). Les ÉA les plus spécifiques dans un tel réseau sont appelés des unités d'apprentissage (UA) et c'est à

ce niveau que les scénarios pédagogiques sont élaborés (un scénario pédagogique pour chaque UA). C'est dans la phase de conception de la MISA que sont élaborés les scénarios pédagogiques. Chaque UA peut viser des cibles d'apprentissage spécifiques et aborder des éléments de contenu différents, le tout permettant à l'apprenant de développer des compétences à un certain niveau de performance. Chaque scénario pédagogique définit à la fois les activités qui seront réalisées par l'apprenant et celles qui seront réalisées par un formateur. Le « rôle » de formateur peut être tenu par un humain ou par un système informatique d'assistance. Rejoignant la définition de Paquette (2002a), Pernin et Lejeune (2004) définissent le scénario pédagogique ou d'apprentissage comme :

> la description, effectuée a priori ou a posteriori, du déroulement d'une situation d'apprentissage ou unité d'apprentissage visant l'appropriation d'un ensemble précis de connaissances, en précisant les rôles, les activités ainsi que les ressources de manipulation de connaissances, outils et services nécessaires à la mise en œuvre des activités (p. 409).

Dans un système d'apprentissage, les scénarios pédagogiques se composent selon Paquette (2002a): (a) du « scénario d'apprentissage » qui inclut la description des activités d'apprentissage qui seront réalisées par l'apprenant, les instruments requis pour effectuer les activités et les diverses productions attendues de l'apprenant et (b) du « scénario d'assistance » qui inclut la description des activités d'assistance qui seront réalisées par le formateur ou le système d'assistance, les instruments requis pour les effectuer et les productions attendues du formateur ou du système d'assistance. Dans les deux types de scénarios, des consignes ou des messages d'aide peuvent être affichés dans le système d'apprentissage. Comme le font remarquer Pernin et Lejeune (2004), ces activités (d'apprentissage ou d'assistance) représentent le niveau de granularité le plus fin de l'UA, dans le sens où elles sont de courte durée et poursuivent chacune un objectif d'apprentissage précis ou contribuent en partie à un objectif d'apprentissage.

Dans le domaine des jeux vidéo, l'expression « scénario de jeu » est utilisée par plusieurs auteurs et prend plusieurs significations selon les divers types de jeux vidéo (jeux de combats, jeux d'actions ou plateformes, jeux de rôles, jeux d'aventure, jeux de stratégies, jeux de course, jeux de réflexes, jeux de casse-têtes, etc.). Nous proposons toutefois de distinguer deux types de scénarios dans les jeux vidéo : le scénario *narratif* et le scénario de *jeu* en tant que tel. Le scénario narratif fait référence à l'histoire ou au cheminement que vit le joueur, au sein duquel il exécute des actions précises (tirer, sauter, ramasser des objets, parler aux personnages du jeu, etc.). Le scénario de jeu, quant à lui, réfère aux règles qui régissent les actions du joueur dans le jeu (avec le matériel du jeu, les autres joueurs virtuels ou les joueurs humains), et se rapproche du scénario pédagogique dans le sens où il fait référence aux actions possibles du joueur ainsi que leurs conséquences, toutes orientées vers un objectif précis : acquérir une compétence spécifique et/ou franchir une étape avec succès. Ces actions et les conséquences dans le jeu (actions du système) forment une succession d'évènements de jeu qui représentent le scénario de jeu.

Cet aperçu des scénarios pédagogique et de jeux vidéo nous sert de guide pour définir ce que nous entendons par la scénarisation dans les JSÉ. Dans le domaine des JSÉ, il nous apparaît qu'il convient d'élaborer une nouvelle définition pour les scénarios, que nous désignerons désormais de manière plus précise par le vocable *scénarios pédagogiques de jeu* (SPJ). En effet, en plus d'être pédagogiques, les SPJ répondent aux exigences scénaristiques des jeux vidéo. Corti (2006) soutient que les scénarios de type narratif ne permettent pas en soi de présenter adéquatement du contenu pédagogique; lorsque de l'information est transmise dans un jeu vidéo, cela est fait seulement à faible dose, afin de ne pas rompre l'état de *flow* du joueur. Les SPJ devraient être conçus sur la base de scénarios de jeu réalistes, simulant un environnement réaliste et permettant à l'apprenant d'expérimenter des activités liées au domaine de connaissances concerné (dans Sauvé et Kaufman, 2010; Niehaus et

Riedl, 2009b). De plus, les SPJ devraient respecter les principes pédagogiques que nous avons détaillés dans les deux sections précédentes de ce chapitre : amener le JA à résoudre des problèmes complexes, authentiques, et contextualisés, dont les solutions ne sont pas forcément évidentes et à découvrir de manière libre et autonome le contenu; avoir des objectifs clairs mais avec des règles non restrictives; adapter la rétroaction et la difficulté à la progression en cours; maintenir une continuité dans le jeu. Aussi, les jeux de simulation, les jeux de stratégies et les jeux de rôles nous semblent les mieux adaptés pour s'appliquer aux JSÉ. Les jeux de rôles permettent en effet au joueur de faire évoluer son personnage, du point de vue de ses compétences, en accomplissant des quêtes ou des missions (Panzoli *et al*., 2010). Ces jeux offrent également la possibilité d'explorer librement et de découvrir de manière autonome l'environnement de jeu et d'interagir avec des personnages non jouables (PNJ), c'est-à-dire des personnages qui sont contrôlés par le système de jeu. Les jeux de stratégies, quant à eux, permettent au joueur de contrôler des entités (armée, bâtiments, etc.), de les construire, de les améliorer et de les utiliser pour accomplir un objectif (p. ex. combattre un ennemi). Le joueur a en général une vue globale d'une zone géographique (p. ex. un terrain) où il contrôle plusieurs de ces entités, alors que d'autres entités sont contrôlées par le système de jeu ou un autre joueur humain (Sweetser et Wyeth, 2005). Pour finir, les jeux de simulation, qui seront détaillés plus loin dans cette thèse (section 3.1), permettent de proposer au joueur un scénario réaliste, simulant un vrai métier ou une situation réelle, et permettent ainsi au joueur adulte de développer des compétences liées à un domaine de connaissances (Sina *et al*., 2014), tout en poursuivant des objectifs de jeu ludiques et éventuellement compétitifs. Ces trois types de jeux vidéo permettent également au joueur de faire des liens de causes à effets entre ses actions et le déroulement du jeu de même que de découvrir, d'exécuter et de sélectionner différentes stratégies de jeu afin de répondre aux objectifs. De plus, dans ces types de jeux, le contenu est en général présenté de manière continue, sans interruption, jusqu'à la fin de la partie.

Nous avons précédemment défini ce que les pédagogues et les concepteurs de jeux vidéo (*game designers*) entendent par scénario pédagogique et scénario de jeu et nous avons proposé le vocable *scénario pédagogique de jeu* (SPJ) pour désigner les scénarios d'un JSÉ et que nous définissons ainsi :

> les SPJ regroupent, d'une part, les activités d'apprentissage que doit réaliser le JA dans le jeu représentées par les actions possibles dans le jeu, et, d'autre part, les activités du système de jeu représentées par les rétroactions données par le système et la modification de l'environnement de jeu simulant un environnement réaliste. L'ensemble de ces activités doit permettre au JA de développer des connaissances et des compétences du domaine ciblé dans le JSÉ

Nous allons maintenant détailler deux modes d'intégration de scénarios dans un EIAH ou un jeu vidéo, dont nous ferons une analyse afin de guider notre conceptualisation des SPJ dans les JSÉ.

Selon Pernin et Lejeune (2004), un scénario pédagogique peut être très formalisé, prescriptif ou générique en matière d'activités à réaliser, où ces dernières - et leurs séquences - sont imposées à l'apprenant. En ingénierie pédagogique, il est effectivement commun de modéliser les scénarios pédagogiques à l'avance et de manière prescriptive par le concepteur. Des langages de modélisation pédagogique sous forme de graphes visuels ou standardisés (p. ex. spécification IMS-LD) sont utilisés à cet effet (Botturi et Stubbs, 2007). Ils permettent de désambigüiser les aspects plus abstraits des scénarios, et surtout de pouvoir éventuellement les réutiliser. Grâce à ces outils, le scénario peut devenir automatisable au sein des systèmes d'apprentissage (cours en ligne, JSÉ, etc.). Cette approche de prémodélisation se retrouve également dans le design de la majorité des jeux vidéo et sérieux : les scénarios de jeu y sont scriptés (i.e. programmés à l'avance), ce qui leur confère une structure linéaire (Koster, 2013; Schell, 2008). Dans ces jeux, « le contenu, les règles, la narration, les environnements, etc., sont pour la grande majorité

des éléments statiques avec lesquels un joueur (dynamique) interagira. » (Sola, 2015, p. 10). Dans le cas des scénarios narratifs, les concepteurs de jeux vidéo modélisent à l'avance le déroulement de l'histoire, et toutes les ramifications qu'elle peut prendre en fonction des actions du joueur (Gee, 2003).

À l'inverse, un scénario peut être plus ouvert et décrire « dans les grandes lignes les activités à réaliser en laissant aux acteurs de la situation d'apprentissage des degrés de liberté importants pour organiser les activités ou déterminer leur parcours » (Pernin et Lejeune, 2004, p. 411). Ce type de scénario répond mieux aux exigences des théories constructivistes de l'apprentissage que les scénarios plus contraints et s'appliquerait donc mieux aux SPJ. Lorsqu'un scénario ouvert a la possibilité d'être modifié ou personnalisé afin de mieux correspondre à l'apprenant et son apprentissage, on parle de scénario *adaptable* ou *adaptatif* (Pernin et Lejeune, 2004; Law et Sun, 2012). L'adaptation se fait de manière générale au profil de l'apprenant qui désigne un « ensemble d'informations concernant un apprenant ou un groupe d'apprenants, saisies, collectées ou déduites à l'issue d'une ou plusieurs activités pédagogiques » (Pernin et Lejeune, 2004; p. 411) et plus particulièrement aux caractéristiques démographiques de l'apprenant (âge, sexe, niveau d'éducation, etc.), à son style d'apprentissage, à ses intérêts, à ses connaissances antérieures et à ses connaissances et compétences actuelles. L'adaptation peut se faire, d'une part, en amont de l'environnement d'apprentissage ou du jeu, c'est-à-dire que différents scénarios vont être modélisés à l'avance, mais selon différents types, afin de correspondre au profil de l'apprenant ou du joueur. Dans les jeux par exemple, il est fréquemment proposé au joueur, dès l'écran de démarrage, de choisir un niveau de difficulté (p. ex. facile, intermédiaire, expert). D'autre part, l'adaptation des scénarios peut se faire au sein même de l'environnement d'apprentissage ou de jeu, ce qui leur permet d'ajuster de manière dynamique les scénarios pédagogiques ou de jeu (présentation, contenu, rétroactions, etc.), en fonction des performances de l'apprenant ou du joueur

(Vandewaetere *et al*., 2012). Ce type de scénario voit l'apprenant ou le joueur comme un sujet actif, capable d'autoréguler son apprentissage et sa progression (Vandewaetere *et al*., 2012).

Dans les systèmes d'apprentissage, comme dans les jeux vidéo, proposer un contenu modélisé et prédéfini à l'avance a pour avantage de contrôler le déroulement d'apprentissage ou du jeu, afin de s'assurer que l'apprenant ou le joueur maîtrise adéquatement une compétence d'apprentissage ou de jeu avant de passer à l'étape suivante. Selon Sola (2015), « cela permet de présenter progressivement au joueur les concepts à assimiler et de réutiliser les connaissances précédemment apprises dans les niveaux déjà accomplis pour réussir les niveaux suivants » (p. 11). Dans les jeux vidéo en particulier, des scénarios scriptés permettent de raconter efficacement une histoire (Snowdon et Oikonomou, 2011) et, en contraignant les actions que peut faire le joueur, ils assurent un jeu robuste, testable et contrôlable (Lopes et Bidarra, 2011; Millington et Funge, 2009; Schell, 2008). Par ailleurs, les scénarios scriptés ont la possibilité d'être rejoués à l'infini, ce qui permet donc, par cette répétition des mêmes scénarios, de faire exercer à l'apprenant ou au joueur une compétence particulière (Sauvé et Chamberland, 2006, dans Sauvé et Kaufman, 2010). Il est fréquent que dans un jeu, le joueur ait à répéter soit la même information, soit la même procédure ou le même raisonnement, et l'enjeu (accumuler des points, améliorer sa position, etc.) est un incitatif puissant qui dépasse le caractère dissuasif habituellement associé à la redondance (Sauvé et Chamberland, 2006, p. 48, dans Sauvé et Kaufman, 2010).

Néanmoins, la prédéfinition des scénarios peut, de par leur répétition, engendrer une monotonie et une baisse d'engagement dans l'expérience de jeu ou d'apprentissage, car l'apprenant et le joueur sont très rapidement capables de détecter des régularités dans le scénario et d'en prédire la suite (Lopes et Bidarra, 2011). La rigidité des scénarios augmente aussi le risque que l'utilisateur trouve et exécute toujours la même stratégie gagnante dans le système, en excluant d'autres stratégies que le

système aurait dû lui l'amener à développer. Ce comportement de « gagner le jeu » (traduction libre de *gaming the game*) a été décrit en détail dans les travaux de Baker et ses collaborateurs (Baker *et al*., 2004a, 2004b, 2006, 2008, 2009, 2010). Pour pallier ces difficultés, les concepteurs de jeux vidéo tentent d'inclure des modifications mineures dans le scénario du jeu, notamment en donnant des bonus aux meilleurs joueurs ou en générant des aides ou indices quand les joueurs sont « bloqués » dans le jeu (Lopes et Bidarra, 2011).

Par ailleurs, la prescription des scénarios, que ce soit en pédagogie ou dans les jeux vidéo, reste, d'une part, très coûteuse et lourde du point de vue de la conception. Les concepteurs doivent en effet modéliser tous les cas de figures possibles; l'apprenant ou le joueur peut effectuer de nombreuses actions, avec chacune leur conséquence dans le système, si bien que cette modélisation devient lourde à concevoir (Nadolski *et al*., 2008). D'autre part, comme nous l'avons mentionné plus haut, des scénarios identiques pour tous les utilisateurs ne répondent plus aux exigences des technologies éducatives et des jeux vidéo. Comme le stipulent les approches constructivistes, motivationnelles et cognitivistes de l'apprentissage, les apprenants comme les joueurs ont besoin que leurs différences en tant qu'individus (caractéristiques, connaissances antérieures, style cognitif, etc.) soient prises en compte et que leur engagement dans l'activité en cours soit maintenu élevé de manière continue. Selon Vandewaetere *et al*. (2012), les recherches ont montré en pédagogie que « lorsque l'enseignement est adapté ou accommodé aux compétences, aux besoins, aux croyances ou aux connaissances des apprenants, ces derniers accomplissent les objectifs pédagogiques plus efficacement » (p. 308). C'est pourquoi, dans le cadre de cette thèse, nous proposons d'orienter notre architecture de JSÉ vers l'adaptation des SPJ afin de favoriser un apprentissage unique, personnalisé et engageant.

En résumé, la scénarisation, tant dans le domaine du design pédagogique que dans le domaine du design des jeux vidéo, a une importance primordiale : elle invite, en

amont, à modéliser les compétences d'apprentissage ou de jeu, pour pouvoir ensuite contrôler la progression de l'utilisateur dans l'environnement. Que les scénarios soient prédéfinis ou adaptés au sein même du système ne change pas le fait qu'ils doivent être rigoureusement analysés par les concepteurs afin que le système d'apprentissage ou de jeu atteigne l'objectif d'amener le JA à maîtriser un domaine de connaissances et/ou à s'approprier le système et à rester engagé.

1.4 Rôle et structure des scénarios pédagogiques de jeu dans notre architecture

En ce qui concerne les JSÉ, nous pensons que la scénarisation *pédagogique* devrait être au cœur de notre architecture, tout en accordant une place importante au scénario de jeu. Parmi les quelques recherches qui ont proposé une architecture élaborée de JSÉ (Amory, 2007; Kiili, 2005), aucune ne fait mention des SPJ.

La MISA (Paquette, 2002a) nous fournit un modèle opérationnel pour définir le processus d'élaboration des SPJ dans notre architecture. Les JSÉ peuvent comporter un ÉA dont l'objectif serait de maîtriser un domaine assez étendu de connaissances (comme le ferait, par exemple, un cours de 45 heures). Les JSÉ serait ainsi composés de plusieurs UA, chacune d'entre elles étant représentées par un SPJ. Mais, pour cela, il faudrait que ces JSÉ soient d'une grande complexité dont la durée serait élevée.

Dans le cadre de cette thèse, le travail de conception de notre architecture de JSÉ s'avérait tributaire du temps accordé pour la conception ainsi que des coûts associés. C'est pourquoi nous nous sommes focalisée sur la conception d'une architecture ne comportant qu'une seule UA ayant pour objectif global d'amener le JA à développer une compétence spécifique ou un ensemble restreint de compétences dans un domaine ciblé (comme le ferait un module de cours de 3 heures). Le JA développe des compétences en effectuant des activités d'apprentissage dans le JSÉ. Pour cela, il peut choisir entre plusieurs actions de jeu possibles, dont la séquence d'exécution permet de développer petit à petit les compétences ciblées dans le JSÉ. Les actions

choisies et exécutées par le JA ont des conséquences dans le jeu et sont également analysées par le système de JSÉ. Ce dernier fournit alors des rétroactions au JA, tout en modifiant l'environnement de JSÉ dans l'objectif de favoriser la progression de l'apprentissage chez le JA et de le maintenir engagé au plan motivationnel. L'ensemble de toutes les activités d'apprentissage, de toutes les activités du système de jeu, avec toutes les actions possibles et choisies par le JA, toutes les rétroactions et toutes les modifications de l'environnement de jeu par le système forment le SPJ, dont la structure est représentée dans la figure 1.3.

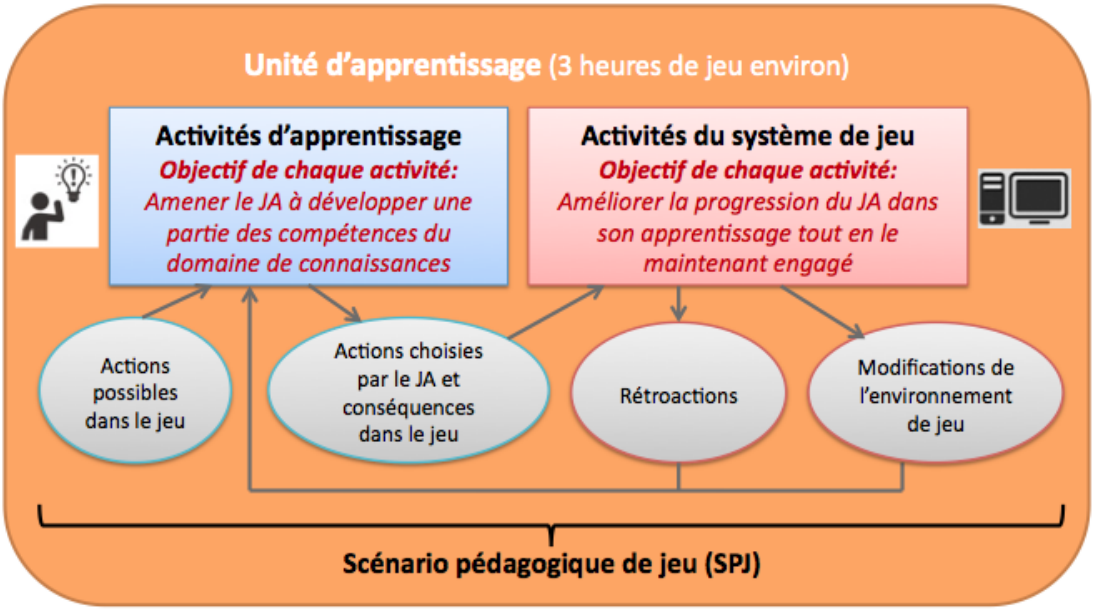


Figure 1.3 La scénarisation pédagogique de jeu dans un JSÉ composé d'une seule unité d'apprentissage

Les SPJ sont donc au cœur de notre proposition d'architecture. Afin de pallier les difficultés découlant de l'approche des scénarios prédéfinis et que nous avons mentionnées dans la section précédente, nous proposons, dans le cadre de cette thèse, que les SPJ soient adaptés à la progression de l'apprentissage chez l'apprenant, afin à la fois d'optimiser cet apprentissage et de maintenir l'apprenant engagé. Avant

d’analyser l’adaptabilité des SPJ en tant que telle, nous allons dans le chapitre suivant présenter ce que les chercheurs dans le domaine des EIAH et des jeux vidéo entendent par la notion d’adaptabilité des systèmes.

CHAPITRE II

DE L'ADAPTABILITÉ À LA GÉNÉRATION AUTOMATIQUE DE SCÉNARIOS DANS LES JEUX SÉRIEUX ÉDUCATIFS

Ce chapitre présente dans une première section l'état de l'art de l'évaluation de l'apprentissage et de l'adaptabilité dans les environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH) et les jeux vidéo. Ces deux notions sont ensuite analysées dans une deuxième section à l'aide de la taxonomie que nous avons conçue. Les problèmes et les critiques soulevés par cette analyse sont présentés dans une troisième section et, enfin, la dernière section présente le cas particulier de la génération automatique de scénarios dans les EIAH, dont les jeux sérieux éducatifs (JSÉ).

2.1 Généralités sur l'évaluation de l'apprentissage et sur l'adaptabilité dans les EIAH et les jeux vidéo

L'*adaptabilité* ou *adaptation* des systèmes, selon Andersen *et al*. (2005, dans Hocine *et al*., 2011), se définit comme une caractéristique d'un système « qui reflète sa capacité à se modifier structurellement en réaction à certains évènements bien identifiés » (p. 256). Despotović-Zrakić *et al*. (2012) utilisent le terme de « personnalisation » (p. 326) pour désigner l'adaptabilité des systèmes d'apprentissage dont les caractéristiques sont au service premier de l'apprenant et de son apprentissage. Un système de JSÉ adaptable devrait ainsi être en mesure

d'orienter et de guider, comme le ferait un pédagogue, le joueur-apprenant (JA) dans son apprentissage, d'évaluer ses apprentissages, de lui fournir des rétroactions, de s'ajuster à chaque fois que le JA progresse en lui proposant de nouvelles activités plus ardues ou, à l'inverse, s'il commet des erreurs, de lui proposer de reprendre des activités de manière assistée. Par ailleurs, l'adaptation dans les JSÉ devrait permettre « d'individualiser et [de] contextualiser l'expérience de jeu pour chaque joueur-apprenant et par conséquent augmenter sa satisfaction tout en améliorant l'efficacité de la formation » (Hocine *et al*., 2011, p. 255; voir aussi Conati et Manske, 2009; Conlan *et al*., 2009; Peirce *et al*., 2008). Un système de JSÉ adaptable permet ainsi au JA de revivre quasiment à l'infini une expérience d'apprentissage toujours nouvelle. L'adaptation dans un EIAH peut se faire en réponse à plusieurs dimensions caractérisant l'apprenant, que nous détaillerons dans la section suivante; de manière générale, il s'agit du profil de l'apprenant (p. ex. profil d'apprentissage, style cognitif, connaissances antérieures), de son état émotionnel et d'engagement, ainsi que de son état d'apprentissage, représenté par les compétences et connaissances qu'il développe dans le jeu. Dans les jeux vidéo, les auteurs utilisent l'expression « génération automatique de contenu » pour désigner l'adaptabilité (Pedersen *et al*., 2010; Togelius *et al*., 2011; Yu et Trawick, 2011), dont l'objectif principal est d'adapter la difficulté du jeu pour maintenir le *challenge* et l'engagement de l'apprenant dans le jeu.

Afin de s'adapter au JA, un système de JSÉ devrait pouvoir au préalable être en mesure d'*évaluer* le JA, c'est-à-dire observer et détecter les modifications des états d'apprentissage du JA au fur et à mesure de sa progression dans le jeu (Chen et Michael, 2005; Moreno-Ger *et al*., 2008; Squire, 2005). L'enjeu est capital, puisque le concepteur de JSÉ doit s'assurer que le JA a bien développé les connaissances et les compétences qui sont les cibles d'apprentissage visées dans le jeu, et non

simplement maîtrisé la manière de jouer au jeu et la manière de « gagner le jeu »[4] (Baker *et al*., 2012; Squire, 2005). Cette évaluation devrait pouvoir être comparée avec le contenu du domaine de connaissances ciblé, afin que le système de JSÉ s'adapte (Despotović-Zrakić *et al*., 2012). Si chaque progression dans le JSÉ est unique, il « convient d'évaluer l'ensemble des joueurs sur la base de critères génériques et c'est bien là une des difficultés à surmonter » (Lavergne-Boudier et Dambach, 2010, p. 158). L'évaluation du JA est représentée par des *traces* de ses actions (le terme anglais *logs* est fréquemment utilisé dans les études sur les jeux vidéo et en informatique en général) issues de toutes ses interactions avec le système de JSÉ (Chen et Michael, 2005; Lavergne-Boudier et Dambach, 2010; Torrente *et al*., 2008). Selon Lopes et Bidarra (2011), ces traces d'actions de jeu enregistrent les performances des joueurs afin de les évaluer sous la forme de modèles de performances et d'expériences. Ces modèles vont permettre au système (a) de prédire l'expérience désirée du JA dans le prochain état de jeu et (b) de s'adapter à ces modèles et de générer le contenu pédagogique du jeu.

De nombreuses études se sont ainsi focalisées sur la modélisation de l'apprenant, et, plus particulièrement, de ses connaissances et compétences. De manière générale, le modèle de l'utilisateur « est une représentation de l'information sur un utilisateur individuel qui est essentielle pour qu'un système adaptatif puisse s'adapter, i.e. se comporter différemment pour différents utilisateurs » (Brusilovsky et Millán, 2007, p. 3, traduction libre). Dans le cas des JSÉ, les données ou informations collectées sur le JA, à savoir les connaissances et compétences qu'il possède dans le domaine concerné, ont pour particularité de se modifier tout au long de la session de jeu. En effet, les concepteurs de JSÉ s'attendent à ce que les JA développent des

4 Cette notion de « gagner le jeu » fait référence au terme anglais *gaming the game* qui définit la tentative de gagner le jeu « en exploitant les propriétés du système plutôt que d'apprendre le matériel pédagogique, et essayer d'utiliser cette connaissance pour répondre correctement ou pour résoudre les problèmes posés dans le jeu » (Baker et al., 2006, p. 392, traduction libre).

connaissances et des compétences dans un jeu, mais cette progression peut se faire plus ou moins rapidement et de manière plus ou moins efficace. Le modèle du JA dans un JSÉ a donc pour objectifs : (a) de détecter cette progression de l'apprentissage, d'en reconnaître les modifications et d'en conserver une trace, (b) de mettre à jour l'état d'apprentissage et (c) d'envoyer au système de jeu cet état à jour, qui l'utilisera pour s'adapter en conséquence (Brusilovsky et Millán, 2007; Bakkes *et al*., 2012). Par exemple, si le JA développe adéquatement les compétences visées, le système de JSÉ, après avoir interrogé le modèle du JA, pourrait décider de maintenir la difficulté du jeu afin de l'amener à mettre encore en pratique ces compétences, ou bien de proposer de nouveaux contenus afin de l'amener à développer de nouvelles compétences. À l'inverse, si le JA est en difficulté (i.e. s'il cumule les erreurs dans le jeu sans atteindre les objectifs d'apprentissage visés), le système de JSÉ pourrait alors décider de proposer à nouveau le même contenu, de revenir à un niveau antérieur, de proposer davantage d'aides au JA, etc.

Enfin, dans le domaine des jeux vidéo, la modélisation du joueur commence aussi à prendre une place importante, en réponse notamment au contenu de plus en plus complexe des jeux vidéo (Bakkes *et al*., 2012). Dans ce contexte, la modélisation du joueur est définie comme « une description abstraite du comportement du joueur au sein de l'environnement de jeu », et les chercheurs mentionnent aussi l'importance de la modélisation des PNJ comme adversaires du joueur humain (Bakkes *et al*., 2012, p. 71). Plus précisément, la modélisation du joueur peut se focaliser sur quatre aspects selon Bakkes *et al*. (2012) : (1) les actions du joueur dans l'environnement de jeu, (2) les tactiques utilisées pour résoudre le problème, (3) les stratégies (ensemble de tactiques) utilisées et (4) le profil psychologique du joueur déterminé par sa motivation à jouer.

La section suivante propose une revue de littérature détaillée sur l'évaluation de l'apprentissage et l'adaptabilité dans les domaines des EIAH (incluant les JSÉ) et des jeux vidéo en la présentant sous la forme d'une taxonomie.

2.2 Taxonomie de l'évaluation de l'apprentissage et de l'adaptabilité dans les EIAH et les jeux vidéo

La taxonomie de l'adaptabilité et de l'évaluation de l'apprentissage proposée dans cette section se base sur les travaux réalisés sur le sujet dans le domaine des EIAH (p. ex. cours en ligne, laboratoires virtuels, systèmes tutoriels intelligents, JSÉ) ainsi que des jeux vidéo. Dans le cadre de cette thèse, nous aborderons l'évaluation de l'apprentissage parce qu'elle est étroitement liée à l'adaptabilité des systèmes de JSÉ, mais le thème principal de cette thèse reste l'*adaptabilité*, dont nous présenterons plus en détail les techniques associées. Par ailleurs, nous nous focalisons sur le développement des compétences du JA dans un JSÉ, tout en accordant une importance aux aspects motivationnels et d'engagement dans les JSÉ. Cette taxonomie a pour objectif principal de faire le point sur l'état de l'art en ce qui concerne (a) l'évaluation des états de connaissance et de compétences et des états motivationnels de l'apprenant lors de l'interaction avec un système et (b) de l'adaptabilité de ces systèmes à ces états.

De manière générale, la revue des écrits effectuée sur l'évaluation de l'apprentissage et sur l'adaptabilité tente de répondre à quatre grandes questions, à savoir : Qui/Qu'est-ce qui est concerné? Pourquoi? À quel niveau? Comment? Elle se compose ainsi respectivement de quatre rubriques : les cibles, les objectifs, les niveaux et les techniques de l'évaluation de l'apprentissage et de l'adaptabilité dans les EIAH et les jeux vidéo. Ces quatre aspects sont présentés dans les paragraphes qui suivent et sont résumés dans le tableau 2.1 figurant à la fin de la présente section.

2.2.1 Cibles de l'évaluation de l'apprentissage et de l'adaptabilité

La cible principale de l'évaluation de l'apprentissage est l'utilisateur et ses comportements. Plus particulièrement, les recherches dans les EIAH et les jeux vidéo se sont focalisées sur l'évaluation (a) des actions dans le système, c'est-à-dire les interactions avec le système et (b) des comportements observables de l'utilisateur (p. ex. expressions faciales, postures). Ces différentes actions et comportements observables sont des indicateurs à la fois des états de connaissances et de compétences de l'utilisateur à développer dans le système (Chen et Michael, 2005), des états motivationnels et d'engagement (plaisir, anxiété, confidence, ennui, frustration, confusion, surprise, concentration, *flow*, curiosité, *challenge*, etc.) (Conati, 2002), mais aussi du profil de l'utilisateur, à savoir ses objectifs d'apprentissage, ses connaissances antérieures, son style d'apprentissage, son style de joueur (Magerko *et al*., 2008), ses préférences d'apprentissage, etc. (Bakkes *et al*., 2012; Dormans et Bakkes, 2011; Hwang *et al*., 2012).

La cible principale de l'adaptabilité est le contenu de l'environnement d'apprentissage ou de jeu, et plus particulièrement les activités et exercices à résoudre et leur contenu, la rétroaction (contenu, moment d'activation), la mécanique[5] de jeu et le *gameplay*[6], les comportements des personnages non jouables (PNJ) et des agents virtuels d'assistance, le contenu des niveaux de jeu, le contenu des scénarios narratifs utilisés dans les jeux vidéo et le contenu des scénarios de missions ou quêtes utilisés notamment dans les jeux de simulations.

5 La mécanique de jeu désigne « les règles qui sont appliquées lorsque le joueur interagit avec le jeu, ce qui relie les actions des joueurs avec le but du jeu et ses principaux défis ». (Perron, 2012, p. 184).
6 Le *gameplay* se définit comme « l'ensemble des éléments liés à l'interaction entre le joueur et le jeu, dont les règles et les possibilités d'actions, qui sont définis et intégrés au jeu lors de la création d'un jeu vidéo ». (Perron, 2012, p. 108).

2.2.2 Objectifs de l'évaluation de l'apprentissage et de l'adaptabilité

L'objectif principal de l'évaluation de l'apprentissage dans un EIAH adaptatif est, de manière générale, d'offrir une expérience de formation et d'apprentissage personnalisée à l'apprenant (Sauvé, 2014). De manière plus précise, cela consiste à non seulement connaître l'état de progression de l'apprentissage chez l'apprenant, mais aussi à en conserver une trace (Catalano *et al*., 2014; Gervás, 2014). Dans le meilleur des cas, en contexte de formation, cette trace devrait pouvoir être analysée par le formateur (Lavergne-Boudier et Dambach, 2010). Cette trace doit également être utilisée pour mettre à jour le modèle de l'utilisateur si le système en est pourvu (Chen et Michael, 2005).

La plupart des recherches sur les JSÉ, en se basant sur les études menées dans le domaine des STI, se sont focalisés sur la mise à jour dans le modèle de l'apprenant des compétences et des connaissances qu'il a développées (Manske et Conati, 2005). L'évaluation de l'apprentissage dans les JSÉ se fait non seulement à la fin de la démarche du JA dans un but de vérifier qu'il a atteint les objectifs d'apprentissage visés, mais aussi en cours de jeu afin de le guider vers l'atteinte de ces objectifs. De plus récentes études se sont quant à elles axées sur les aspects motivationnels du modèle de l'apprenant (Hudlicka, 2009; Muñoz *et al*., 2011).

Enfin, dans le cas des JSÉ, des jeux vidéo et de certains STI, la trace représentative de l'évaluation de l'état motivationnel et de l'état de l'apprentissage permet au système de fournir une rétroaction au joueur et ainsi de favoriser la progression de son apprentissage et de le maintenir engagé (Sauvé et Chamberland, 2006). La rétroaction dans l'environnement du jeu peut être « donnée 'juste à temps' au joueur/apprenant ou bien sûr à la demande si le design du jeu le permet » (Lavergne-Boudier et Dambach, 2010, p. 185), ou encore être offerte au JA à la fin de la partie, en lui récapitulant la progression de ses apprentissages dans le jeu (Sauvé et Kaufman,

2010). La rétroaction dans les JSÉ ou dans un jeu vidéo peut prendre différentes formes, allant au-delà d'un simple score chiffré (Chen et Michael, 2005) : récompenses visuelles ou auditives comme des barres de progression ou des effets sonores (Lavergne-Boudier et Dambach, 2010), collections d'objets permettant de progresser dans le jeu (Lavergne-Boudier et Dambach, 2010), passage au niveau supérieur (McNamara *et al*., 2009), mention ou rapport des objectifs atteints (Kiili *et al*., 2014), messages textuels fournissant des compléments d'information, des consignes, des aides (Bottino *et al*., 2007; Lavergne-Boudier et Dambach, 2010; Millis et Dalgarno, 2007; Sauvé et Chamberland, 2006) ou encore des encouragements (Sauvé et Kaufman, 2010). Elle peut être également négative ou punitive, en réduisant les capacités du JA par exemple (Millis et Dalgarno, 2007), ou plus simplement en diminuant son score.

Quant à l'objectif principal de l'adaptabilité dans un EIAH et un jeu vidéo, il est d'offrir une expérience personnalisée et unique d'apprentissage ou de jeu à l'utilisateur. Le système doit être capable à la fois d'optimiser le transfert des apprentissages (Lopes et Bidarra, 2009) et/ou d'optimiser la satisfaction, le plaisir et la motivation du JA (Bakkes *et al*., 2012; Lopes et Bidarra, 2011). De manière générale, l'adaptabilité d'un système consistera à rendre l'environnement plus ou moins difficile à résoudre, et dont le *challenge* est plus ou moins important (Lopes et Bidarra, 2009). Dans les EIAH, les données stockées sous forme de traces dans le modèle de l'apprenant peuvent être utilisées comme « paramètres de processus d'adaptation » (Hocine *et al*., 2011, p. 259). Dans les jeux vidéo, les modèles du joueur, selon l'état du jeu, prédisent et évaluent l'expérience désirée du joueur dans le prochain état de jeu. Les modèles de performances et d'expériences sont utilisés pour adapter le moteur d'adaptation et de génération qui ajuste les composantes du jeu pour s'adapter aux deux modèles (Lopes et Bidarra, 2011).

Les techniques d'adaptabilité seront détaillées plus loin, mais, de manière générale, l'état de l'art nous apprend que de nombreuses recherches se sont focalisées sur la rétroaction adaptée à la progression de l'apprenant dans les STI et dans les JSÉ (Chen et Michael, 2005; McNamara *et al*., 2009; Sauvé et Kaufman, 2010) ainsi que dans des environnements virtuels d'apprentissage (Martin *et al*., 2011). Par ailleurs, certaines études ont proposé la génération d'indices ou de rétroactions « justes à temps », c'est-à-dire aux moments précis où l'apprenant a besoin d'aide dans son apprentissage (Hausmann *et al*., 2013). D'autres études se sont penchées sur la rétroaction motivationnelle (Baker *et al*., 2010; Hull et Du Boulay, 2011), c'est-à-dire axée sur la progression de l'état motivationnel de l'apprenant et donnée par un agent virtuel d'assistance, sous une forme positive (p. ex. encouragements de la part de l'agent), neutre ou négative (p. ex. manifestations de mécontentement de la part de l'agent). Les STI peuvent également proposer à l'apprenant un exercice adapté à son état de connaissances, par exemple en lui demandant de refaire un exercice ciblant une lacune d'apprentissage (Baker *et al*., 2006).

Dans les jeux vidéo, c'est le scénario narratif (le déroulement de l'histoire du jeu) qui peut s'adapter à la progression du joueur comme dans le jeu vidéo *Left 4 Dead*, ainsi que des éléments de jeu, comme les règles, le décor, les indices, les aides et les mécaniques de jeu (Lopes et Bidarra, 2009). Dans les jeux vidéo et les JSÉ, les niveaux de jeu peuvent être générés de manière à assurer un équilibre entre le *challenge* et les compétences spécifiques des joueurs (Lopes et Bidarra, 2009). Le système de jeu peut également adapter le comportement des PNJ (Kiili *et al*., 2012; Peirce *et al*., 2008; Shaker *et al*., 2010; Yannakakis, 2008) et, dans les STI, le comportement des agents virtuels d'assistance aux actions des apprenants (Baker *et al*., 2010). Selon Bakkes *et al*. (2012), certains PNJ dans les JSÉ peuvent également jouer le rôle de tuteurs : le système de jeu observe les comportements des JA et adapte en temps réel les comportements des PNJ-tuteurs qui recentrent l'attention du

JA sur l'objectif poursuivi ou les encouragent à exécuter des actions précises. Enfin, des études dans les jeux vidéo et les JSÉ se sont focalisées sur l'adaptation des missions ou quêtes, utilisées notamment dans les jeux de simulation, autant à la progression de l'apprentissage (Zook *et al*., 2012) qu'aux aspects motivationnels (Yu et Trawick, 2011).

2.2.3 Niveaux de l'évaluation de l'apprentissage et de l'adaptabilité

Nous proposons de distinguer deux niveaux de l'évaluation de l'apprentissage dans un JSÉ: externe et interne. Au niveau externe, une intervention humaine est nécessaire en *dehors* du système (avant et/ou après l'utilisation en tant que telle du système). Au niveau interne, l'évaluation est *intégrée* au système, et ne nécessite aucune intervention humaine.

L'évaluation externe a été utilisée dans de nombreuses études pour mesurer les états de connaissances et motivationnels de l'apprenant, mais aussi pour évaluer l'efficacité du système à faire apprendre dans un domaine de connaissances précis. Divers moyens sont utilisés pour colliger des données visant une évaluation externe : entre autres, l'administration de tests de connaissances dans le domaine concerné avant et après l'utilisation d'un EIAH (Catalano *et al*., 2014; Chen et Michael, 2005); l'administration de questionnaires de motivation avant et après l'utilisation d'un EIAH ou d'un jeu vidéo (Ghergulescu et Muntean, 2010; Hwang *et al*., 2012; Kiili *et al*., 2014; Lafrenière *et al*., 2012; Munoz *et al*., 2011; Muratet *et al*., 2012; Vachiratamporn *et al*., 2014; Waalkens *et al*., 2011; Wouters *et al*., 2013); le recueil de protocoles verbaux des JA pendant l'usage du jeu (Fredricks et McColskey., 2012; Sauvé et Kaufman, 2010); l'observation directe des apprenants pendant l'interaction avec le système, surtout pour évaluer les états motivationnels et émotionnels comme les gestes, les postures du corps, les expressions faciales, les signaux physiologiques (Charij et Oikonomou, 2013; Conati, 2002; Du Boulay *et al*., 2010; Fredricks et

McColskey, 2012; Heraz et Frasson, 2009; Hudlicka, 2009; Kivikangas *et al*.,2011; Nkambou, 2006; Sauvé et Kaufman, 2010; VanDeventer et White, 2002); la capture d'écran et l'enregistrement sonore de la séance de jeu ou d'apprentissage (Sauvé et Kaufman, 2010); l'entretien auprès de l'apprenant (Catalano *et al*., 2014; Sauvé et Kaufman, 2010) afin par exemple de brosser son profil d'apprenant.

L'évaluation interne peut prendre elle aussi plusieurs formes. Dans le domaine des JSÉ et des jeux vidéo, on retrouve des tests de connaissances, des dialogues ou des questionnaires implémentés dans le système de jeu permettant de vérifier la compréhension d'un contenu chez l'apprenant; la réussite ou non du passage à un niveau supérieur de jeu en un temps limité; la comptabilisation des aides ou indices sollicités sur demande et, plus simplement, l'analyse des scores, des passages de niveaux, des atteintes des objectifs et des solutions trouvées par l'utilisateur. Les données collectées sous la forme de traces sont, dans certains systèmes, envoyées dans le modèle de l'utilisateur, dont les techniques sont détaillées plus loin. Shute (2011) stipule que la rétroaction fournie par une évaluation interne doit respecter la continuité du jeu pour ne pas interrompre le *flow* et se doit d'être discrète (i.e. non décelable par le JA) pour maintenir sa motivation.

Comme pour l'évaluation, l'adaptabilité peut se faire aux niveaux externe et interne. L'adaptabilité externe consiste à adapter le contenu pédagogique ou ludique du système avant de l'utiliser (Hwang *et al*., 2012). Par exemple, de nombreuses études dans le domaine du *e-learning* proposent d'adapter les scénarios d'apprentissage au profil de l'apprenant qui est déterminé avant que le système commence la présentation du contenu pédagogique en tant que tel (Arapi *et al*., 2007; De Jong *et al*., 2012; O'Keeffe *et al*., 2006). À chaque profil d'apprenant correspond un scénario précis d'apprentissage : l'apprenant peut choisir son profil ou répondre à un questionnaire au préalable. De même, dans les jeux vidéo, les concepteurs de jeux vidéo ont pour habitude de concevoir différents « modes » de jeu en fonction du

niveau d'expertise du joueur (p. ex. novice, intermédiaire, expert) et c'est au joueur de choisir le mode de jeu qu'il estime lui convenir avant qu'il ne commence. Enfin, certaines études sur les jeux vidéo proposent de générer automatiquement le contenu du jeu à partir de données collectées sous forme de traces lors d'une partie précédente de jeu (Li et Riedl, 2010; Pedersen *et al*., 2009, 2010; Shaker *et al*., 2010; Yu et Trawick, 2011).

Récemment, des études se sont penchées sur l'observation des émotions du joueur pendant le jeu (reconnaissance faciale, reconnaissance de mouvement, etc.) grâce à des appareils spécifiques et sur l'adaptation en direct du contenu par le système proposé à ces émotions dans le jeu (Magerko *et al*., 2008; Yannakakis *et al*., 2010). Dans ce cas particulier, nous sommes en présence d'un cas d'évaluation externe utilisée en vue d'une adaptabilité interne.

L'adaptabilité interne ou auto-adaptabilité permet au système de s'adapter automatiquement sans aucune intervention humaine et sans aucune évaluation externe avant l'usage du système. Elle doit impérativement être soutenue par une technique d'intelligence artificielle (IA) pour permettre au système de s'adapter aux actions ou interactions de l'utilisateur. On distingue ici deux sortes d'adaptabilité interne : (a) l'adaptabilité *off-line* qui est réalisée selon les données du système et de l'utilisateur, mais avant que le système ne s'active (p. ex. entre deux périodes de jeu, pendant le téléchargement) (Lopes et Bidarra, 2011); et (b) l'adaptabilité *on-line* qui consiste pour le système à s'adapter en temps réel, pendant son utilisation et de manière dynamique (Lopes et Bidarra, 2011; Pedersen *et al*., 2010; Shaker *et al*., 2010; Yu et Trawick, 2011).

2.2.4 Techniques d'évaluation de l'apprentissage et d'adaptabilité internes

Dans cette dernière section, compte tenu de l'objectif visé dans cette thèse, nous détaillons les techniques d'évaluation et d'adaptabilité uniquement de niveau interne,

qui font donc appel à des techniques d'IA implémentées dans le système d'apprentissage ou le système de jeu.

La technique d'IA la plus fréquemment recensée dans les études est celle des réseaux bayésiens (RB). Cette technique interne d'évaluation de l'apprentissage se base sur l'approche probabiliste et permet d'estimer, dans un EIAH, les états de connaissances de l'apprenant et donc d'évaluer ces états. Un RB est un graphe orienté et acyclique où les sommets (nœuds) représentent les variables aléatoires et les arêtes (liens) modélisent les relations de dépendance (généralement de cause à effet). Lorsque qu'un RB est implémenté dans un modèle de l'apprenant, les nœuds représentent soit (a) les actions de l'apprenant et leurs conséquences dans l'EIAH représentant les variables d'*évidence*, soit (b) les connaissances et les compétences développées ou en cours de développement dans l'EIAH représentant les variables d'*interrogation*. Ces dernières sont celles dont les probabilités sont calculées, qui sont aussi des variables cachées, c'est-à-dire qui ne sont pas directement observables. Les nœuds sont représentés par des variables aléatoires déterminées dans des tables de probabilités. Ces dernières peuvent être composées de probabilités *a priori* qui sont déterminées à partir d'éléments observables (pour les nœuds sans parent) et de probabilités conditionnelles qui sont déterminées à partir d'éléments latents (pour les nœuds qui ont des parents). Chaque nœud (p. ex. X) qui a par exemple deux parents, est représenté par une distribution de probabilités conditionnelles $P(X|Parents(X))$, qui représente l'effet des deux parents sur le nœud (Russell et Norvig, 2010). Les liens représentent les liens de dépendance entre les nœuds et peuvent être déterministes ou probabilistes. Russell et Norvig (2010) recommandent d'utiliser des liens causaux comme liens de dépendance, qui sont plus naturels à spécifier et permettent de définir plus facilement les tables de probabilités.

Dans un modèle de l'apprenant, le RB a pour objectif de mettre à jour les probabilités des variables d'interrogation sur les compétences développées dans le jeu. Cette mise

à jour des probabilités est possible grâce à l'inférence probabiliste qui utilisera les observations faites dans l'EIAH dont les JSÉ, représentées par les actions de l'apprenant et les conséquences de ces actions sur l'environnement du système (consultations d'aides, utilisation d'un outil disponible dans le système, etc.) et les tables de probabilités. Ainsi, il est possible de savoir si le fait qu'une action ou les conséquences de plusieurs actions dans le système (*X*) signifie que l'apprenant a développé une compétence ou une connaissance (*Y*). Les tables de probabilités indiquent, de manière générale, les probabilités que *Y* survienne et que *X* survienne (de manière isolée). Elles indiquent également la probabilité de *X* sachant *Y*. La formule d'inférence permet de calculer la probabilité recherchée, à savoir *Y* sachant X :

$$P(Y \mid X) = \frac{P(X \mid Y)P(Y)}{P(X)}$$

Il est ainsi possible d'obtenir la probabilité que l'apprenant développe une compétence ou une connaissance spécifique (état de croyance). La figure 3.1 représente le processus de calcul de cette probabilité grâce à l'algorithme d'inférence pour l'ensemble d'un RB (α est un facteur normalisé).

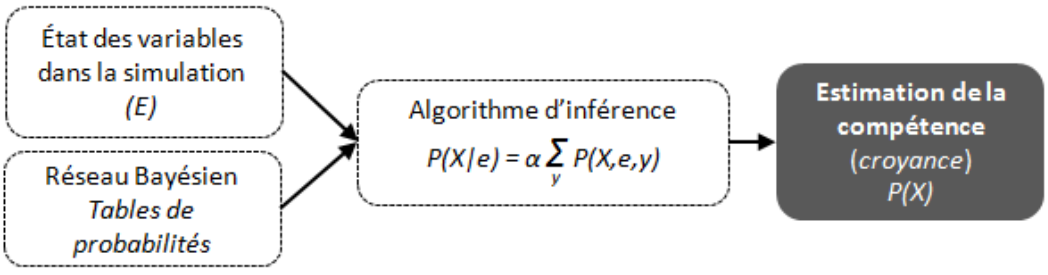


Figure 2.1 Fonctionnement d'un réseau bayésien dans un modèle de l'apprenant utilisé dans les EIAH

Les travaux les plus populaires sur l'évaluation interne de l'apprentissage sont ceux de Conati et ses collaborateurs. Conati *et al*. (2002) ont utilisé un RB dans leur STI,

dans le domaine de la physique newtonienne. Leur système observe des variables d'évidence, qui sont représentées par les actions de l'apprenant (p. ex. réponse donnée, demande d'aides), et fait propager ces informations dans le RB. Par raisonnement d'induction et de déduction, le RB produit une estimation de la probabilité que l'apprenant maîtrise un des concepts ciblés dans le STI. Lorsque l'apprenant fournit une réponse ou demande une aide (sous forme d'indice), le système crée un réseau temporaire et part toujours du nœud le plus récemment observé, remonte vers le but le plus probablement poursuivi par l'apprenant et effectue une recherche descendante pour trouver, par exemple, une règle peu probable dans la situation. La règle trouvée a des chances d'être celle actuellement utilisée par l'apprenant, par manque de connaissances. Comme chaque exercice vise une règle spécifique (donc une stratégie particulière à acquérir par l'apprenant), le réseau temporaire calcule ainsi la probabilité que l'étudiant maîtrise la règle en question. La probabilité est alors rapportée dans un RB permanent qui est comparé au RB du modèle du domaine, en tant que nouvelles probabilités préalables du savoir possédé par l'apprenant sur le domaine. Ces dernières servent ainsi de probabilités préalables dans l'exercice suivant. L'ancien réseau temporaire est alors effacé et le temps de calcul est ainsi plus court.

Manske et Conati (2005) ont, quant à eux, travaillé sur le JSÉ *Prime Climb* dont l'objectif est d'apprendre à décomposer des nombres en nombres premiers. Un agent d'assistance virtuel guide l'apprentissage, de manière spontanée, ou à la demande de l'apprenant. Chaque niveau que l'apprenant franchit est modélisé dans un RB dynamique, qui représente des couches temporelles des différents états d'apprentissage de l'apprenant. Chaque couche est créée après chaque action de l'apprenant, capturant ainsi la progression de l'apprentissage.

Shute (2011), quant à elle, préconise le *Stealth Assessment* dans les JSÉ, à savoir une évaluation non intrusive et automatique de l'état de connaissances. Selon sa méthode,

le concepteur doit au préalable déterminer les connaissances, les compétences et tout autre attribut pertinent que le JA doit maîtriser dans le jeu, et les modéliser dans le « modèle de compétences ». Dans le « modèle d'évidences », le concepteur doit représenter les comportements, les actions et les performances dans le jeu qui reflètent ces compétences et que le système doit évaluer pour pouvoir inférer leur développement ou non. Puis, le concepteur doit se focaliser sur le type de tâches à réaliser par le JA, représentées dans le « modèle de tâches ». Ces dernières représentent les activités ainsi que leur format, leur contenu et les réponses attendues, qui devraient entrainer chez le JA le développement des compétences ciblées. Enfin, le modèle du JA est représenté dans un RB qui permet au système de mettre à jour la probabilité que ce dernier a acquis une compétence ciblée.

Par ailleurs, Conlan *et al*. (2009) ont développé un JSÉ dont le but est de résoudre des casse-têtes dans le domaine de la physique. Les auteurs se basent sur la « théorie de l'espace de connaissance » (*Knowledge Space Theory*) de Doignon et Falmagne, 1985 (dans Conlan *et al*., 2009), qui stipule que les états de connaissances ou de compétences peuvent être inférés de manière probabiliste. À la base de cette théorie, se trouve une structure complète de compétences reliées entre elles (p. ex. une connaissance B ne peut être acquise que si une connaissance A l'a été au préalable). L'approche de la théorie de l'espace de connaissance consiste à « réduire le nombre d'évidences nécessaires sur l'état de connaissance de l'apprenant à un ensemble optimal » (p. 539), pour que l'inférence se fasse sur un ensemble plus restreint et donc plus efficacement. Un moteur de jeu ainsi qu'un moteur d'apprentissage sont utilisés pour traduire chaque action de jeu en une probabilité d'acquisition de chaque compétence associée. Dès que la probabilité associée à une compétence a atteint un seuil défini à l'avance, la compétence est considérée comme acquise (pour une approche similaire dans un autre JSÉ, voir Steiner *et al*., 2009).

Thomas *et al*. (2012) ont utilisé, quant à eux, des réseaux de Pétri, implémentés dans le JSÉ *Ludiville* dans le domaine bancaire, dont le principe est de modéliser les règles issues du domaine de connaissances et de diagnostiquer la non-conformité à ces règles. Une ontologie représente les concepts du domaine et leurs correspondances avec les actions dans le jeu. Leur technique inclut un algorithme qui permet d'analyser les actions faites par le JA et donc de suivre sa progression étape par étape afin de comparer ces actions au réseau de Pétri.

Enfin, certaines études se sont récemment penchées sur l'évaluation interne des états motivationnels ou émotionnels des utilisateurs et sont surtout représentées par des modèles probabilistes similaires à ceux vus précédemment (Arroyo et Woolf, 2005; Conati et Zhou, 2002; Manske et Conati, 2005). Les chercheurs proposent en général d'inférer les états motivationnels au travers de l'interaction que peut avoir l'utilisateur avec les PNJ ou agents virtuels d'assistance (D'Mello *et al*., 2009; Ghergulescu et Muntean, 2010) ou au travers des interactions avec le jeu (p. ex. mouvements de souris, consultation des aides, actions choisies dans le jeu) (De Vicente et Pain, 2002; Hastings *et al*., 2009; McQuiggan et Lester, 2007; Pedersen *et al*., 2009; Shaker, *et al*., 2010; Steiner *et al*., 2009). Par exemple, dans l'étude de Muñoz *et al*. (2011), le système de JSÉ peut comporter des dialogues incorporés dans le jeu, qui ont pour objectif de diagnostiquer chez l'apprenant des états émotionnels comme la joie, l'espoir, l'anxiété, etc. Ces variables motivationnelles sont modélisées dans un RB dynamique.

Comme nous l'avons mentionné plus haut, les techniques internes d'adaptabilité dans les jeux vidéo concernent principalement le *challenge* offert dans le jeu afin de satisfaire le joueur (Yannakakis et Hallam, 2009), en modifiant notamment en temps réel le contenu du jeu. De manière générale, ce sont surtout les systèmes à base de règles qui sont utilisés pour la génération de contenu (Millington et Funge, 2009) : une base de données contient les concepts et les règles associées utilisées par l'IA (de

type SI-ALORS). Lorsque le joueur effectue une action, l'IA consulte la règle correspondante et prend une décision quant à l'action à faire. Par exemple, si le joueur finit très rapidement un niveau, l'IA pourrait augmenter, dans le niveau suivant, le nombre d'adversaires.

D'autres techniques plus récentes font l'objet de recherches. Togelius *et al*. (2007) sont parvenus à modifier en temps réel une piste dans un jeu vidéo de course afin d'augmenter la satisfaction des joueurs. Un modèle du joueur est implémenté à l'aide de la technique d'IA de réseaux de neurones dont le rôle est d'inférer et de simuler le comportement d'un joueur humain, et qui est utilisé pour faire évoluer en temps réel la piste de course. Shaker *et al*. (2010) se sont focalisés sur la génération de niveaux de jeu personnalisés plus ou moins difficiles dans le jeu *Super Mario Bros,* grâce à des réseaux de neurones multi-couches (p. ex. nombre d'obstacles à éviter) (voir aussi Jennings-Teats *et al*., 2010; Kazmi et Palmer, 2010 pour des études similaires). Yu et Trawick (2011) ont eux aussi étudié la génération de niveaux dans un jeu vidéo sous forme de jeu de rôle, en modifiant notamment le nombre d'ennemis, afin de minimiser les risques de frustration et d'ennui. Ces auteurs ont utilisé une technique utilisant un algorithme de tri qui cherche le niveau le plus adapté au joueur parmi un ensemble de niveaux possibles.

Par ailleurs, les concepteurs de jeux vidéo se sont beaucoup focalisés sur l'adaptation *on-line* des comportements des PNJ en fonction des performances des joueurs, toujours dans l'idée de préserver le *challenge* tout le long de la partie, comme dans les jeux commerciaux *Mario Kart Wii* et *Pro Evolution Soccer 08*. Spronck *et al*. (2004) utilisent la technique du « script dynamique » qui attribue à chaque PNJ un script contenant des règles d'adaptation, qui dépendent des données collectées sur le joueur humain, comme son score, et sur le niveau de difficulté actuel du jeu. Ocio (2012), quant à lui, discute de la technique d'IA des arbres de décision pour adapter le comportement des PNJ dans le jeu vidéo *Driver San Francisco*. Les comportements

autonomes des PNJ sont régis par l'arbre de décision, mais sont aussi guidés par des heuristiques, en fonction du *challenge* qu'il est pertinent d'offrir au joueur. Bakkes *et al*. (2009) ont adapté les comportements des PNJ adversaires dans un jeu de stratégie, afin qu'ils apprennent de leurs erreurs et agissent de manière plus efficace. Leur système fonctionne grâce à l'approche à base de cas, dont le principe est de compiler un ensemble de solutions utilisées pour résoudre des cas antérieurs similaires et de comparer ces solutions aux observations faites dans le jeu (pour une étude similaire, voir Hartley et Mehdi, 2009). Ces auteurs soutiennent, dans une autre étude, l'importance de modéliser les PNJ adversaires du joueur humain afin de les rendre plus performants, en exploitant notamment les faiblesses du joueur humain (Bakkes *et al*., 2012). Beaudry *et al*. (2010) ont à ce sujet proposé d'utiliser la technique de la planification (plus particulièrement, la planification MDP - processus de décision markovien) afin d'offrir aux joueurs un défi suffisamment intéressant et motivant pour éviter l'abandon du jeu dû à la frustration. Les auteurs ont modifié le jeu *Serpents et Échelles* et modélisé l'ensemble des actions possibles du joueur humain et de son adversaire artificiel (avancer une seule case, lancer un dé, etc.) de même que leurs conséquences dans le jeu. Le système adapte la manière de jouer de l'adversaire artificiel en fonction de sa position sur le plateau et de celle du joueur humain, afin d'éviter la frustration de jouer contre un adversaire trop faible ou trop fort qui peut conduire à l'abandon du jeu. Enfin, le système du jeu vidéo *Left 4 Dead* est capable de modifier le cours du scénario narratif en fonction de la vitesse et des comportements des joueurs, en rajoutant des évènements par exemple (Kickmeier-Rust *et al*., 2011; Li et Riedl, 2010; Riedl et Sugandh, 2008).

Les études sur les STI se sont surtout focalisées sur la détection des erreurs de compréhension et sur la génération automatique d'aides ou d'indices adaptés (Gertner *et al*., 1998; Murray et Arroyo, 2002). Par exemple, Paquette *et al*. (2012) ont utilisé une technique proche des systèmes de règles pour générer des indices orientés vers

l'accomplissement des objectifs d'apprentissage. Certains travaux de Baker ont pour objectif d'éviter que les apprenants tentent de réussir les exercices en exploitant des propriétés du système (i.e. « gagner le jeu ») plutôt qu'en apprenant le contenu pédagogique, en générant par exemple de nouveaux exercices et en adaptant les réactions émotionnelles de l'agent virtuel d'assistance dans le STI (Baker *et al*., 2006, 2008, 2010). Les systèmes détectent les actions suspectes des apprenants (p. ex. un nombre exagérés de clics) ainsi que les temps entre les différentes actions, et les probabilités que l'apprenant soit en train d'exploiter le jeu sont calculées grâce à un RB.

Enfin, dans les JSÉ, l'architecture de Peirce *et al*. (2008) permet l'adaptabilité des comportements des PNJ afin de personnaliser l'apprentissage des utilisateurs et de le rendre ainsi plus motivant. Le fonctionnement de cette architecture repose sur les « éléments adaptatifs » qui sont prédéfinis dans le système et qui décrivent les paramètres du jeu au sein desquels les éléments adaptatifs peuvent être utilisés de même que leurs conséquences lorsqu'ils sont utilisés. Le système fonctionne grâce à un système de règles qui examine le modèle du JA afin d'adapter le contenu du jeu. Conati et Zhao (2004) ont proposé une technique pour générer des aides données par un agent virtuel d'assistance, en plus d'adapter ses réponses aux demandes d'aides venant du JA. L'agent virtuel consulte le modèle du JA fonctionnant avec un RB dynamique et prend la décision de la meilleure action possible pour maximiser la motivation. Steiner *et al*. (2009) ont proposé, quant à eux, deux types d'adaptation possibles, sous forme de dialogues avec l'utilisateur, qu'ils ont implémentés dans le JSÉ *80 days* dans le domaine de la géographie. Une première forme d'adaptation est basée sur les objectifs pédagogiques et les compétences correspondantes, en poussant notamment le JA à la réflexion quant à ses actions dans le jeu ou en donnant des indices si la progression du JA est compromise. Une deuxième forme d'adaptation est basée sur la motivation et l'engagement du JA, en encourageant les succès, en

stimulant le JA en cas d'échecs, en incitant à l'action lorsque le JA se décourage ou manque d'attention. Ces adaptations sont, elles aussi, soutenues par une technique à base de règles. Hodhod *et al*. (2009) ont, pour leur part, décrit l'adaptation du scénario narratif dans un JSÉ dans le domaine de l'éthique, grâce à la technique de planification STRIPS (*Stanford Research Institute Problem Solver*). Cette technique permet au système de jeu de sélectionner un scénario narratif composé d'actions maximisant les atteintes des objectifs d'apprentissage et l'engagement. La séquence des actions forme un plan (ou une histoire), qui peut être recalculé en direct lorsque le JA est en difficulté.

2.2.5 Synthèse de la taxonomie de l'évaluation de l'apprentissage et de l'adaptabilité dans les JSÉ

Le tableau 2.1 résume les cibles, les objectifs, les niveaux ainsi que les techniques d'évaluation et d'adaptation que nous venons de présenter et qui pourraient s'appliquer aux JSÉ.

Tableau 2.1 Synthèse de la taxonomie de l'évaluation de l'apprentissage et l'adaptabilité concernant les JSÉ

Rubriques		ÉVALUATION	ADAPTABILITÉ
CIBLES		- Comportements observables - Actions dans le JSÉ qui sont vues comme des indicateurs des états d'apprentissage et motivationnels du JA.	- Contenu, activités, exercices, scénarios narratifs, niveaux de jeu - Rétroaction - Mécaniques de jeu - Comportements des PNJ, agents virtuels d'assistance
OBJECTIFS		- Conserver les traces de l'apprentissage - Fournir des rétroactions	- Proposer une expérience personnalisée d'apprentissage - Modifier la difficulté de l'environnement et du *challenge* - Optimiser le processus de construction des connaissances et le développement de compétences ainsi que la motivation
NIVEAUX	Externe	- Pré/post tests de connaissances et de motivation - Cueillette des protocoles verbaux - Observation directe (p. ex. gestes, postures du corps, expressions faciales, signaux physiologiques) - Captures d'écran et enregistrement sonore - Entretiens	- Adaptation du contenu pédagogique ou ludique du système avant de l'utiliser: à chaque profil du JA correspond un contenu spécifique
	Interne	- Tests de connaissances, dialogues, questionnaires incorporés dans le JSÉ - Périodes de temps limitées - Aides ou indices disponibles sur demande - Analyse des scores, passages de niveaux, atteintes des objectifs, solutions trouvées	- Adaptation automatique sans aucune intervention humaine - Technique d'IA pour permettre l'adaptation - Adaptation *on-line* ou adaptation *off-line*
TECHNIQUES INTERNES (IA)		- Réseaux bayésiens - Réseaux de pétri	- Systèmes à base de règles - Réseaux bayésiens - Planification

2.3 Aspects problématiques et critiques de notre analyse

La précédente revue des écrits nous apprend que l'évaluation de l'apprenant peut être centrée sur l'état de ses compétences et sur son état motivationnel afin de conserver une trace de cette progression et de mettre à jour le modèle de l'apprenant. Une fois l'évaluation effectuée, le système de JSÉ peut alors s'adapter à l'apprenant, s'il est pourvu des fonctionnalités adéquates pour ce faire.

Les techniques d'évaluation externe nécessitent souvent de lourds équipements (appareils d'oculographie, caméra, capteurs, etc.), qui ne sont pas toujours disponibles dans un contexte d'enseignement ou de formation (Thomas *et al*., 2012), ainsi qu'un travail important de conception de grilles d'analyse pour interpréter les données ainsi collectées (Muñoz *et al*., 2011). Par ailleurs, si l'administration de questionnaires de connaissances et/ou de motivation avant et/ou après l'utilisation du système est très utile pour vérifier les niveaux de connaissances et d'engagement de l'apprenant, elle a pour désavantage d'interrompre la dynamique du jeu et l'expérience de *flow* et ainsi d'altérer l'engagement et l'immersion (Thomas *et al*., 2012; Steiner *et al*., 2009). C'est pourquoi les recherches sur les JSÉ se focalisent de plus en plus sur des techniques d'évaluation interne (Shute *et al*., 2011; Steiner *et al*., 2009). Néanmoins, certaines techniques d'évaluation interne citées dans la section précédente peuvent encore être perçues comme intrusives : par exemple, le fait d'incorporer des dialogues de jeu ou des tests dans le jeu, comme c'est le cas dans le JSÉ *80 days* (Steiner *et al*., 2009), interrompt le déroulement du jeu et risque de désengager le JA (Kickmeier-Rust *et al*., 2011). L'adaptabilité interne comme l'évaluation interne permettent d'éviter la présence d'équipements lourds dans l'environnement d'apprentissage et favorisent l'exportation plus facile du jeu d'un environnement de formation à un autre.

La taxonomie dont la synthèse est présentée dans le tableau 2.1 offre, selon nous, une structure utile pour guider la conception de notre architecture des JSÉ. Nous devrions, en effet, nous pencher sur les cibles, les objectifs, les niveaux et les techniques d'évaluation et d'adaptabilité dans le système de jeu. Nous avons détaillé dans cette section chacun de ces quatre aspects, en insistant sur leurs avantages et leurs inconvénients et en donnant de nombreux exemples. Nous avons constaté que, dans beaucoup d'études, un ou plusieurs de ces aspects ont été mis de côté ou encore manquent de précision. Notre analyse a néanmoins montré que les défis de conception des JSÉ résident surtout dans l'adaptabilité interne et dans les techniques d'IA qui peuvent la soutenir. Nous constatons que, dans les études, l'adaptation interne se fait à partir de « métriques » évaluées par le système, comme les actions de bas niveau des utilisateurs (p. ex. déplacements, clics, vitesse), que les chercheurs associent à des comportements de haut niveau, comme l'atteinte des objectifs d'apprentissage. Cette correspondance, qui est tributaire de la manière dont le système a été conçu, est ardue à établir et constitue un véritable défi dans l'adaptabilité interne dans les JSÉ. Par ailleurs, la majorité des études mentionnées ci-dessus accordent une importance capitale au modèle de l'apprenant, implémenté dans un RB dans la plupart des cas. Tous ces aspects, jumelés avec l'importance de la rétroaction, des comportements des PNJ ainsi que de la nature modifiable des contenus des environnements d'apprentissage et de jeu, devraient, selon nous, être inclus dans l'architecture des JSÉ, qui devrait être ainsi capable de proposer, pour chaque apprenant, un scénario d'apprentissage personnalisé et adapté. Pour finir, les techniques d'évaluation externe des apprentissages et de l'engagement fondées sur l'administration de questionnaires avant et après l'utilisation du système, sont selon nous pertinentes afin de révéler la valeur pédagogique d'un JSÉ juste après sa conception, mais ne devrait pas être utilisées de manière systématique en situation de formation ou en enseignement, afin de ne pas interrompre le *flow* dans l'expérience de jeu.

En résumé, il ressort de notre analyse que les études sur l'adaptabilité des systèmes mentionnées plus haut se sont focalisées sur des aspects qui, selon nous, devraient faire partie de l'architecture de JSÉ. Dans cette thèse, nous optons pour une approche plus globale de l'adaptation des scénarios de jeu, et, dans notre cas, des SPJ, approche plus puissante selon nous, pour les raisons que nous avons mentionnées dans le chapitre 1 (cette approche souligne l'importance de concevoir des scénarios de jeu réalistes dont les problèmes à résoudre sont complexes, authentiques et contextualisés, dont les objectifs sont clairs, et dont les rétroactions sont adaptés à la progression du JA). Quelques rares études, relativement récentes, se sont penchées sur la génération automatique de scénarios en fonction de la progression de l'apprentissage chez l'apprenant, que nous allons détaillées dans la section suivante.

2.4 Génération automatique de scénarios dans les jeux sérieux éducatifs et dans les EIAH

Cette section se focalise sur les architectures et techniques permettant de générer automatiquement des scénarios d'apprentissage. Nous avons répertorié quelques études pertinentes dans le domaine du *e-learning* et dans les JSÉ. Nous avons privilégié ici les architectures qui génèrent des scénarios pédagogiques de manière avant tout interne (*off-line* et *on-line*) et qui ont eu le souci (a) d'implémenter une IA pour soutenir la génération et (b) d'inclure minimalement un modèle de l'apprenant.

Dans le domaine des environnements d'apprentissage offerts en ligne, Garrido *et al*. (2012) ont proposé une architecture permettant de générer des scénarios d'apprentissage au sein de la plateforme *Moodle*, grâce à la technique de la planification. Les éléments suivants sont inclus dans les paramètres de la planification : les connaissances antérieures et les préférences des apprenants représentées par les états initiaux, les objectifs pédagogiques à atteindre représentés par les objectifs de planification, les objets d'apprentissage représentés par les actions

avec leurs préconditions et effets et enfin les scénarios d'apprentissage représentés par le plan généré. Il faut néanmoins noter que les préférences des apprenants sont collectées au préalable par des questionnaires incorporés dans la plateforme *Moodle*. Une fois ces informations collectées, un plan est généré pour chaque apprenant et éventuellement modifié en cours d'utilisation du système, et qui peut être consulté et validé par le professeur du cours.

Arapi *et al*. (2007) ont également proposé une architecture implémentée au sein d'environnements d'apprentissage en ligne dont le composant principal est le « module de personnalisation », qui interroge le profil de l'apprenant (i.e. ses préférences en termes d'apprentissage, son niveau d'éducation et les objectifs poursuivis) et tente de trouver le scénario pédagogique qui lui est le plus approprié, implémenté sous la forme d'une ontologie d'activités d'apprentissage. Le contenu des scénarios peut se modifier lors de l'atteinte d'une partie des objectifs d'apprentissage et cibler ainsi d'autres objectifs.

Les scénarios de jeu, et plus particulièrement les scénarios de quêtes et de missions, peuvent être aussi générés automatiquement, dans les simulations notamment. L'architecture de Niehaus et Riedl (2009b) est focalisée sur les scénarios d'entraînement ou de simulation favorisant l'expérimentation d'évènements ou de tâches orientés vers des objectifs précis et s'adaptant aux compétences, aux besoins, et aux objectifs des JA. Leur architecture repose sur la technique de la planification, les étapes du plan généré représentant la séquence des évènements associés aux objectifs pédagogiques, ainsi que sur l'approche à base de cas. L'architecture permet l'ajout et la suppression d'objectifs pédagogiques ainsi que de tous les évènements correspondants. Le choix des objectifs est possible grâce aux différents cas modélisés au préalable par le pédagogue. Cette architecture a été reprise et détaillée dans une autre étude de Li et Riedl (2010), mais n'a pas, à notre connaissance, été implémentée dans un JSÉ en particulier.

Dans le JSÉ *80 days*, mentionné plus haut, Göbel *et al*. (2009) ont proposé une architecture de scénarios narratifs de type hybride, dans le sens où le contenu de certaines « séquences » de scénarios est pré établi à l'avance, alors que d'autres séquences, sous forme d'ensembles de micro missions ou micro quêtes, sont composées d'un contenu généré automatiquement en fonction de la progression de l'apprentissage. Notons que l'adaptation est de haut niveau, dans le sens où le contenu des missions est déterminé à l'avance : c'est plutôt la séquence des missions qui est adaptée.

Zook *et al*. (2012) ont, quant à eux, proposé de générer automatiquement des scénarios d'entraînement militaire dans un JSÉ de simulation, en fonction des objectifs pédagogiques, des connaissances issues du domaine ciblé et des caractéristiques de l'apprenant. Ces scénarios sont composés d'activités dont la séquence permet de développer une compétence et dont la génération se focalise sur la difficulté et le contexte approprié des activités ainsi que sur les aspects « dramatiques » de la mission. L'architecture a été implémentée dans un JSÉ où les apprenants doivent organiser l'aide médicale dans un contexte de mission militaire. La technique d'IA utilisée dans leur étude est celle des algorithmes génétiques, dont le point de départ est un ensemble de solutions aléatoires générées et qui sont affinées par la suite. En premier lieu, un ensemble de scénarios potentiels complets est généré, avec toutes les actions que pourront faire les apprenants dans la simulation. Ensuite, des fonctions implémentées dans le système déterminent des critères de sélection des scénarios les plus appropriés et examinent la séquence globale des scénarios afin de déterminer si elle est adéquate, compte tenu du modèle de l'apprenant. De un à quatre processus itératifs d'affinement de ces scénarios ont alors lieu, avec comme actions possibles : l'ajout ou la suppression d'un évènement, la mutation aléatoire d'un évènement et la permutation de plusieurs évènements dans le scénario. Cette technique pose néanmoins des problèmes de cohérence dans la séquence des

évènements. Pour tenter de régler ces problèmes, les auteurs ont jumelé l'utilisation des algorithmes génétiques avec celle de la technique de la planification dans la dernière phase de génération automatique de scénarios, qui permet d'inclure des préconditions pour chaque évènement et de vérifier qu'elles sont bien respectées dans le scénario.

Enfin, Grappiolo *et al*. (2011) ont conçu un mini JSÉ dont l'objectif est d'amener des enfants d'âge scolaire à développer des compétences de résolution de conflits, un problème mal défini. Cette architecture fonctionne également avec des algorithmes génétiques. Le jeu est composé de niveaux et leur contenu est généré automatiquement de manière *off-line* par le « module de génération de contenu » en fonction du « module de l'apprenant », à savoir de son expérience et de son engagement dans le jeu. Le module de l'apprenant est mis à jour après chaque niveau de jeu. Ces deux modules forment la « composante IA » de l'architecture. La « composante système de jeu », quant à elle, renvoie à la fin de chaque niveau les données sur le *gameplay* du jeu à la composante IA, qui met à jour le module de l'apprenant. Ce dernier guide la génération du prochain niveau de jeu.

En résumé, ce chapitre affine notre perception de ce que devrait être une architecture de génération automatique de SPJ dans les JSÉ. Le modèle du JA du JSÉ, qui inclut la modélisation du domaine d'expertise et plus particulièrement des compétences à développer, devrait être capable d'évaluer de manière interne la progression du JA, de par ses interactions avec le système. Cette évaluation devrait être utilisée par un module d'adaptation capable de générer une rétroaction adaptée (sous forme de score, d'aides, de consignes, etc.) et de modifier le contenu de l'environnement simulé de jeu et les comportements des PNJ afin d'orienter le JA vers l'atteinte des sous-objectifs et objectifs d'apprentissage. L'ensemble des actions et de leurs résultats à la fois du JA et du système de JSÉ doit être enregistré sous forme de traces. Cet ensemble devrait également former, au terme du jeu, le déroulement du SPJ, unique

et personnalisé. Idéalement, l'adaptation, soutenue par une IA, devrait se faire en direct (i.e. *on-line*) au fur et à mesure que le JA interagit avec le jeu, afin de préserver son engagement dans le jeu et l'état de *flow*.

Cette synthèse est présentée dans la figure 2.2, qui représente, sous forme schématique, une ébauche d'architecture de SPJ dans les JSÉ.

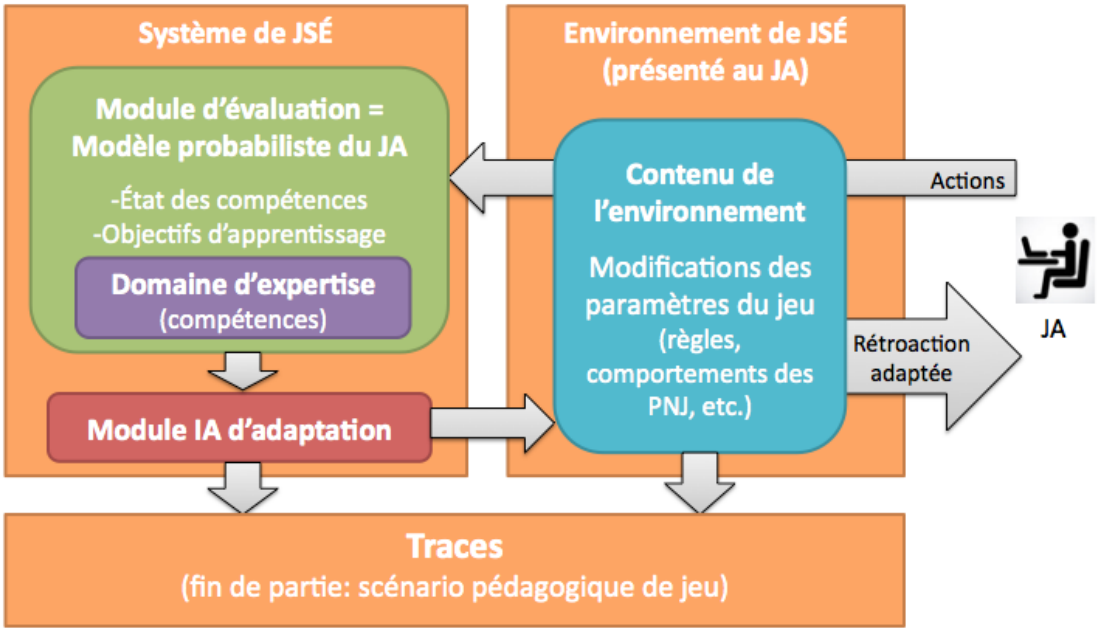


Figure 2.2 Ébauche d'une architecture de SPJ dans les JSÉ

Ces deux premiers chapitres closent la revue des recherches recensées dans le domaine des EIAH, dont les JSÉ, et les jeux vidéo. De cet état de l'art, peuvent être dégagés plusieurs problèmes et enjeux que nous présenterons dans le prochain chapitre, ce qui nous amènera à exposer notre proposition d'architecture de génération de SPJ dans les JSÉ.

CHAPITRE III

PROPOSITION D'UNE ARCHITECTURE DE GÉNÉRATION AUTOMATIQUE DE SCÉNARIOS PÉDAGOGIQUES DE JEUX

Dans ce chapitre, nous justifions dans une première section notre choix de concevoir une architecture de génération automatique de SPJ pour les JSÉ de simulation. La simulation répond selon nous aux enjeux d'apprentissage soulevés dans les chapitres précédents. Dans une deuxième section, nous présentons les lacunes et les enjeux soulevés par la génération automatique de scénarios pédagogiques de jeu (SPJ) dans les jeux sérieux éducatifs (JSÉ). L'évaluation de l'apprentissage du joueur-apprenant (JA) est en effet ardue, ainsi que l'adaptation interne et en direct des SPJ à cette évaluation. Nous proposons des pistes de solutions pour pallier ces difficultés. Ensuite, nous soulevons les enjeux du maintien de l'engagement du JA dans son expérience de jeu. Nous soulignons enfin l'apport des SPJ générés de manière automatique par rapport aux SPJ scriptés. Toutes ces considérations nous permettent, dans une troisième section, de présenter la version générique de notre architecture de génération automatique de SPJ pour les JSÉ de simulation, afin de répondre à la problématique d'adaptation automatique. Nous détaillons ensuite les trois composantes principales de notre architecture et les techniques d'intelligence artificielle (IA) associées : le modèle du JA soutenu par un réseau bayésien (RB), le module d'adaptation soutenu par la planification, et enfin le module de traces.

3.1 Justification du choix de la simulation comme type de jeux sérieux éducatifs pour la conception de notre architecture

Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 1, les JSÉ de type simulation répondent aux recommandations des stratégies pédagogiques s'inscrivant dans l'approche de l'apprentissage par l'expérience et de l'apprentissage situé, impliquant la réalisation d'activités réalistes issues du domaine de connaissances. De plus, ces types de JSÉ se prêtent particulièrement bien à la génération automatique de scénarios de par leur structure, dans le sens où une simulation propose une mobilisation réelle des compétences visées, le plus souvent dans un seul et unique niveau de jeu. Le JA est ainsi immergé dans un environnement dont les paramètres se modifient au fur et à mesure de son exploration. Un JSÉ de simulation prend la forme d'un « environnement simplifié de la réalité permettant à son utilisateur de réaliser un apprentissage, sans les risques inhérents à certaines situations réelles » (Sauvé et Kaufman, 2010, p. 21). Pour Kapp *et al*. (2014), la simulation n'a pas besoin d'être parfaitement réaliste, mais devrait être au moins reconnaissable par le JA. De fait, la « simulation ne remplacera jamais la réalité ni l'expérience réelle » (Béguin et Pastré, 2002, p. 8). Toutefois, ceci ne constitue pas nécessairement une limite pour l'apprentissage car les situations d'apprentissage par la simulation proposées dans le jeu peuvent permettre au JA d'exercer les compétences visées. La simulation est donc une version simplifiée et incomplète d'un domaine réel, mais qui, pour des raisons pédagogiques, conserve les éléments essentiels de ce domaine (Garris *et al*., 2002). La simplification du domaine ne signifie pas que la simulation est basique en elle-même et comporte peu d'éléments; au contraire, elle doit proposer un environnement relativement complexe où le JA peut appliquer différentes stratégies de jeu et où les solutions ne sont pas évidentes à première vue. Selon Kapp *et al*. (2014), « la simulation est un environnement au risque contrôlé au sein duquel les apprenants peuvent mettre en pratique des comportements et expérimenter les impacts de leurs

décisions » (p. 58). Ce qui constitue un autre facteur important du système de simulation : en plus d'être complexe, il doit être dynamique pour permettre au JA « de contrôler cette réalité afin de l'étudier, au rythme désiré ainsi qu'au moment opportun » (Sauvé et Kaufman, 2010, p. 23). Plus particulièrement, des variables composent le système dynamique de simulation, variables que le JA peut manipuler et en apprécier les conséquences sur l'environnement de jeu. Le JA peut ainsi, au fur et à mesure de son interaction avec le système de simulation, découvrir, mémoriser et comprendre les relations de causes à effets entre les variables.

Parce qu'elle propose un environnement de jeu dynamique et le plus réaliste possible, la simulation offre ainsi, comme le souligne Galarneau (2005), la possibilité d'un apprentissage authentique au JA. Un apprentissage authentique se caractérise notamment par des activités complexes à réaliser par l'apprenant qui ressemblent aux activités du monde réel, par différents rôles à jouer par le JA et par une évaluation de l'apprentissage intégrée à la démarche d'apprentissage (Reeves *et al*., 2002). Galarneau (2005) précise qu'un environnement réaliste ne suffit pas : les éléments de simulation doivent être couplés à des éléments ludiques et des éléments pédagogiques. Les éléments de simulation sont représentés dans le système qui exécute la simulation. Ce système permet de faire évoluer les variables de simulation et de les faire interagir entre elles. Les éléments ludiques se veulent motivants, il s'agit par exemple des éléments de compétition, du système de récompenses et de pointage, de la rétroaction en direct, des missions bonus, etc. Les éléments pédagogiques, qui correspondent au scénario pédagogique, englobent ceux de simulation et de jeu dans un contexte d'apprentissage axé sur les objectifs pédagogiques, les compétences à développer et l'évaluation de ces apprentissages (Galarneau, 2005). C'est dans l'intégration des éléments de simulation, des éléments ludiques et des éléments pédagogiques et dans le respect d'un certain équilibre entre eux que réside le défi de la conception des JSÉ de simulation. Les JSÉ de simulation

favorisent également le développement de compétences de prise de décision, en permettant au joueur de mettre en pratique ses décisions et de constater leur résultat (Kapp *et al*., 2014). Si l'objectif du joueur est de gagner, l'objectif pédagogique poursuivi dans le JSÉ de simulation est plutôt de l'amener à jouer un rôle, à être confronté à des difficultés et à expérimenter les conséquences de ses décisions de manière à favoriser le développement de compétences ciblées (Gredler, 2004).

3.2 Problèmes, lacunes et enjeux de la génération automatique de scénarios pédagogiques de jeu

Dans les chapitres précédents, nous avons mentionné que les JSÉ devaient permettre aux JA de maîtriser un domaine d'expertise, ou tout du moins des compétences ciblées de ce domaine, en présentant des contenus de jeu entraînant la résolution continue de problèmes complexes, tout en maintenant l'engagement élevé. Dans ce cadre, nous soutenons que la génération automatique de SPJ dans les JSÉ de simulation devrait se faire de manière interne afin de préserver cet engagement en évitant une évaluation intrusive et de proposer des contenus adaptés au sein même de l'expérience de jeu, et ce, de manière continue et en direct (i.e. *on-line*). Cependant, cette adaptation pose plusieurs défis, que nous allons aborder dans cette section.

3.2.1 Incertitude reliée à l'évaluation de l'apprentissage et apport de la modélisation du joueur-apprenant et de ses connaissances

Tout d'abord, l'évaluation interne des états d'apprentissage implique de reconnaître, chez l'apprenant, l'état de ses connaissances, de ses compétences et de sa compréhension du domaine de connaissances. Or, il est difficile de savoir si les connaissances ont été effectivement acquises. De plus, dans un JSÉ, on ne peut attribuer avec certitude le développement d'une compétence à la réussite d'un objectif de jeu ou à l'augmentation du score. Cette incertitude doit donc être prise en compte par le modèle du JA et dans la ou les techniques d'IA utilisées, qui interrogeront ce

dernier pour prendre des décisions quant à la génération des SPJ. C'est pourquoi la majorité des études ayant porté sur les cours en ligne, les systèmes tutoriels intelligents (STI) et les JSÉ ont proposé de modéliser l'apprenant grâce aux RB (Conati, 2010, dans Nkambou *et al*., 2010). L'approche bayésienne est présentée comme l'une des approches les plus pertinentes pour modéliser l'incertitude et estimer la probabilité de faits inconnus ou incertains (Millington et Funge, 2009). Dans un JSÉ, le modèle de l'état des connaissances du JA peut prendre la forme d'un RB où chaque nœud est attribué à une variable aléatoire qui indique l'état de maîtrise d'une compétence ou l'atteinte d'un objectif pédagogique. À partir des évidences observées, à savoir les actions du JA dans le JSÉ et leurs conséquences dans l'environnement de jeu, il est possible d'estimer la distribution de la probabilité de chaque variable aléatoire « cachée » que l'on désire interroger. Par exemple, on peut estimer la probabilité que le JA maîtrise une compétence étant donné son score obtenu à un temps donné dans le jeu. Des tables de probabilités préalables sont spécifiées à l'avance par les enseignants ou les experts du domaine : elles déterminent, pour chaque action faite dans le jeu par le JA ou chaque conséquence des actions, la probabilité que le JA ait acquis la compétence.

Cette technique, si elle se révèle efficace pour estimer les états de connaissances et de compétences d'un utilisateur, comporte néanmoins quelques défis. Dans le cadre précis des JSÉ de simulation, il faut en effet que les concepteurs modélisent la correspondance entre les actions que peuvent exécuter les JA dans le jeu avec les compétences du domaine. Par exemple, un déplacement dans l'environnement de jeu ou une séquence précise d'actions dans le jeu exécutées par le JA pourrait être considéré comme un indicateur de la maîtrise d'une compétence précise. Il faut donc modéliser toutes les actions possibles, mais aussi toutes les conséquences que ces actions ont sur l'environnement de jeu. Selon la complexité du jeu de simulation, cette tâche peut se révéler laborieuse : les simulations comportent en effet de

nombreux paramètres, et le nombre d'actions est immense. Par ailleurs, l'approche bayésienne implique de modéliser les relations de dépendance entre les variables aléatoires. Cela se fait généralement à l'aide de table de probabilités, qui peuvent être établies par des experts du domaine. Or, la subjectivité de certains experts ainsi que leurs connaissances parfois rendues tacites avec le temps rendent ce processus souvent très ardu (Negnevitsky, 2002).

Qu'il s'agisse donc de la modélisation des actions et de leurs correspondances avec les connaissances et compétences du domaine, ainsi que de la conception des tables de probabilités préalables par les experts, les concepteurs de JSÉ doivent effectuer en amont de la conception un travail ardu et précis de modélisation du domaine de connaissances, ainsi qu'une réflexion poussée sur les actions possibles dans le JSÉ. Or, très peu de recherches ont mentionné ce travail de conception préalable (Kok, 2014; Marfisi-Schottman *et al*., 2010; Marne *et al*., 2011). Pourtant, certains auteurs mentionnent l'importance de proposer en amont un modèle du domaine de connaissances afin de bonifier la conception du JSÉ, modèle qui détaillerait les connaissances et leurs types, les scénarios types, etc. (Lavergne-Boudier et Dambach, 2010; Squire, 2005). D'autres chercheurs ont implémenté une ontologie du domaine directement utilisée par le système de l'environnement d'apprentissage (O'Keeffe *et al*., 2006; Thomas *et al*., 2012), et ont donc dû faire ce travail de modélisation. Dans ce contexte, nous défendons la modélisation du domaine de connaissances comme outil méthodologique préalable à la conception des JSÉ comme le suggère d'ailleurs Paquette (2002a) dans la conception de tout système d'apprentissage ; nous détaillerons dans le chapitre suivant la méthode choisie dans l'objectif d'intégrer le domaine de connaissances dans notre architecture. Enfin, la modélisation devrait nous permettre de structurer le contenu des traces d'apprentissage produites par l'interaction du JA avec le système de JSÉ afin de les rendre pertinentes pour le pédagogue. Dans la littérature, peu d'étude mentionnent la pertinence des traces à des

fins d'analyse par le pédagogue une fois que le jeu est terminé (Bouvier *et al*., 2013; Gervas, 2014; Westera *et al*., 2014), ce qui constitue selon nous une lacune importante.

Dans le chapitre 1, nous avons souligné que les JSÉ peuvent favoriser la découverte de stratégies liées aux compétences et leurs exécutions dans différents contextes ou situations d'apprentissage, et donc l'acquisition d'une forme de flexibilité stratégique. Ces aspects ont été mis de côté dans les différentes études recensées. Par ailleurs, nous avons mentionné dans le chapitre précédent l'importance de modéliser les tactiques que pouvait exécuter l'apprenant dans les JSÉ. Ces tactiques devraient, selon nous, être distinguées des stratégies liées aux compétences à développer dans le domaine ciblé. Les tactiques de jeu font référence à des processus de bas niveau poursuivant un objectif précis dans le jeu; elles se composent de différentes actions dans le jeu. Elles sont donc liées au *gameplay* du jeu. Les tactiques sont donc directement observables lorsque l'apprenant joue au JSÉ. Modéliser les tactiques plutôt que toutes les actions possibles permet de réduire la complexité de la modélisation (Bakkes *et al*., 2012). Les stratégies, en revanche, font référence aux différentes étapes exécutées dans le but de résoudre une tâche, et qui peuvent être utilisées dans plusieurs contextes. Elles font donc partie du modèle de connaissances et devraient donc être, elles aussi, définies lors de la modélisation du domaine de connaissances. Modéliser ces stratégies devrait permettre aux concepteurs de JSÉ de les faire exécuter par l'apprenant dans des situations précises de jeu, ces dernières simulant des contextes tirés la vie réelle. Par exemple, une stratégie pourrait se révéler efficace dans une situation plutôt standard du domaine, alors qu'une autre pourrait être plus efficace dans une situation d'urgence. Notre architecture de génération automatique de SPJ devrait permettre cette modification de contexte.

3.2.2 Adaptation au niveau interne en direct des scénarios pédagogiques de jeu et apport de la planification

La génération automatique de SPJ comme forme d'adaptation de niveau interne, continue et en direct (i.e. *on-line*), a finalement été peu abordée dans la littérature à ce jour (Grappiolo *et al*., 2011; Zook *et al*., 2012). Pourtant, selon nous, elle est indispensable pour répondre à l'objectif de développement de compétences dans un domaine de connaissances, et ce, en amenant le JA à réaliser des tâches reliées à ce domaine, en lui faisant exécuter des stratégies et en lui permettent de sélectionner les stratégies les plus pertinentes selon le contexte. L'avantage de choisir la simulation comme type de jeu est de permettre l'immersion du JA dans un environnement de jeu unique et ininterrompu, dont les composantes se modifient au fur et à mesure, mais sans que le JA ne s'en aperçoive. Le défi d'une telle architecture de JSÉ est de taille : il faut que la technique d'IA implémentée interroge le modèle du JA pour générer des actions engageantes et adaptées à la progression de l'apprentissage dans le jeu. Dans ce contexte, la planification est une technique d'IA qui peut être utilisée pour automatiser la sélection de ces scénarios adaptés (Beaudry *et al*., 2010; Hodhod *et al*., 2009; Niehaus et Riedl, 2009b; Nkambou, 2006; Rafferty *et al*., 2011; Theocharous *et al*., 2009). La planification consiste à générer un *plan*, idéalement optimal, pour répondre à un problème. Dans notre cas, il s'agit de trouver le *plan pédagogique* le plus optimal pour que le JA développe les compétences du domaine. Un planificateur génère ce plan pédagogique, qui peut être recalculé en direct en fonction de la progression de l'apprentissage du JA. À la fin de la session de jeu, le plan pédagogique ou l'ensemble des plans pédagogiques recalculés forme le SPJ en tant que tel. Ce SPJ doit avoir présenté au JA des contextes d'apprentissages variés tout en ajustant la difficulté de ces contextes à la progression de l'apprentissage, mais aussi une rétroaction adaptée à son niveau d'expertise dans le jeu et enfin des personnages non jouables (PNJ) dont le comportement a été ajusté au niveau

d'engagement du JA. La planification permet alors de proposer un nombre varié de SPJ, dont la structure est unique pour chaque JA. Cette aspect rend le JSÉ réutilisable, permettant ainsi d'amener l'apprenant à mettre plusieurs fois en pratique les compétences à développer.

Une des difficultés majeures pour un système de JSÉ supporté par un planificateur est de prendre en compte l'espace d'états du problème, qui peut être immense selon le nombre d'actions possibles du système et du JA, que l'adaptabilité se fasse en *on-line* ou en *off-line*. L'adaptabilité en *on-line* offre encore plus de défis, car le temps de calcul de la prochaine génération de contenu du planificateur doit être très court afin de maintenir la jouabilité. Les problèmes de planification étant complexes (d'un point de vue algorithmique), certains auteurs optent pour des solutions approximatives capables de générer des plans intéressants, c'est-à-dire de bonne qualité sans nécessairement être optimaux, dans des délais raisonnables (Rafferty *et al*., 2011). Pourtant, comme nous l'avons mentionné plus haut, il est nécessaire de proposer un environnement de jeu suffisamment complexe pour simuler, tout du moins en partie, un domaine de connaissances. Nous expliquerons dans la section suivante nos propositions pour répondre à ces défis.

3.2.3 Engagement dans les jeux sérieux éducatifs

Un autre aspect important à mentionner dans cette section est celui de la motivation et de l'engagement du JA dans les JSÉ. Nous avons mentionné plus haut que certains auteurs évaluaient les états motivationnels et émotionnels pendant l'interaction de l'apprenant avec un système d'apprentissage. À ce sujet, d'autres difficultés surgissent, surtout au niveau interne de l'évaluation : il est ardu d'expliciter les indicateurs comportementaux au travers des interactions joueur-système, révélateurs des états motivationnels. Ceci est dû au « niveau élevé d'ambigüité qui existe au sujet de la correspondance entre les états émotionnels et les facteurs qui peuvent être

utilisés pour les détecter » (Conati, 2002, p. 2, traduction libre) et au fait que les émotions relèvent d'une grande variété entre les individus. Les émotions sont ardues à mesurer même en cas d'évaluation externe (Conati, 2002). La plupart des auteurs adaptent donc la jouabilité du jeu ou le *gameplay* pour évaluer et maintenir la motivation, en imposant des limites de temps par exemple (Beck, 2005). En outre, lorsqu'un système parvient à évaluer les états motivationnels du joueur, certains auteurs soulignent que les émotions associées à ces états n'ont pas toutes les mêmes conséquences sur l'apprentissage. Par exemple, Baker *et al*. (2010) ont montré que l'ennui affecte davantage l'apprentissage que la frustration, cette dernière pouvant même y être bénéfique. Par ailleurs, certains auteurs ont montré que le fait de s'adapter aux états de connaissances permet à lui seul de maintenir la motivation de l'apprenant (Muñoz *et al*., 2009).

Dans le cadre de cette thèse, nous soutenons l'approche de certains auteurs qui statuent que les composantes affectives et cognitives ne peuvent être dissociées, leurs caractéristiques étant étroitement liées dans un contexte d'apprentissage. Rejoignant la position de Baker *et al*. (2010), nous préférons focaliser les aspects motivationnels et émotionnels sur l'engagement dans un JSÉ, en opposition avec le sentiment d'ennui qui serait à éviter dans un contexte d'apprentissage avec un JSÉ, car il augmenterait le risque d'abandonner le jeu ou de « gagner le jeu » et donc de s'éloigner des objectifs pédagogiques. Baker *et al*. (2010) soutiennent que l'ennui doit être détecté le plus tôt possible et/ou que le système adaptatif de JSÉ doit y répondre le plus rapidement possible. Karpinskyj *et al*. (2014) proposent que les PNJ réalistes et concurrentiels sont un moyen efficace d'engager le joueur, le maintenant dans un état de *flow*, approche que nous allons également intégrer dans notre architecture.

3.2.4 Apport des scénarios pédagogiques de jeu adaptés par rapport aux scénarios pédagogiques de jeu scriptés

Cette thèse veut défendre la génération automatique de SPJ comme catalyseur de l'apprentissage, en l'opposant à l'utilisation de scénarios rigides établis à l'avance grâce aux systèmes à base de règles et/ou à la technique des scripts. Si de nombreuses études sur les jeux utilisent la prédéfinition des scénarios, et quelques études l'adaptation des scénarios, il n'existe pas, au meilleur de notre connaissance, de comparaisons méthodologiques entre ces deux techniques de présentation des scénarios pour une raison évidente : les auteurs conçoivent des environnements de jeu avec l'une ou l'autre technique, empêchant ainsi une analyse comparative dans le même environnement d'apprentissage. Une étude dans le domaine du *e-learning* a néanmoins retenu notre attention, celle de Despotović-Zrakić *et al*. (2012), dans laquelle les auteurs ont proposé à un groupe d'étudiants de suivre un cours en ligne sur la plateforme *Moodle* dont le scénario pédagogique est établi à l'avance et, à un autre groupe d'étudiants, de suivre le même cours mais dont le scénario pédagogique est adapté de manière externe suite à la complétion de questionnaires. Cette étude a montré que les apprentissages effectués par le deuxième groupe d'étudiants ont été significativement meilleurs que ceux du premier groupe, en plus de manifester une expérience d'apprentissage plus plaisante. Nous proposons, dans cette thèse, de concevoir une autre version de JSÉ de simulation dont les scénarios seraient scriptés, afin d'évaluer les impacts de tels scénarios comparativement aux scénarios automatiquement générés sur l'engagement et sur l'apprentissage des JA.

3.3 Proposition d'architecture générique de génération automatique de scénarios pédagogiques dans les jeux sérieux éducatifs de simulation

Nous proposons, dans le cadre de cette thèse, une architecture de génération automatique de SPJ dans les JSÉ de simulation, qui répond selon nous aux lacunes de

l'état de l'art énumérées dans le chapitre 2 et qui ont été résumées dans ce chapitre. Nous présentons dans cette section la version générique de cette architecture, qui devrait selon nous s'adapter à d'autres JSÉ de simulations. Nous détaillons ensuite les trois composantes principales de notre architecture : le modèle du JA, le module de planification et enfin le module de traces. Enfin, nous décrivons la question de recherche et les hypothèses de cette thèse.

3.3.1 Version générique de notre architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques dans les jeux sérieux éducatifs de simulation

Cette section présente notre proposition d'architecture générique de génération automatique de SPJ permettant au système de JSÉ de simulation de s'adapter à chaque JA en lui proposant un apprentissage unique et engageant. Nous faisons l'hypothèse que notre architecture permettra la génération de SPJ dans une seule et unique session de jeu. Ainsi, le système de JSÉ de simulation n'aura pas besoin de recréer un nouvel environnement de jeu chaque fois qu'une nouvelle compétence doit être apprise. Nous faisons l'hypothèse que notre architecture permettra au système de JSÉ de modifier l'évolution du monde simulé et donc de créer de nouveaux contextes ou situations d'apprentissage qui imposent un changement de stratégies au JA. Cette évolution dynamique du contenu de jeu représente la génération automatique de SPJ comme outil d'enseignement et d'entraînement du JA. Notre architecture devrait s'appliquer aux JSÉ de simulation dont les compétences modélisées ne sont pas trop nombreuses, pour un temps de jeu de deux ou trois heures environ. La synthèse de notre architecture générique est présentée dans la figure 3.1.

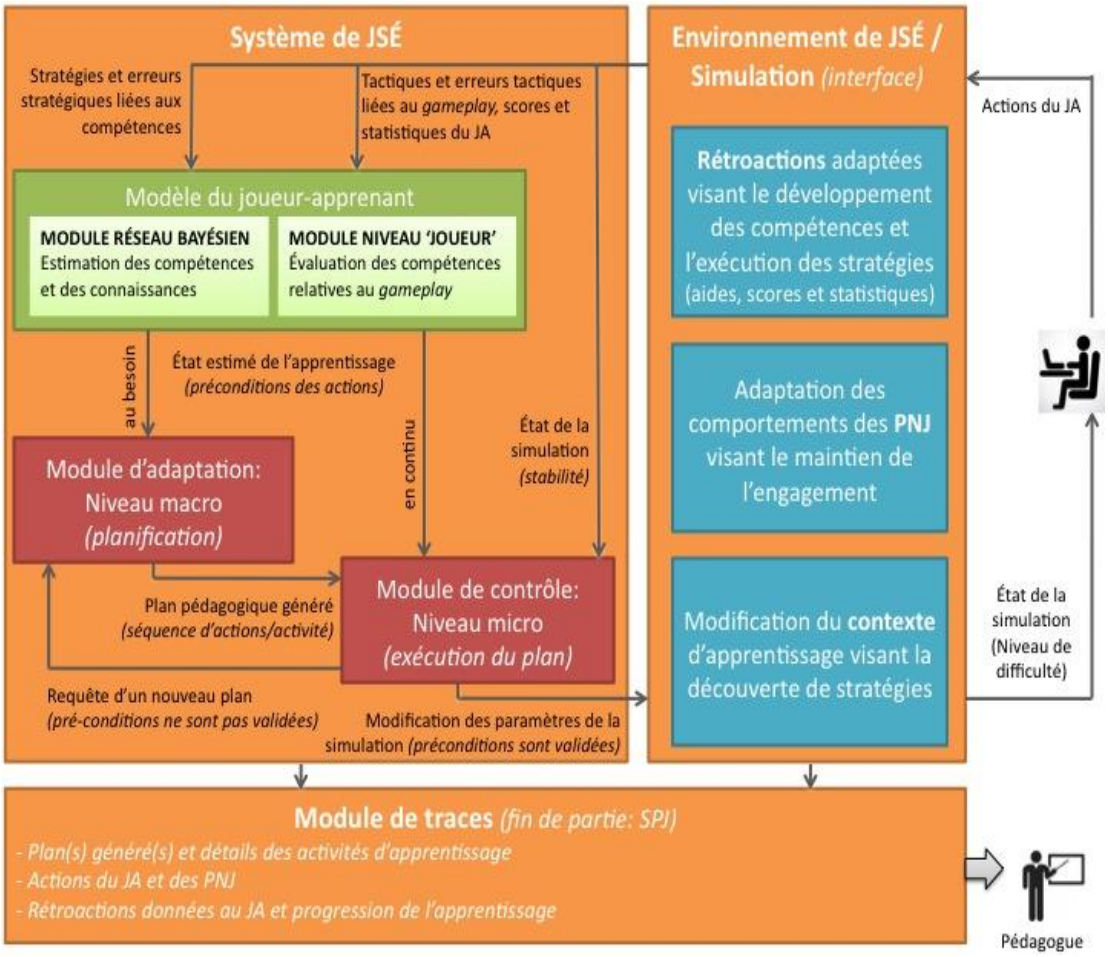


Figure 3.1 Proposition d'architecture de génération automatique de SPJ dans les JSÉ de simulation

Dans les sections suivantes, nous détaillons les composantes principales de notre architecture ainsi que leur rôle.

3.3.2 Modèle du joueur-apprenant soutenu par l'approche bayésienne et son rôle dans notre architecture

L'architecture proposée devrait tout d'abord comporter un modèle du JA ou module d'évaluation de l'apprentissage. Ce modèle du JA, grâce à l'implémentation d'un RB,

estime l'état des connaissances, des compétences et des stratégies que le JA doit développer dans le JSÉ de simulation et qui sont issues en premier lieu du domaine de connaissances, sous la forme d'une estimation en temps réel de l'état courant de l'apprentissage. Nous proposons de distinguer deux types de compétences : (1) compétences du domaine de connaissances et (2) compétences de jeu.

Les compétences *du domaine de connaissances* ne sont pas directement observables par le système, et nous ne pouvons uniquement les déduire des actions dans le jeu du JA. Elles doivent ainsi être estimées par le RB du modèle du JA. Certaines stratégies associées à ces compétences (p. ex. choisir d'exécuter une action précise selon le contexte en cours) ainsi que certaines erreurs stratégiques doivent elles aussi être estimées par le RB. D'autres stratégies et erreurs sont en revanche directement observables.

Les compétences *de jeu* en tant que telles font référence à celles développées sur le *gameplay* ou sur la manière de jouer au JSÉ. Ces compétences incluent également les tactiques exécutées par le JA. En soi, ces compétences ne sont pas liées à proprement parler au domaine de connaissances ciblées dans le JSÉ mais sont dépendantes de la manière dont le JSÉ se joue. Néanmoins, il est important de les évaluer pour pouvoir les reconnaître et déterminer si le JA maîtrise le *gameplay* du jeu, ce qui est un pré-requis pour le bon déroulement de l'apprentissage et le développement des compétences par la suite. Le système de JSÉ peut ainsi observer les actions effectuées par le JA dans le jeu ainsi que leurs conséquences sur l'environnement de jeu (p. ex. statistiques ou scores du JA) et l'atteinte ou non des objectifs d'apprentissage visés dans le jeu. Ces compétences de jeu sont donc évaluées par le modèle du JA, ce qui permet à celui-ci d'attribuer un « niveau de joueur » (débutant, intermédiaire ou expert) au JA. De plus, les erreurs tactiques dans le jeu sont, elles aussi, directement observables, et nous proposons que le modèle du JA soit capable de détecter ces

erreurs, afin que le système de jeu fournisse en retour des rétroactions sous forme d'aides visant à les corriger.

L'estimation par le RB des états des compétences relevant du domaine de connaissances peut se faire grâce à une structure particulière, dont les principes de fonctionnement suivent les directives présentées dans la section 2.2.4. Dans notre cas, nous proposons pour déterminer les tables de probabilités de nous baser sur la modélisation des connaissances qui sera détaillée dans le chapitre 4, ainsi que sur l'avis d'experts du domaine. Comme tout domaine de connaissances est complexe, il sera important de sélectionner un nombre restreint de compétences qui seront ciblées dans le JSÉ de simulation. En effet, si les compétences sont trop nombreuses, le RB sera trop complexe et les tables de probabilité seront difficiles à concevoir. Une fois les compétences choisies, il faudra leur attribuer des probabilités en fonction des spécifications dans le jeu et concevoir ainsi des tables de probabilités. Ces probabilités pourront ensuite être ajustées lorsque le JSÉ de simulation sera testé.

3.3.3 Module d'adaptation soutenu par la planification et son rôle dans notre architecture

L'architecture proposée devrait comporter un module d'adaptation dont le rôle est de générer de manière automatique des SPJ adaptés à la progression de l'apprentissage du JA. La technique d'IA de la planification permet de calculer un plan optimal afin de résoudre un problème. Il existe plusieurs types de planification, dont la planification dite « classique », qui consiste à résoudre un problème composé d'un triplet (*S, G, A*), où *S* désigne l'*état initial* du monde (i.e. dans notre cas, l'état actuel des connaissances et compétences du JA), *G* le *but* à atteindre (i.e. dans notre cas, l'objectif d'apprentissage) et *A* l'ensemble d'*actions* possibles (i.e. dans notre cas, les activités d'apprentissage visant un objectif d'apprentissage). Une *solution* à un problème appelée aussi *plan* (i.e. dans notre cas, le plan pédagogique) est décrite par

une séquence d'actions, exécutée à partir de l'état initial et permettant d'atteindre un état final qui satisfait le but (Ghallab *et al*., 2004). Une action est applicable (exécutable) si et seulement si ses préconditions (i.e. dans notre cas, les connaissances antérieures indispensables pour atteindre l'objectif d'apprentissage) sont satisfaites dans l'état. Chaque action engendre des effets ou postconditions (i.e. dans notre cas, les impacts estimés sur la progression de l'apprentissage). Pour générer un plan, un algorithme de planification classique, comme l'algorithme A*, peut faire une recherche dans un espace d'états (un graphe où chaque nœud représente un état du monde et chaque arête, une action) afin de trouver un état qui satisfait le but donné (Russell et Norvig, 2010).

Dans notre JSÉ de simulation, le problème à résoudre (i.e. générer automatiquement un SPJ adapté à la progression du JA) est un problème complexe. En effet, l'environnement de jeu et la simulation sous-jacente sont composés de variables dont les paramètres évoluent de manière continue. De plus, l'état de progression de l'apprentissage du JA, dont l'estimation est faite dans le modèle du JA, est partiellement observable (i.e. on ne peut observer ou connaître avec certitude l'état des connaissances du JA). Enfin, les effets des actions (i.e. les impacts estimés sur la progression de l'apprentissage) sont incertains (i.e. on ne peut affirmer avec certitude que la présentation d'une activité d'apprentissage entraînera l'acquisition d'une connaissance). Dans ce contexte, l'environnement complexe rend le calcul du plan très ardu.

En planification classique, afin de pallier les difficultés reliées à la complexité de l'environnement, des simplifications sont faites. Ainsi, l'environnement (dans notre cas, l'environnement du JSÉ de simulation) est considéré comme statique et discret : il n'évolue pas de lui-même, et le temps et les actions que fait le planificateur ont des valeurs possibles finies. De plus, l'état de progression de l'apprentissage du JA est considéré comme totalement observable. Enfin, les actions que peut faire le

planificateur sont considérées comme déterministes, c'est-à-dire que les impacts estimés sur la progression de l'apprentissage sont connus et seront toujours les mêmes. Ces simplifications du monde permettent à notre planificateur de déterminer quel sera le meilleur plan pédagogique pour que le JA développe le plus efficacement et le plus rapidement possible les compétences visées dans le JSÉ de simulation.

Le planificateur et ses composantes permettant l'adaptation sont représentés dans le tableau 3.1. Chaque plan pédagogique généré par le module d'adaptation se compose de ces éléments de planification.

Tableau 3.1 Composantes du planificateur utilisé dans notre architecture de génération automatique de SPJ

Composantes	Application dans notre architecture de génération automatique de SPJ
États	État des compétences du JA
Actions	Activités d'apprentissage visant un objectif d'apprentissage
Préconditions des actions	Connaissances antérieures indispensables pour atteindre l'objectif d'apprentissage
Effets des actions	Impacts estimés sur la progression de l'apprentissage

Afin de pallier les difficultés liées à la complexité du calcul des plans mentionnées dans le chapitre précédent, nous proposons que l'adaptation se fasse à deux niveaux, tout comme dans la démarche de conception de tout système d'apprentissage : au niveau *macro*, où le pédagogue identifie de manière générale les activités ou évènements d'apprentissage composant le scénario pédagogique et au niveau *micro*, où le pédagogue développe précisément le contenu associé à chacune des activités incluses dans le scénario. Certains auteurs adoptant la technique de la planification défendent par ailleurs l'utilisation d'un module de suivi ou d'exécution afin d'exécuter le plan généré par le planificateur, mais également de relancer la

planification en cas d'échec (i.e. lorsque les préconditions des actions ne sont plus respectées) (Bertoli *et al*., 2004).

Dans notre architecture, nous proposons donc de concevoir deux modules : le module d'adaptation et le module de contrôle.

Le module d'*adaptation* (niveau macro) a pour rôle de générer à long terme un plan pédagogique composé d'une séquence d'activités d'apprentissage (actions) dont l'objectif est d'optimiser le développement des compétences, tout en maintenant le JA engagé. Ces activités sont prédéfinies dans le module d'adaptation. Elles sont composées de préconditions nécessaires pour que l'action soit exécutée, d'effets estimés sur la progression du JA, et de l'action en elle-même, à savoir la situation d'apprentissage. Cette dernière est caractérisée par des orientations en ce qui concerne le contexte d'apprentissage (situation de jeu dont la difficulté peut varier), la présence ou non de rétroactions et les comportements des PNJ.

Quant au module de *contrôle* (niveau micro), il a pour rôle d'exécuter de manière concrète le plan pédagogique du module d'adaptation en vérifiant que les préconditions sont effectivement respectées et en déterminant le contenu précis de chacune des activités du plan. Le contenu est déterminé en ajustant les *paramètres* de la simulation. Selon les modifications faites des paramètres de la simulation, les activités seront d'un niveau de difficulté plus ou moins élevé. Si les préconditions ne sont pas validées, donc si le JA n'a finalement pas les connaissances pré requises, le module de contrôle envoie au module d'adaptation une requête pour générer un nouveau plan, l'ancien n'étant plus adapté. Une autre fonctionnalité du module de contrôle est de pouvoir consulter le modèle du JA afin d'identifier les erreurs tactiques faites par le JA dans le jeu. Selon ces erreurs, le module de contrôle génère alors des aides textuelles qui s'affichent à l'écran afin d'aider le JA à découvrir ces

tactiques. Enfin, le module de contrôle s'assure en temps réel que le contexte généré dans la simulation est stable et modifie les paramètres en conséquence.

Pour une même session de jeu, le module d'adaptation peut ainsi générer plusieurs plans pédagogiques, si, à un moment donné, les préconditions ne sont plus respectées. Le plan pédagogique ou l'ensemble des plans pédagogiques forment en tant que tel, à la fin de la session de jeu, le SPJ final unique pour chaque JA.

Dans un système de JSÉ de simulation qui présenterait des scénarios scriptés, et qui présenterait des situations de jeu pré établies et fixes, il est difficile pour les concepteurs de prévoir à long terme la progression de l'apprentissage, cette dernière étant trop incertaine. Dans notre architecture, le module d'adaptation, grâce au planificateur déterministe, détermine la séquence d'actions la plus optimale compte tenu des états de compétences du JA. Le module de contrôle a davantage de flexibilité pour créer différentes situations de jeu, afin de mieux s'adapter au JA. Le module d'adaptation offre une ligne générale directrice, et le module de contrôle permet de gérer les imprévus (p. ex. les erreurs commises). Le résultat, à la fin de chaque partie, est un SPJ dont le contenu est unique pour chaque JA.

3.3.4 Module de traces et son rôle dans notre architecture

Nous proposons enfin d'inclure dans notre architecture un module de traces, dont le rôle est de collecter toutes les informations constituant une partie de jeu : les actions du JA dans le jeu, les actions des PNJ, le plan généré par le module d'adaptation et éventuellement le ou les plans recalculés, la progression de l'apprentissage du JA (i.e. mises à jour du RB, scores, statistiques), les rétroactions données de même que tous les paramètres pertinents de la simulation. Ce module joue un rôle capital, celui d'extraire, à la fin de chaque partie, le contenu détaillé du SPJ, qui est unique pour chaque JA et chaque partie, et qui pourrait alors être analysé par un pédagogue. Le plan généré par le module d'adaptation n'est en effet pas le SPJ, puisque ce plan peut

être raffiné en cours de partie. C'est à la fin de la partie, dans le module de traces, que se trouve le contenu exact du SPJ généré de manière automatique. Le module de traces permet également au pédagogue de cerner les passages difficiles pour le JA dans le jeu, l'évolution du score, mais aussi les stratégies qu'il a utilisées, à quel moment précis dans le temps les compétences ont été acquises, etc.

3.3.5 Question et hypothèses de recherche

La question de recherche explorée dans cette thèse est la suivante : notre proposition d'architecture de JSÉ de simulation peut-elle, d'une part, s'implémenter dans un JSÉ de simulation et, d'autre part, peut-elle assurer une démarche personnalisée d'apprentissage engageante et motivante permettant au JA de développer des compétences dans un domaine ciblé?

L'hypothèse principale de cette thèse est que les JSÉ de type simulation conçus à partir d'une architecture de génération automatique de SPJ favorisent un développement rapide et efficace des compétences ciblées d'un domaine tout en maintenant l'apprenant engagé dans une démarche personnalisée d'apprentissage et dans le jeu. Nous pensons que la technique d'IA des RB couplée à celle de la planification devrait permettre de rendre opérationnelle une telle architecture.

Les hypothèses détaillées de cette thèse sont les suivantes :

H1. Les JA qui jouent à notre JSÉ de simulation soutenue par notre architecture de génération automatique de SPJ développent les connaissances associées aux compétences et découvrent et exécutent de manière flexible les stratégies exercées dans ce JSÉ de simulation. De plus, ils manifestent au terme de la partie une expérience d'apprentissage motivante et engageante, grâce à la rétroaction variée et adaptée à sa progression dans le JSÉ de simulation, ainsi qu'au comportement stimulant des PNJ.

H2. Les SPJ générés par le module d'adaptation de notre architecture de génération automatique sont adaptés et propres pour chacun des JA. Les SPJ générés sont analysables grâce au module de traces de notre architecture et rendent compte de l'évolution de l'apprentissage des JA.

Afin de répondre à notre question de recherche (notre proposition d'architecture de génération automatique de SPJ peut-elle s'implémenter dans un JSÉ de simulation?), nous avons mis en œuvre notre architecture de génération automatique de SPJ dans un JSÉ de simulation que nous avons conçu. Le chapitre suivant présente ce JSÉ de simulation nommé *Game of Homes*, dont l'objectif pédagogique principal est d'amener le JA à développer des compétences en matière de vente immobilière.

CHAPITRE IV

MISE EN ŒUVRE DE L'ARCHITECTURE DE GÉNÉRATION AUTOMATIQUE DE SCÉNARIOS PÉDAGOGIQUES DANS *GAME OF HOMES*

Dans ce chapitre, nous présentons tout d'abord notre démarche de conception du JSÉ de simulation *Game of Homes* guidée par la méthode d'ingénierie des systèmes d'apprentissage (MISA), en insistant sur la modélisation des connaissances du domaine de la vente immobilière. Nous présentons ensuite le *gameplay* de *Game of Homes* en détaillant les tâches que le joueur-apprenant (JA) doit effectuer dans le JSÉ, puis le modèle de simulation conçu dans *Game of Homes* en faisant des liens pertinents avec notre architecture. Enfin, nous détaillons la mise en œuvre de notre architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques de jeu (SPJ) dans *Game of Homes*, en insistant sur la mise en œuvre du modèle du JA et sur les modules d'adaptation et de contrôle. Après avoir décrit la conception d'une version de *Game of Homes* dont les SPJ sont scriptés, nous terminons par la mise en œuvre du module de traces.

4.1 Domaine de la vente immobilière et modélisation des connaissances utilisée pour la conception de *Game of Homes*

Afin de mettre en œuvre notre architecture de génération automatique de SPJ, nous avons choisi de développer un prototype de JSÉ de simulation, appelé *Game of Homes*, dont le domaine de connaissances est celui de la vente immobilière. L'immobilier a été choisi car peu de JSÉ existent dans ce domaine. Dans *Game of Homes*, le JA doit comprendre et exécuter des procédures précises afin de vendre des

propriétés. Avant *Game of Homes*, il existait quelques JSÉ de sensibilisation dans le domaine de l'immobilier comme *Jouez au courtier immobilier* et *The Virtual Real Estate Game*. Une liste plus exhaustive est présentée dans l'appendice A. Toutefois, notre JSÉ de simulation vise le développement chez l'usager de compétences du domaine immobilier qui ne sont pas ciblées dans les JSÉ existants. Notre objectif dans cette thèse était avant tout d'implémenter notre architecture de génération automatique de SPJ dans *Game of Homes* et les moyens de développement dont nous bénéficions étaient limités en temps et en coût; nous avons donc cerné un objectif de développement de prototype de JSÉ de simulation portant sur un ensemble restreint de compétences clés du domaine de la vente immobilière, à savoir les compétences liées à l'achat et la vente d'une propriété résidentielle.

Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 2, la démarche d'implémentation de notre architecture a été inspirée par la MISA (Paquette, 2002a), que nous avons adaptée à notre contexte de recherche. Premièrement, nous avons commencé par appliquer les principes de la phase d'analyse de la MISA, qui consiste principalement à formuler les besoins de formation et la clientèle cible. Au sujet des besoins de formation, nous pouvons dire que l'achat et la vente d'une propriété résidentielle (maison ou appartement en copropriété) sont des transactions majeures dans la vie d'une personne. Les transactions immobilières sont encadrées par diverses règlementations visant à protéger les particuliers. L'achat ou la vente d'une propriété peut être un processus complexe pour les personnes non initiées au domaine immobilier. Au sujet de la clientèle cible, nous avons établi que le JSÉ de simulation s'adresserait à un apprenant adulte novice dans le domaine de l'immobilier et qu'il pourrait également être utilisé en guise de cours d'introduction lors d'une formation de courtier immobilier.

Deuxièmement, la phase de conception de la MISA consiste, quant à elle, à spécifier le contenu de la formation (donc du JSÉ de simulation), les objectifs d'apprentissage

et de jeu ainsi que les modalités d'évaluation du JA, de même que de concevoir le scénario pédagogique (qui, dans notre cas, sera généré de manière automatique) et d'identifier les matériels à concevoir et les infrastructures requises. La MISA recommande de produire différents modèles lors de la phase de conception, à savoir le modèle de *connaissances*, le modèle *pédagogique* ou de *scénario*, et les modèles *médiatique* et de *diffusion*. Dans notre cas, nous avons pris l'initiative d'élaborer un unique modèle, que nous appelons *modèle de devis intégré de conception du JSÉ de simulation*, qui regroupe le modèle des connaissances procédurales associées aux compétences visées, le modèle pédagogique et le modèle médiatique du JSÉ de simulation. En effet, notre JSÉ de simulation représente une unité d'apprentissage (UA) de trois heures environ, ce qui est relativement court et de plus, l'infrastructure médiatique globale du système d'apprentissage est déjà choisie, puisqu'il s'agit d'un JSÉ de simulation. Les éléments médiatiques à préciser sont donc au niveau micro et sont étroitement liés au *gameplay* choisi pour le jeu. Quant au modèle de scénario, il est déterminé par l'exercice à plusieurs reprises des connaissances procédurales associées aux compétences visées dans le but de devenir un meilleur vendeur. Nous proposons que dans ce cas précis de conception, un seul modèle représenté est suffisant et fournit un aperçu détaillé du système d'apprentissage à concevoir.

Ainsi, nous avons d'abord modélisé les connaissances du domaine ciblées dans notre JSÉ de simulation, ce qui a permis de délimiter les connaissances à développer et de les organiser au sein d'une représentation en réseau reliées entre elles (Paquette, 2002b). Cette activité de modélisation a été réalisée avec le logiciel G-MOT[7] qui permet de représenter, selon la technique dite de « modélisation par objets typés » et au moyen d'un formalisme différencié, les connaissances et les liens qui les unissent selon leur type. Les connaissances peuvent être, par exemple, des connaissances conceptuelles (rectangles), des connaissances procédurales (ovales) ou des

7 http://poseidon.licef.ca/gmot/

connaissances stratégiques appelées principes (losanges). Les connaissances conceptuelles sont représentées par des intrants nécessaires pour appliquer une connaissance procédurale, ou des produits de l'application de la connaissance procédurale. Les liens peuvent être, par exemple, des liens de composition (C), de régulation (R), de précédence (P) ou des liens relatifs aux intrants et produits (I/P). Les acteurs appliquant les procédures peuvent également être représentés. La figure 4.1 présente un exemple générique de modèle conçu avec le logiciel G-MOT.

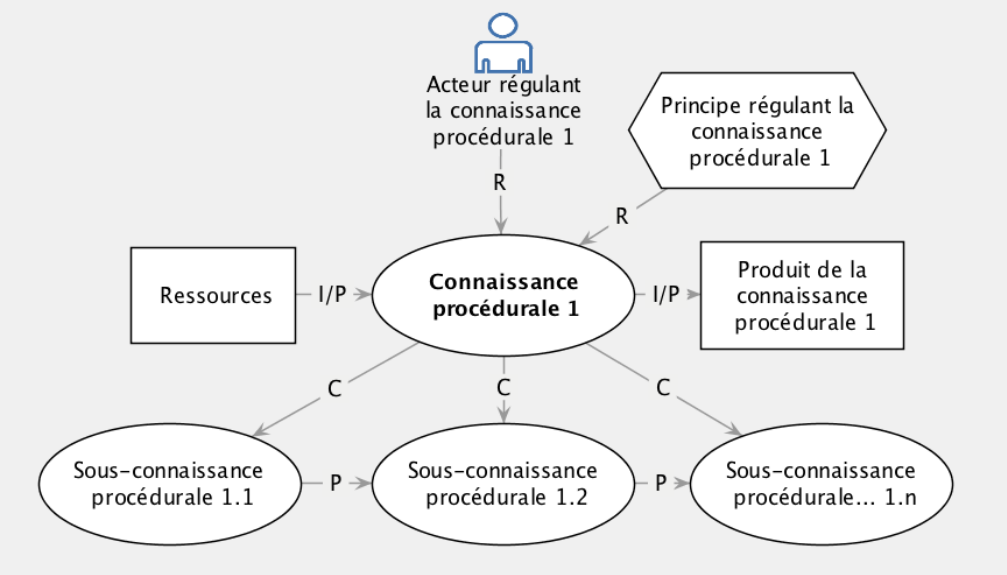


Figure 4.1 Exemple d'un modèle conçu avec le logiciel G-MOT (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, P: Précède, I/P : Intrant/Produit)

Pour alimenter notre travail de modélisation des connaissances du domaine, nous avons collecté la documentation pertinente rapportée dans l'appendice A (sites web professionnels, sites web sur l'immobilier, règlementations sur l'immobilier, sites web gouvernementaux, etc.), ce qui nous a permis de produire une première version du modèle de connaissances. Le modèle de connaissances a été ensuite retravaillé afin d'être orienté en modèle de connaissances procédurales, dont nous présentons le plus haut niveau dans la figure 4.2 (l'intégralité du modèle est présenté dans

l'appendice A). L'*application* de ces connaissances procédurales représente selon nous les compétences à développer par le JA dans le domaine de connaissances enseigné dans le JSÉ de simulation. Paquette (2002b) privilégie l'approche par compétences dans le design pédagogique, qui a guidé notre conception de *Game of Homes*. Une compétence, selon l'auteur, est vue comme la capacité de l'apprenant à exercer une habileté (que ce soit dans le domaine cognitif, affectif, social ou psychomoteur) en mobilisant des connaissances pour réaliser une tâche à résoudre (vendre une propriété dans *Game of Homes*), dans un certain contexte (situation particulière de vente simulée dans *Game of Homes*) et selon un certain niveau de performance (niveau d'expertise du joueur). Dans le cas de notre JSÉ de simulation, le domaine des habiletés, qui « décrit les processus qui peuvent être appliqués aux connaissances d'un domaine d'application pour les percevoir, les intégrer, les appliquer, les analyser, les synthétiser, les évaluer, etc. » (Paquette, 2002b, p. 188) est représenté par l'habileté de l'*application* (ou de l'utilisation) des connaissances procédurales identifiées dans notre modèle de devis intégré de conception du JSÉ de simulation (cf. appendice A). Cette habileté correspond à l'habileté de niveau 5 de la taxonomie des habiletés proposée par Paquette qui en compte dix[8]. Sur le plan affectif, il s'agit pour le JA de maîtriser ses émotions lors de l'application de la compétence. En effet, comme nous l'avons détaillé dans le chapitre 1, un JSÉ de simulation tel *Game of Homes*, de manière similaire à la stratégie pédagogique de la résolution de problème, devrait être conçu pour permettre au JA d'expérimenter et d'appliquer les connaissances d'un domaine, tout en étant maintenant des états de concentration et de *flow*. Au sujet du niveau de performance, Paquette (2002a) précise qu'un environnement d'apprentissage peut être conçu pour sensibiliser ou

8 Les dix niveaux d'habiletés sont les suivants : porter attention, intégrer, instancier/préciser, transposer/traduire, appliquer, analyser, réparer, synthétiser, évaluer, auto-contrôler (Paquette, 2002a, p. 197).

familiariser un individu, mais le plus souvent, les pédagogues vont chercher à rendre les apprenants maîtres, voire même experts, dans un domaine. Dans notre cas, *Game of Homes* cible quelques compétences et nous ne pouvons pas à proprement parler d'un niveau expert atteint à la fin de 2 ou 3 heures de jeu, mais nous ciblons une certaine maîtrise des compétences ciblées dans le jeu.

Lorsque nous avons progressé dans l'élaboration de notre modèle, les connaissances procédurales modélisées (ovales mauves dans la figure 4.2) représentent, une fois appliquées par le JA, les compétences à développer dans le JSÉ de simulation, qui reflètent en partie, selon nous, les compétences issues du vrai métier de courtier immobilier. Ces compétences nous ont permis de spécifier les objectifs d'apprentissage à atteindre à la fin de la formation. Dans le cas de *Game of Homes*, l'objectif principal d'apprentissage est d'être capable de vendre une propriété. Quant au but principal du jeu, il consiste pour le joueur à devenir le meilleur courtier de la ville (i.e. à réaliser beaucoup de ventes tout en maintenant une bonne réputation de courtier) en jouant le rôle d'un courtier immobilier. Plus particulièrement, les objectifs spécifiques d'apprentissage du jeu sont d'amener le JA à être capable, à la fin du jeu :

1. de sélectionner et d'obtenir un contrat de courtage auprès d'un vendeur (dont l'application représente la compétence 1),
2. d'estimer le prix de vente de propriétés (dont l'application représente la compétence 2),
3. de gérer et conclure la vente de propriétés (dont l'application représente la compétence 3).

Dans la figure 4.2, le JA est représenté par l'acteur Courtier JA. Les autres acteurs représentés – Courtier PNJ, Vendeur (propriétaire) PNJ, Acheteur PNJ - sont contrôlés par le système de JSÉ de simulation.

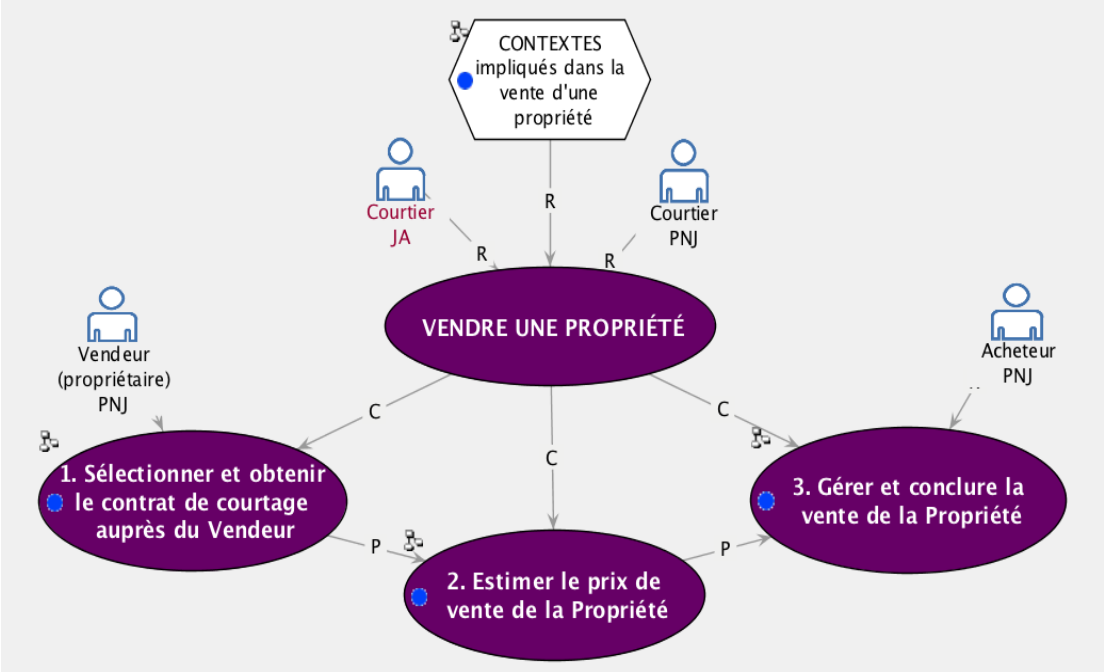


Figure 4.2 Premier niveau du modèle de devis intégré de conception de *Game of Homes* (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, P: Précède)

Chacune de ces connaissances procédurales se détaille en sous-connaissances ou sous-objectifs de jeu. Une fois les différentes connaissances et sous-connaissances définies, nous nous sommes attardée sur les connaissances conceptuelles, représentées par des rectangles dans le modèle. Les connaissances conceptuelles peuvent être des ressources « intrantes » ou « extrantes » à une connaissance procédurale : appliquer une procédure peut en effet requérir des connaissances préalables (concepts intrants) et aboutir à d'autres connaissances (concepts extrants). Dans le scénario du JSÉ de simulation, les ressources intrantes deviennent les éléments du jeu avec lesquels le JA doit interagir (en vert foncé dans la figure 4.3), et les ressources extrantes représentent les produits résultant de l'application des connaissances procédurales ciblées dans le JSÉ de simulation et qui impliquent des actions du JA et des interactions avec le système de jeu (en vert clair dans la figure 4.3). À titre d'illustration, la figure 4.3 présente le détail de la connaissance

procédurale représentant la compétence 2 « Estimer le prix de vente de la propriété » (l'intégralité du modèle est présentée dans l'appendice A). Dans cet exemple, le JA, pour développer la compétence de l'estimation du prix de vente d'une propriété, doit être capable de prendre en compte les caractéristiques de la propriété en questions, de prendre en compte les comparables et enfin doit éventuellement, selon le contexte, appliquer la réévaluation/modification du prix de vente. Le JA doit, pour cela, interagir avec les éléments du jeu, comme consulter les caractéristiques de la propriété par exemple et effectuer des actions dans le JSÉ de simulation comme faire une recherche de comparables ou modifier le prix de vente de la propriété.

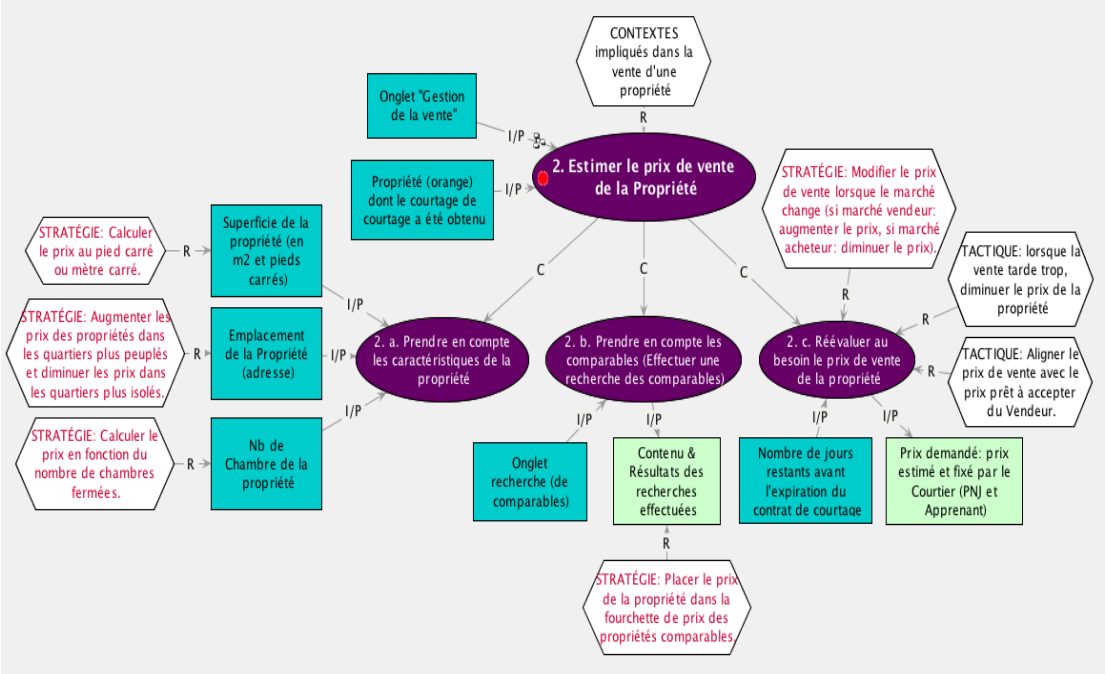


Figure 4.3 Détails de la connaissance procédurale représentant la compétence 2 « Estimer le prix de vente de la propriété » (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, I/P: Intrant/Produit ou Extrants)

La modélisation des connaissances nous a également permis de réfléchir sur les aspects stratégiques du domaine de l'immobilier. En effet, en plus de connaissances de type conceptuel et de type procédural, la modélisation permet d'expliciter les

connaissances de type principes, dites « stratégiques », représentées par des losanges dans G-MOT. Dans un modèle de connaissances, les principes doivent être énoncés comme des règlementations ou règles propres au domaine, des pratiques communes explicitées par les experts ou des manières d'éviter des erreurs souvent commises par les novices. Dans le scénario du JSÉ de simulation, ces principes vont devenir des stratégies à exécuter pour résoudre les problèmes en cours de jeu. Comme les autres types de connaissances, ces stratégies devront être développées par l'apprenant dans le jeu. Les principes peuvent également être des tactiques liées au *gameplay* qui sont utilisées pour gagner dans le jeu. Ces principes ont été modélisés un peu plus tard dans la phase de conception, car il faut avoir eu une première réflexion sur le type de *gameplay* du JSÉ de simulation. À titre d'illustration, nous présentons dans la figure 4.4, le détail de la connaissance procédurale représentant la compétence 1 de *Game of Homes*, « Sélectionner et obtenir le contrat de courtage auprès du vendeur » en y incluant les principes, tant ceux du niveau stratégique que ceux du niveau tactique.

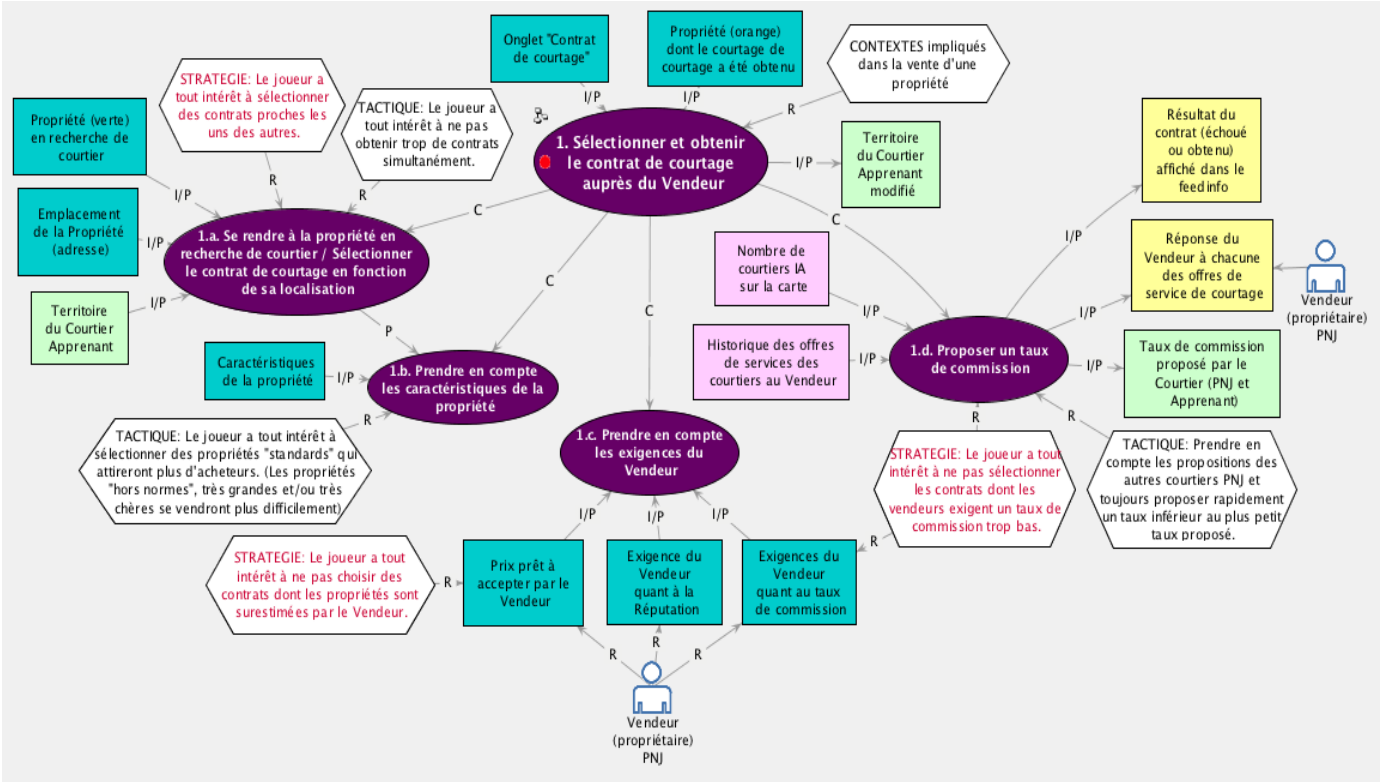


Figure 4.4 Détail de la connaissance procédurale représentant la compétence 1 « Sélectionner et obtenir le contrat de courtage auprès du Vendeur » (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, P: Précède, I/P: Intrant/Produit ou Extrants)

Ainsi, le JA dans *Game of Homes* devra éviter de choisir les contrats de courtage dont le vendeur surestime le prix attendu de la vente de sa propriété, car la vente risquerait d'être longue et éventuellement de dépasser le délai du contrat de courtage, et entraîner la perte du contrat. Les erreurs aideront le concepteur à concevoir des situations plus difficiles afin d'apprendre au joueur à éviter les pièges fréquemment rencontrés dans le domaine de connaissances. Par exemple, une erreur commune pour un courtier est de proposer un taux de commission trop bas. Le JA pourrait alors être confronté dans *Game of Homes* à des vendeurs exigeants quant au taux de commission (i.e., les vendeurs n'acceptent de travailler qu'avec des courtiers dont le taux de commission est bas), afin de « l'entraîner » à faire cette erreur et de subir les conséquences négatives qu'elle engendre dans le JSÉ de simulation.

Un dernier aspect primordial de la modélisation des connaissances réside dans l'aspect « contextuel » de l'apprentissage. Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 1, un domaine complexe d'apprentissage implique la résolution de problèmes lors de différentes situations ou contextes : les experts sont alors capables de sélectionner et d'exécuter différentes stratégies selon le contexte, la sélection pertinente des stratégies entraînant une meilleure performance; ils sont alors capables de flexibilité stratégique. Paquette (2002b), dans sa définition de la compétence donnée plus haut, mentionne l'importance du contexte ou de la situation lors de l'application d'une connaissance procédurale. Par contexte, cet auteur entend une situation simple ou complexe, une situation familière ou nouvelle, et une situation où le JA applique une connaissance procédurale avec aide ou sans aide. En ce qui concerne les JSÉ de simulation, le concepteur doit alors expliciter le plus clairement possible, en plus des différentes stratégies que le JA pourra appliquer et leurs performances attendues, les différents contextes ou situations qui seront simulés dans le JSÉ. Dans une connaissance de type principe (losange blanc), nous avons déterminé différents « Contextes impliqués dans la vente d'une propriété »

(figure 4.5), qui détermineront l'apparition dans le JSÉ de simulation de différentes situations plus ou moins complexes et plus ou moins familières. Ainsi, les modifications du contexte dans la simulation nous permettent de proposer différents niveaux de difficulté. Par exemple, le ratio Acheteurs/Vendeurs peut être modifié (i.e., marché vendeur vs. marché acheteur), et provoquer ainsi une rareté des contrats de courtage à obtenir, donc un niveau plus difficile.

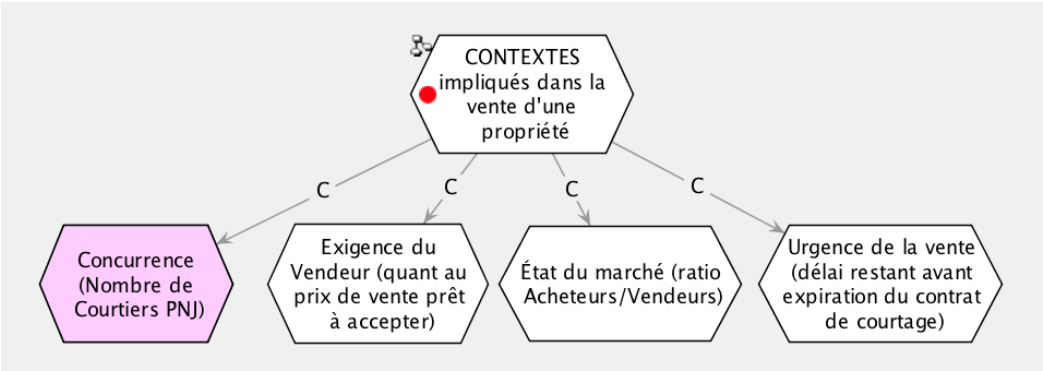


Figure 4.5 Les contextes impliqués dans la vente d'une propriété (Légende des liens: C : se Compose de)

Pour finir, les concepts représentés en jaune dans la figure 4.4 représentent les rétroactions qui pourraient être données au JA par le système du JSÉ de simulation. La rétroaction concerne également le score du JA, le plus souvent représenté par un système de points, qui, dans une simulation, se modifie en tout temps. Nous avons également engagé la réflexion durant cette phase de conception sur la manière dont le JA pourrait être évalué dans le JSÉ de simulation. Par ailleurs, dès l'élaboration du modèle de connaissances, nous avons réfléchi à la manière dont le JSÉ de simulation allait engager le JA. Dans notre modèle de devis intégré de conception du JSÉ de simulation, ces aspects sont indiqués avec la couleur rose (cf. figures 4.4 et 4.5). Dans *Game of Homes*, nous proposons, entre autres, de varier la concurrence représentée par les comportements des autres courtiers contrôlés par le système du JSÉ de simulation, en fonction de la performance en cours du JA. Par exemple, si le système

du JSÉ de simulation évalue le JA comme expert, il peut alors augmenter le nombre de courtiers contrôlés par le jeu. À l'inverse, si le JA éprouve des difficultés dans le JSÉ de simulation, le système peut alors diminuer la concurrence.

La modélisation des connaissances telle que stipulée dans la MISA nous a permis d'élaborer une première phase de conception qui a guidé le développement de *Game of Homes*. Selon nous, cette méthode nous a permis de faire des liens concrets avec notre architecture de génération de SPJ, tant au niveau de la modélisation des connaissances/activités à réaliser dans le JSÉ de simulation, qu'aux cibles d'apprentissage/objectifs de jeu, mais aussi aux éléments à inclure dans le JSÉ de simulation avec lesquelles le JA interagira, et aux conséquences de ces actions dans le JSÉ de simulation. Enfin, la modélisation des connaissances permet d'avoir une réflexion sur les rétroactions à donner au JA, sur la manière de l'évaluer, et sur les différentes stratégies associées aux différents contextes d'application de ces stratégies. Tous ces aspects précédemment cités composent les SPJ et nous ont permis de mettre en œuvre notre architecture dans *Game of Homes*. Finalement, notre modèle de devis intégré de conception du JSÉ de simulation a de manière itérative été amélioré tout le long de la phase de développement, et c'est la version finale qui est présentée dans l'appendice A. En cours de conception, ce modèle a été lu et validé par plusieurs experts. Les deux premiers experts consultés étaient des personnes ayant chacune vécu plusieurs fois le processus d'achat et de vente d'une propriété résidentielle. Enfin, le dernier expert consulté était un courtier immobilier agréé ayant quinze années d'expérience. En plus de lire et valider de modèle, ces experts ont aussi exploré le JSÉ de simulation *Game of Homes*. Dans la section suivante, nous allons présenter la version finale du JSÉ de simulation *Game of Homes*.

4.2 *Gameplay* du jeu sérieux éducatif de simulation *Game of Homes*

Avant de présenter le modèle de simulation dans *Game of Homes*, nous proposons dans cette section de présenter le *gameplay* du JSÉ de simulation. La figure 4.5 présente la capture de l'écran principal de *Game of Homes*.

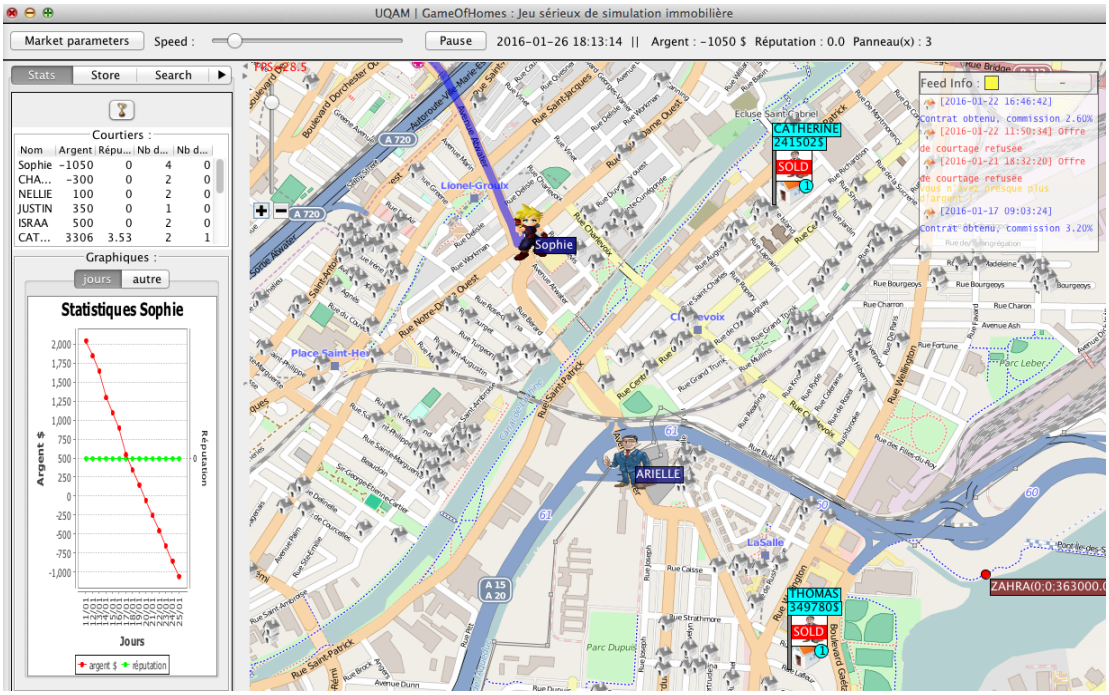


Figure 4.6 Capture de l'écran principal de *Game of Homes*

Si *Game of Homes* est un JSÉ de type simulation, il comporte aussi des caractéristiques d'un jeu de stratégie en temps réel. *Game of Homes* n'est pas divisé en plusieurs niveaux de jeu : il consiste en un seul niveau de jeu qui est réitéré plusieurs fois avec un contenu différent en cours de jeu.

Dans *Game of Homes*, le JA joue le rôle d'un courtier immobilier dont l'objectif est de devenir le meilleur courtier de la ville de Montréal, représentée par la carte de la ville. Le JA est en compétition avec d'autres courtiers, et doit gagner le plus d'argent possible tout en gardant élevée sa réputation en tant que courtier. Il doit déplacer son

avatar sur la carte en double-cliquant sur la localisation désirée. Le JSÉ de simulation se concentre sur la partie « vente » des transactions immobilières. Le JA, en tant que courtier, doit offrir ses services aux propriétaires qui souhaitent vendre leur bien immobilier. Il doit négocier avec les propriétaires afin d'obtenir le contrat de courtage, estimer la valeur de la propriété, gérer la vente en effectuant de la publicité, organiser des visites de la propriété à des acheteurs potentiels, éventuellement modifier le prix de vente et enfin négocier avec les acheteurs les offres d'achats qu'il recommande aux propriétaires. Lorsque la propriété est finalement vendue, le JA en tant que courtier obtient un montant d'argent qui équivaut au prix de vente multiplié par son taux de commission. Son niveau de réputation est mis à jour en fonction de sa performance de vente. Le *gameplay* de *Game of Homes* permet au JA d'exécuter différentes stratégies et d'apprécier les conséquences de ses actions.

Afin de rendre *Game of Homes* encore plus réaliste, l'environnement simulé est basé sur de vraies données. Le JSÉ de simulation se déroule à Montréal dont les données cartographiques sont importées du projet *OpenStreetMap*[9]. Les caractéristiques des propriétés qui apparaissent sur la carte sont importées de vraies propriétés actuellement sur le marché, afin de présenter au JA la réalité du marché à Montréal (les secteurs les plus demandés, les secteurs où les prix sont plus élevés, etc.). Grâce à notre architecture dont nous détaillerons la mise en œuvre plus loin dans ce chapitre, le contenu de l'environnement du JSÉ de simulation évolue et chaque partie de jeu est unique : par exemple, les caractéristiques des propriétés ne sont jamais les mêmes, ni les besoins des acheteurs, ni les exigences des vendeurs.

En plus d'interagir avec les autres courtiers dans le JSÉ de simulation (adversaires) qui partagent les mêmes objectifs que le JA, ce dernier doit également interagir avec d'autres PNJ : les acheteurs potentiels et les vendeurs/propriétaires.

9 https://www.openstreetmap.org/#map=5/51.500/-0.100

L'appendice B présente la feuille de consigne que nous avons conçue pour les expérimentations décrites dans le chapitre 5 de cette thèse et qui décrit de manière plus détaillée le *gameplay* de *Game of Homes* et les fonctionnalités avec lesquelles le JA est amené à interagir dans le JSÉ de simulation.

4.3 Modèle de simulation dans *Game of Homes* en lien avec notre architecture

Game of Homes est un JSÉ de simulation : il est composé d'un système de simulation qui génère un monde immobilier virtuel le plus semblable possible à la réalité, où l'avatar du JA évolue et interagit. Ce système de simulation comporte quatre éléments de simulation décrits dans le tableau 4.1 et détaillés dans cette section. Dans notre architecture présentée au chapitre 3, nous avions mentionné que l'environnement de JSÉ sous forme de simulation devait présenter au JA des rétroactions adaptées visant le développement des compétences, des comportements des PNJ adaptés visant le maintien de l'engagement et la modification de contexte d'apprentissage visant la découverte de stratégies.

Tableau 4.1 Éléments de simulation dans *Game of Homes* et leurs liens avec notre architecture de génération automatique de SPJ (PV = prix de vente, TC = Taux de commission, Caract. = Caractéristiques)

Éléments de simulation	Détails et exemples tirés de *Game of Homes*	Lien avec notre architecture de génération automatique de SPJ
Variables de la simulation	**Caract. des propriétés** (localisation, superficie, nombre de chambres, année de construction, etc.) **Budget des acheteurs** (qui augmente avec le temps) **PV prêt à accepter par les Vendeurs** (qui diminue avec le temps) **Satisfaction des Vendeurs** (quant à la gestion de la vente et le PV fixé par les courtiers) **Visibilité de la propriété** (qui évolue avec le temps et selon les actions de publicités du courtier JA) **Scores et statistiques** du courtier JA	Rétroactions immédiates, directes et visuelles (p. ex. argent, facteur de réputation, visibilité des propriétés), et aides affichées, ce qui permet au JA de saisir la relation entre les variables et la manière dont elles s'influencent dans la simulation. Rétroactions différées, indirectes et cachées, ce qui permet au JA d'éventuellement découvrir par lui-même la relation entre les variables et la manière dont elles s'influencent dans la simulation (p. ex. satisfaction du vendeur quant à la gestion de la vente par le courtier JA).
Personnage non jouables (PNJ)	**Courtiers adversaires** (effectuent les mêmes actions que le courtier JA: proposer un TC, placer un panneau, faire de la publicité, fixer le PV, faire visiter la propriété, recommander les offres d'achats) **Acheteurs** (visitent les propriétés en fonction de leur centre d'intérêt et de leur budget, effectuent des offres d'achats) **Vendeurs** (ont un TC maximum acceptable, ainsi PV prêt à accepter)	Permet au JA de comprendre les rôles des différents acteurs qui interviennent dans le processus de vente immobilière. Permet de maintenir le JA engagé grâce à la compétition.
Contextes (Niveau de difficulté)	**État du Marché** (marché Vendeur, Marché Acheteur, marché Équilibré) **Exigence des vendeurs** (sous-estime, estime de manière correcte, ou surestime le PV réel) **Concurrence des courtiers adversaires (PNJ)** (plus ou moins nombreux sur la carte, nombre maximum de contrats par courtiers)	Permet au JA d'exécuter différentes stratégies pour atteindre les objectifs d'apprentissage et d'être plus flexible selon les différents contextes. Permet de proposer une variété de situations de jeu. Rétroactions sous forme d'aides quant aux stratégies, ce qui permet au JA de découvrir de nouvelles stratégies.
Temps	**Vitesse du temps** ajustable, continuité dans le temps	Permet une expérience de jeu unique jamais interrompue.

Les variables de la simulation sont des aspects issus du domaine d'expertise réel que le système de simulation peut contrôler et modifier dans le JSÉ de simulation. Pour que ce dernier soit suffisamment complexe, il faut qu'il comporte plusieurs variables et qu'elles s'influencent entre elles. La simulation doit alors pouvoir prendre plusieurs directions, en fonction de l'interaction entre le JA et le système (Gredler, 2004). Dans le cas de *Game of Homes*, le JA retrouve par exemple comme variables les caractéristiques des propriétés, les budgets des acheteurs, le prix souhaité des vendeurs, la visibilité de la propriété, etc. Le concepteur doit se focaliser sur l'interaction entre le JA et les variables de la simulation. De manière générale, la simulation doit fonctionner comme suit : le JA prend des décisions et interagit avec l'environnement simulé (*input*), cette interaction provoque une modification ou un ajustement des variables de la simulation et des résultats ou indicateurs sont présentés au JA (*output*). Le lien entre les indicateurs et les comportements du JA ne sont pas directs : un comportement en lui-même ne devrait pas changer un indicateur, ce sont les variables qui interviennent (Kapp *et al*., 2014). Dans *Game of Homes* par exemple, lorsque le JA fait beaucoup de publicité pour la vente d'une propriété (*input*), cela augmente la visibilité à long terme de la propriété (variable « visibilité de la propriété ») et augmente ainsi la probabilité du nombre de visites et des offres d'achats (indicateurs ou *output*).

Le JA peut obtenir un retour sous la forme de rétroactions immédiates ou différées du résultat de son comportement, par exemple, sous forme de récompenses ou de pénalités dans le score. Cette rétroaction doit permettre au JA de comprendre comment son comportement vis-à-vis de la simulation peut conduire à un succès, autrement dit de comprendre comment les variables sont reliées entre elles. Par exemple, dans *Game of Homes*, plusieurs types de rétroactions sont utilisés (cf. tableau 4.1). Ces rétroactions peuvent être directes et visibles (p. ex. aides textuelles, valeur du score) ou indirectes et cachées. Par exemple, le fait de ne pas faire visiter les acheteurs (de rater des rendez-vous de visites) aura un impact négatif sur le

facteur de réputation, mais plus tard dans le jeu, une fois que le contrat de vente se termine. Le JA n'a donc pas une rétroaction directe quant à cette erreur tactique faite dans le JSÉ de simulation.

Le système de simulation contrôle également des personnages non jouables (PNJ) dont le comportement varie au cours de la partie. Dans *Game of Homes*, ces agents sont de trois types : les courtiers adversaires du JA, les acheteurs potentiels et les vendeurs des propriétés. Nous pouvons faire un lien avec l'engagement prescrit dans notre architecture puisque la simulation peut changer en tout temps les comportements des PNJ, pour, par exemple, augmenter la difficulté du JSÉ de simulation et le rendre ainsi plus compétitif. Les courtiers PNJ peuvent ainsi être plus agressifs et obtenir plus rapidement les contrats de courtage, les acheteurs peuvent être plus exigeants et hésitants à fournir des offres d'achats et les vendeurs peuvent être moins enclins à accepter des offres d'achats s'ils les jugent trop basses. Par ailleurs, la simulation des comportements des courtiers, des vendeurs et des acheteurs permet au JA d'observer leurs comportements afin de formuler des hypothèses et des inférences sur leurs rôles respectifs. Les règles qui régissent les comportements des PNJ dans *Game of Homes* (i.e. courtiers adversaires, acheteurs et vendeurs) sont inspirées de comportements réellement observés dans le domaine d'expertise de l'immobilier. Leurs décisions comportent également des variables aléatoires afin de ne pas rendre leurs comportements totalement prévisibles pour le JA.

Notre modèle de connaissances a révélé que différentes situations ou contextes présents dans la vie réelle nécessitent d'être compris. Le JA doit appliquer les connaissances procédurales correspondantes à ces situations dans le JSÉ de simulation. Dans *Game of Homes*, le système de simulation peut recréer différents contextes du marché (i.e. marché favorable aux vendeurs ou aux acheteurs, ou marché équilibré), ce qui permet au JA d'appliquer la connaissance procédurale de vendre des propriétés dans différents contextes de vente. Cette variation de contextes permet de

présenter des situations de simulation de différents niveaux de difficulté : il est plus difficile par exemple de vendre une propriété si le marché est acheteur (beaucoup de propriétés sur le marché et peu d'acheteurs) que s'il est vendeur (peu de propriétés sur le marché et beaucoup d'acheteurs). De plus, le système de simulation peut accroître la difficulté en contrôlant certaines variables, comme l'exigence des acheteurs et des vendeurs ou le comportement des autres courtiers adversaires, et créer des situations d'application de connaissances procédurales plus complexes. Par ailleurs, les modifications de contextes dans la simulation permettent au JA d'apprécier une variété de situations de jeu, qui, en deux ou trois heures environ de temps de partie, ne sont jamais les mêmes. Enfin, les modifications des contextes permettent au JA d'être sensibilisé aux différentes situations que l'on trouve dans la vie réelle, mais aussi de découvrir et d'exécuter des stratégies pour réussir à vendre des propriétés différentes selon les contextes. Éventuellement, le JA doit faire preuve de flexibilité entre les différentes situations en exécutant la meilleure stratégie compte tenu du contexte. Par exemple, dans *Game of Homes*, il est plus judicieux pour le JA, dans un contexte de marché acheteur, de baisser sensiblement le prix de vente de la propriété pour avoir une chance de la vendre face à la concurrence, d'investir massivement dans la publicité de la propriété pour une meilleure visibilité, etc. Alors que dans un contexte de marché vendeur, le JA peut se permettre de gonfler le prix de vente tout en économisant sur l'achat de publicité.

Un dernier élément de simulation à prendre en compte dans la conception est le temps. Une simulation est une modélisation d'une succession d'évènements dans le temps qui s'exécutent de manière continue, à l'image de la vie réelle. Si une décision dans la vraie vie met trop de temps à avoir un impact, la simulation doit couvrir tout ce temps. Comme il est inutile de représenter le temps réel qui passe, la simulation doit compresser le temps pour qu'en un nombre d'heures suffisant, le JA ait l'occasion d'appliquer les connaissances procédurales visées et d'atteindre les objectifs d'apprentissage. Dans *Game of Homes*, le temps a été compressé pour qu'en

deux voire trois heures de jeu, le JA puisse appliquer la connaissance procédurale générale de vendre une propriété dans Montréal, dont la durée représentée dans le JSÉ de simulation est d'environ une année. De plus, le temps doit paraître continu pour ne pas perdre l'intérêt et la motivation du JA. C'est pourquoi *Game of Homes* peut être considéré comme un JSÉ de simulation et de stratégie en temps réel, dans le sens où tous les personnages jouables ou non jouent en même temps, et non tour à tour. Lorsqu'une journée se termine, une autre commence immédiatement après. Les ventes des propriétés, que ce soit par le JA lui-même ou par les autres courtiers dans la simulation, se succèdent : les vendeurs offrent régulièrement des contrats de courtage. Cette continuité dans le temps présente une exigence pour le concepteur puisque le système de simulation doit générer un contenu toujours cohérent tout au long de la partie et selon les différents contextes. D'un point de vue ludique, la continuité dans le temps maintient élevé l'engagement du JA dont l'apprentissage n'est jamais interrompu. Notons ici que dans *Game of Homes*, la vitesse du temps peut être contrôlée par le JA, ce qui lui permet de ralentir le temps si par exemple il est en train de gérer la vente de nombreuses propriétés, ou à l'inverse d'accélérer le temps. Enfin, cette continuité permet de n'offrir au JA qu'un seul scénario pédagogique non séquencé en niveaux de jeu.

Finalement, la modélisation des connaissances et les éléments de simulation présentés plus haut nous ont permis de proposer un modèle de synthèse des connaissances et sous-connaissances à développer dans *Game of Homes*, ainsi que les stratégies et les tactiques de jeu à exécuter. À titre de synthèse, nous présentons ce modèle dans le tableau 4.2. Les trois connaissances procédurales principales représentent les trois compétences principales à développer dans *Game of Homes*.

Tableau 4.2 Synthèse des connaissances et sous-connaissances à appliquer dans *Game of Homes*, en lien avec les concepts, les stratégies et les tactiques (caract. = caractéristiques, TC = taux de commission)

Connaissances	Sous-connaissances	Concept	Stratégie liée aux connaissances / Tactique liée au *gameplay*	Influence du contexte sur la stratégie (flexibilité stratégique)
C1: Sélectionner et obtenir les contrats de courtage auprès du Vendeur. Analyser les éléments des contrats de courtage afin de s'assurer de leur faisabilité.	C1. a. Prendre en compte la localisation de la propriété.	Territoire	**Stratégie**: Le JA a tout intérêt à sélectionner des contrats proches les uns des autres. **Tactique**: Le JA a tout intérêt à ne pas prendre trop de contrats en même temps.	EXCEPTIONS SELON LE CONTEXTE: - Contexte marché: si marché vendeur - Contexte concurrence: s'il y a trop de concurrence (courtiers PNJ dans le même territoire) - Contexte exigence du Vendeur: si le prix prêt à accepter est sur estimé. - Contexte niveau 'joueur': si le niveau est élevé.
	C1. b. Prendre en compte les caract. de la propriété	Caract. de la propriété	**Tactique**: Le JA a tout intérêt à sélectionner des propriétés "standards" qui attireront plus d'Acheteurs. Les propriétés "hors normes" (très grandes, très chères) se vendront plus difficilement.	
	C1. c. Prendre en compte les exigences du Vendeur	Commission et gain d'argent	**Stratégie**: Le JA a tout intérêt à laisser tomber les contrats dont les Vendeurs exigent un TC trop bas.	EXCEPTIONS SELON LE CONTEXTE: - Contexte marché: si marché acheteur - Contexte concurrence: s'il y a beaucoup de concurrence
		Sous ou sur estimation du prix de vente	**Stratégie**: Le JA a tout intérêt à ne pas choisir des contrats dont les propriétés sont surestimées par le Vendeur.	EXCEPTIONS SELON LE CONTEXTE: - Contexte marché: si marché vendeur - Contexte niveau 'joueur': si le niveau est expert.

	C1. d. Proposer un TC		**Tactique**: Prendre en compte les propositions des autres courtiers et toujours proposer rapidement un TC légèrement inférieur au plus petit TC proposé.	
CPTCE 2: Estimer le prix de vente des propriétés à vendre dans le jeu. Analyser les éléments englobant la vente afin de s'assurer que le prix fixé permette une vente efficace (rapide et rentable)	C2. a. Prendre en compte les caract. des propriétés	Superficie	**Stratégie**: Calculer le prix au mètre/pied carré.	
		Nombre de chambres	**Stratégie**: Calculer le prix en fonction du nombre de chambres fermées.	
		Valeur selon le quartier et densité de la population	**Stratégie**: Augmenter les prix des propriétés dans les quartiers plus peuplés et diminuer les prix dans les quartiers plus isolés.	EXCEPTIONS SELON LE CONTEXTE: - Contexte marché: si marché vendeur
	C2. b. Prendre en compte les comparables des propriétés.	Comparables	**Stratégie**: Placer le prix de la propriété dans la fourchette de prix des propriétés comparables.	EXCEPTIONS SELON LE CONTEXTE: - Contexte marché: si marché vendeur: augmenter le prix - Contexte niveau 'joueur': si le niveau est expert.
	C2. c. Réévaluer au besoin le prix de vente des propriétés	État du marché et urgence de la vente	**Stratégie**: Lorsque le marché change, modifier le prix. Si marché vendeur: augmenter le prix, si marché acheteur: diminuer le prix. **Tactique**: Si le délai d'expiration du contrat approche: diminuer le prix. Aligner le prix avec le prix prêt à accepter du Vendeur.	

CPTCE 3: Gérer et conclure la vente des propriétés. Assurer une vente satisfaisante pour le Vendeur et le JA.	C3. a. Mettre en vente les propriétés	Visibilité (Publicité)	**Stratégie**: Maintenir la visibilité des propriétés élevée en retournant régulièrement dans la propriété pour faire de la pub.	EXCEPTIONS SELON LE CONTEXTE: - Contexte marché: si marché vendeur - Contexte concurrence: s'il y a peu de concurrence (peu de courtiers PNJ) - Contexte exigence du Vendeur: si le prix prêt à accepter est sous estimé.
	C3. b. Gérer les visites des propriétés	Visite	**Tactique**: S'assurer de ne pas rater de visites: retourner rapidement sur la propriété lorsqu'il y a des visites.	
	C3. c. Recommander les offres d'achat au Vendeur et conclure la vente	Offre d'achat	**Stratégie**: Accepter les offres d'achat supérieurs ou égaux au prix prêt à accepter par le Vendeur (et refuser les autres).	EXCEPTIONS SELON LE CONTEXTE: - Contexte marché: si marché acheteur - Contexte exigence du Vendeur: si le prix prêt à accepter est sur estimé. - Contexte urgence: délai d'expiration du contrat approche.
			Stratégie: Ne pas répondre aux offres d'achats inférieures au prix prêt à accepter par le Vendeur et en attendre de meilleures.	EXCEPTIONS SELON LE CONTEXTE: - Contexte marché: si marché acheteur - Contexte concurrence: s'il y a trop de concurrence (beaucoup de courtiers PNJ) - Contexte exigence du Vendeur: si le prix prêt à accepter est sur estimé. - Contexte urgence: délai d'expiration du contrat approche.
			Tactique: S'assurer de ne pas rater d'offre d'achat: retourner rapidement sur la propriété lorsqu'il y a des offres d'achat.	

Dans le cadre de cette thèse, nous ne détaillerons pas l'implémentation de la simulation de *Game of Homes*, ni de quelle manière la simulation a été codée, puisque cela a fait l'objet du mémoire de maîtrise de Nicolas Sola (2015).

Nous avons présenté dans les sections précédentes le domaine de connaissances modélisé, celui de la vente immobilière, et le JSÉ de simulation *Game of Homes* sous la forme de jeu de simulation. Nous allons maintenant décrire la manière dont nous avons mis en œuvre dans le JSÉ de simulation *Game of Homes* notre proposition d'architecture présentée au chapitre 3.

4.4 Mise en œuvre du modèle du joueur-apprenant dans *Game of Homes*

Dans le chapitre 3, nous avons détaillé notre proposition de modèle du JA dans notre architecture de génération automatique de SPJ. Ce modèle comporte deux éléments : (a) le module réseau bayésien (RB) dont le rôle est d'estimer en temps réel l'état des connaissances et (b) le module niveau « joueur » qui évalue en temps réel les connaissances relatives au *gameplay* du JSÉ de simulation. Cette section détaille l'implémentation du modèle du JA dans *Game of Homes*.

4.4.1 Module du réseau bayésien dans le modèle du joueur-apprenant

En partant de notre modélisation des connaissances du domaine de la vente immobilière et des différents éléments de simulation que nous avons choisi d'implémenter dans *Game of Homes*, nous avons conçu un RB dont l'objectif est d'estimer les états de développement des connaissances relatives à la vente immobilière et de mettre à jour en temps réel cette estimation. Dans *Game of Homes*, le RB s' « active » dès l'obtention du premier contrat de courtage. À cet instant, les variables d'exigence du vendeur (EV), de territoire (T), de commission espérée (CE) et de type de contrat (TC) sont ajoutées au réseau. Lorsque le contrat abouti à une vente ou atteint le délai maximal accordé, les variables d'état du marché (EM),

d'exigence du vendeur (EV) et du résultat de la vente (RV) sont ajoutées au RB. Toutes ces variables sont des variables d'*évidence* du réseau, c'est-à-dire qu'elles sont directement observables par le système de jeu. Enfin, le RB inclut les variables d'*interrogation* qui font référence aux compétences à développer dans le JSÉ de simulation représentées par des probabilités conditionnelles que le RB doit estimer : Compétence 1 « Sélectionner un contrat de courtage pertinent » et Compétence 2 « Estimer le prix de vente de la propriété ». Chacune de ces variables sont représentées par des tables de probabilités qui ont été construites en amont à partir de notre modèle de connaissances et des avis de courtiers experts. La Compétence 3 « Gérer et conclure la vente de la propriété » présentée dans notre modèle de connaissances (cf. appendice A) n'est pas implémentée dans le RB, car, dans *Game of Homes*, elle fait plutôt référence à des connaissances de jeu reliées au *gameplay* (p. ex. le JA doit s'assurer de ne pas rater de visites, ou d'offres d'achats). Elle fait donc partie des variables qui détermineront le niveau « joueur », et il sera également possible de l'évaluer en détail dans les traces du JSÉ de simulation. La figure 4.6 présente le RB de base implémenté dans *Game of Homes*. Les compétences estimées représentées par les variables d'interrogation sont représentées en gris, et les actions ou les stratégies observées représentées par les variables d'évidences sont représentées en blanc.

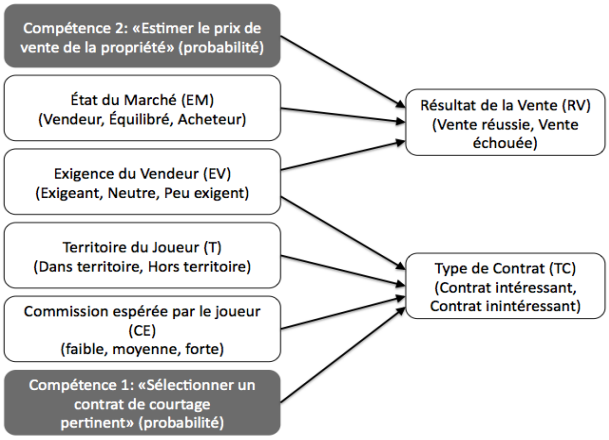


Figure 4.7 Le réseau bayésien dans le modèle du JA dans *Game of Homes* avec les variables d'interrogation et les variables d'évidence

En ce qui concerne le fonctionnement de notre RB, ce dernier compare chaque conséquence des actions du JA dans le JSÉ de simulation avec la probabilité de réussir les objectifs d'apprentissage, à savoir développer les deux compétences : « Sélectionner un contrat de courtage pertinent » et « Estimer le prix de vente de la propriété ». Cette probabilité dépend des variables d'évidence qui font référence aux paramètres de la simulation de *Game of Homes* (EM, EV, T, CE), ces variables observables sont donc directement extraites de la simulation et des connaissances développées par le JA en lien avec ces actions. En appliquant le principe de l'inférence nommée dans le chapitre précédent, le RB détermine l'état actuel de connaissances du JA. Par exemple, dans le cas où le JA réussit deux ventes (Vente 1, Vente 2) mais échoue une troisième (Vente 3), le RB calcule la probabilité que le JA maîtrise la compétence « Estimer le prix de vente de la propriété » (Cptce 2) *P(Cptce2))* en suivant cette formule :

$$P(Cptce2|Vente1,Vente2,\neg Vente3) = \alpha\, P(Vente1|Cptce2)\, P(Vente2|Cptce2)\, P(\neg Vente3|Cptce2)$$

où α *est un facteur normalisé*.

Les calculs sont faits en fonction des tables de probabilités que nous avons conçues dans notre RB[10].

Réseau bayésien dynamique

Game of Homes, comme tous les JSÉ de simulation, est un système qui évolue dynamiquement dans le temps. C'est pourquoi notre RB est en fait un réseau bayésien dynamique (RBD). Ce dernier permet de raffiner l'estimation des variables aléatoires (variables d'évidence et variables d'interrogation) au fil du temps. Ainsi, nous pouvons améliorer l'estimation de l'apprentissage et du développement des compétences à mesure que la simulation progresse.

Concrètement, un RBD est un RB répétant un ensemble de variables aléatoires pour chaque instant t. Par exemple, dans notre RBD, nous avons les variables EM_t, EV_t, CE_t, etc. Dans notre RBD, le temps est discret : chaque instant t correspond à la fin d'un mois de simulation dans *Game of Homes*. Le passage d'un instant t à un instant $t + 1$ est la durée d'un mois de simulation. Notre RBD est d'ordre un (1), c'est-à-dire que les variables aléatoires à un temps t peuvent dépendre d'autres variables aléatoires au même temps t ou au temps immédiatement précédent, c'est-à-dire $t - 1$. À un instant t dans le JSÉ de simulation, les connaissances du JA dépendent de ce qu'il connaissait à l'instant $t - 1$. Afin de prendre en compte cette progression, les tables de probabilités[11] ont été affinées; si le JA a un niveau de connaissance X à l'instant t, il y a une bonne probabilité à priori qu'il ait maintenu ce niveau de connaissance X toujours à l'instant $t + 1$.

10 Pour plus de détails sur le fonctionnement du RB, sur les tables de probabilités, et sur les calculs d'inférence, on peut consulter le mémoire de maîtrise de Nicolas Sola (2015).

11 Pour plus de détails sur les aspects dynamiques du réseau bayésien et de la modification des tables de probabilités, on peut consulter le mémoire de maîtrise de Nicolas Sola (2015).

Dans les RBD, des inférences peuvent être faites grâce à la tâche de filtrage ou estimation d'états (Russel et Norvig, 2010), qui « consiste à calculer l'état de croyance, la distribution *a posteriori* de l'état courant, étant donné toutes les observations effectuées jusque-là. » (p. 607). Ainsi, l'estimation de nos compétences dans *Game of Homes* consiste à calculer la probabilité que le JA ait développé ces compétences, étant donné toutes les observations relatives au développement de ces compétences déjà réalisées. Un algorithme de filtrage est alors utilisé et dont le rôle est de maintenir à jour une estimation des variables aléatoires au temps courant. Puisque notre RBD est d'ordre un (1), l'estimation est maintenue à jour continuellement, afin d'éviter de repartir de $t = 0$ à chaque incrémentation du temps, ce qui augmenterait le coût de ce dernier. Le calcul se fait donc toujours à l'instant $t + 1$, en observant les actions du JA à l'instant $t + 1$ et en considérant les variables à l'instant t. Ainsi, lorsque le temps progresse d'un temps t à un temps $t + 1$, nous utilisons l'état de croyance des variables au temps t et les observations au temps $t + 1$ pour réestimer les variables aléatoires représentant l'état de connaissance au temps $t + 1$.

Comme présenté au tableau 4.5 de la section 4.8, ici, notre travail s'est limité à la conception du RBD, c'est-à-dire au choix des variables aléatoires, déterminer celles qui sont d'évidence ou d'interrogation, et aux liens de dépendance entre ces variables (tables de probabilités). Pour les détails d'implémentation et des algorithmes d'inférences, le lecteur est référé au mémoire de maîtrise de l'étudiant qui était en charge de la programmation de cette partie (Sola, 2014).

4.4.2 Module Niveau « Joueur » dans le modèle du joueur-apprenant

Ce module a pour objectif d'évaluer en temps réel les connaissances relatives au *gameplay* dans *Game of Homes*. L'évaluation dépend : (1) de la progression du score du JA, à savoir l'argent récolté à la suite des ventes de propriétés, et le facteur de

réputation en tant que courtier; (2) des statistiques du JA, représentées par son classement dans la partie (par rapport aux courtiers PNJ) et enfin (3) des tactiques utilisées dans le JSÉ de simulation et qui sont directement observables (p. ex. ne rater aucune visite lors d'un contrat), et des erreurs tactiques correspondantes (p. ex. ne pas faire visiter la propriété lors d'un contrat). Le module Niveau « Joueur » met à jour un « score » représentant le niveau d'expertise relatif à la manière de jouer, et attribue ainsi au JA un niveau débutant, intermédiaire, ou expert. Ce niveau est constamment mis à jour dans le jeu.

Les probabilités des deux compétences mises à jour dans le RB ainsi que le niveau d'expertise du joueur seront utilisés par les modules d'adaptation et de contrôle afin d'adapter le contenu de la simulation à cet état de progression de l'apprentissage et de la maîtrise du JSÉ de simulation.

4.5 Mise en œuvre du module d'adaptation et du module de contrôle dans *Game of Homes*

Dans le chapitre 3, nous avons présenté l'architecture des modules d'adaptation et de contrôle, dont le rôle est de générer automatiquement les SPJ. Cette section détaille la mise en œuvre de ces modules dans *Game of Homes*. Nous rappelons ici que le système de JSÉ de simulation devrait permettre de générer des rétroactions adaptées aux actions du JA, de modifier le comportement des PNJ afin de maintenir le JA engagé et de modifier le contexte d'apprentissage afin de favoriser chez le JA la découverte et l'exécution de différentes stratégies. Pour répondre à ces trois objectifs, le système de JSÉ de simulation modifiera les paramètres des éléments de la simulation (cf. tableau 4.1). Nous avons détaillé dans le chapitre 3 le fonctionnement de la planification classique, qui génère des plans dans des environnements observables, statiques et discrets et dont les actions ont des effets certains. Or, dans le cas des JSÉ de simulation, des contraintes rendent cette planification ardue, pour

plusieurs raisons : (a) l'apprentissage dans un JSÉ de simulation se fait de manière progressive (il évolue tout le long de la session de jeu), (b) les effets des actions pédagogiques sont incertains (le JA ne développera pas forcément la connaissance enseignée) et enfin (c) l'environnement de JSÉ de simulation n'est pas complètement observable (il est difficile d'observer avec certitude les connaissances du JA). Nous avons donc choisi d'émettre les hypothèses de simplification suivantes: (a) chacune des actions (i.e. activités d'apprentissage incluant un objectif pédagogique, cf. tableau 3.1) ont une durée dans le JSÉ de simulation prédéterminée de *un mois* de simulation, (b) les actions sont déterministes (les contextes de jeu produisent toujours le même effet sur les connaissances du JA) et (c) les connaissances du JA sont observables, dans le RB du modèle du JA (probabilité de la connaissance supérieure ou égale à un seuil prédéterminé).

Le module d'adaptation mis en œuvre dans *Game of Homes* peut planifier huit actions qui représentent huit activités pédagogiques différentes dont les détails sont présentés dans le tableau 4.3. Le contenu de ces actions consiste à prédéterminer des valeurs approximatives des paramètres de simulations (i.e. contexte, rétroactions et comportements des PNJ). C'est une adaptation au niveau macro, c'est-à-dire faite de manière imprécise mais au long terme et une seule fois, sans vraiment prendre en compte les actions du JA et leurs conséquences dans le JSÉ de simulation. Les valeurs précises des paramètres de la simulation seront ajustées au niveau micro, par le module de contrôle. Le tableau 4.3 présente chacune des actions qui peuvent possiblement composer le plan pédagogique. Pour chacune de ces actions, les préconditions et effets sont détaillés, ainsi que les trois sortes de paramètres de simulation que le module de contrôle devra modifier afin de répondre au plan pédagogique généré. Dans chaque action, le module de contrôle doit déterminer les valeurs des paramètres suivants :

- rétroactions sous forme d'aide données au JA: aides sur les stratégies qui s'appliquent sur les compétences à développer et aides sur les tactiques de jeu;
- comportements des PNJ : agressivité des courtiers PNJ (nombre de courtiers sur la carte, nombre maximal de contrats qu'ils peuvent prendre), et exigence des Vendeurs quant au prix de vente prêt à accepter (les Vendeurs peuvent sous-estimer, bien estimer ou surestimer le prix de vente de leur propriété);
- contextes d'apprentissage: modification de l'état du marché ou du ratio Acheteurs/Vendeurs (p. ex. s'il y a plus de Vendeurs que d'Acheteurs, alors les Acheteurs sont avantagés dans le processus d'achat, car il y a beaucoup de propriétés à vendre sur le marché).

Tableau 4.3 Huit actions possibles du plan pédagogique généré par le module d'adaptation dans *Game of Homes* (Cptce = Compétence, RB = Réseau bayésien)

No de l'action	Objectif pédagogique de l'action	Contenu de l'action		
		Préconditions : interrogation du RB par le module de contrôle	**Paramètres de simulation à modifier par le module de contrôle**	**Effets estimés sur les compétences selon le Niveau « Joueur »**
1	Développer les bases de la Cptce 1 « Sélectionner un contrat de courtage pertinent »	$P(Cptce\ 1) \leq 35$	- Proportions équivalentes sur la carte de propriétés en recherche de courtier dont les Vendeurs sont peu (50%) ou moyennement (50%) exigeants. Aucune propriété en recherche de courtier dont les Vendeurs sont très exigeants - État du marché : marché Vendeur (ratio Acheteur/Vendeur = 10) - 5 courtiers PNJ en moyenne sur la carte, jamais plus de 10, et 2 contrats maximum par courtier PNJ. - Aides sur les stratégies activées - Aides sur les tactiques activées	Si le niveau du joueur est débutant, la Cptce1 est incrémentée de 20. Si le niveau du joueur est intermédiaire ou expert, la Cptce1 est incrémentée de 30.

2	Développer les bases de la Cptce 2 « Estimer le prix de vente de la propriété ».	$P(Cptce\ 2) \leq 35$	- Proportions équivalentes sur la carte de propriétés en recherche de courtier dont les Vendeurs sont peu (50%) ou moyennement (50%) exigeants. Aucune propriété en recherche de courtier dont les Vendeurs sont très exigeants - État du marché : marché Vendeur (ratio Acheteur/Vendeur = 10) - 5 courtiers PNJ en moyenne sur la carte, jamais plus de 10, et 2 contrats maximum par courtier PNJ. - Aides sur les stratégies activées - Aides sur les tactiques activées	Si le niveau du joueur est débutant, la Cptce2 est incrémentée de 20. Si le niveau du joueur est intermédiaire ou expert, la Cptce2 est incrémentée de 30.
3	Développer selon un niveau avancé la Cptce 1 « Sélectionner un contrat de courtage pertinent »	$35 < P(Cptce\ 1) \leq 70$	- Proportions quasi équivalentes sur la carte de propriétés en recherche de courtier dont les Vendeurs sont peu (30%), moyennement (40%) et très (30%) exigeants. - État du marché : marché Équilibré (-1 < ratio Acheteur/Vendeur < +1) - 12 courtiers PNJ en moyenne sur la carte, jamais plus de 15, et 5 contrats maximum par courtier PNJ. - Aides sur les stratégies activées - Aides sur les tactiques activées	Si le niveau du joueur est débutant, la Cptce1 est incrémentée de 20. Si le niveau du joueur est intermédiaire, la Cptce1 est incrémentée de 30. Si le niveau du joueur est expert, la Cptce1 est incrémentée de 35.

4	Développer selon un niveau avancé la Cptce 2 « Estimer le prix de vente de la propriété ».	$35 < P(Cptce\ 2) \leq 70$	- Proportions quasi équivalentes sur la carte de propriétés en recherche de courtier dont les Vendeurs sont peu (30%), moyennement (40%) et très (30%) exigeants. - État du marché : marché Équilibré (-1 < ratio Acheteur/Vendeur < +1) - 12 courtiers PNJ en moyenne sur la carte, jamais plus de 15, et 5 contrats maximum par courtier PNJ. - Aides sur les stratégies activées - Aides sur les tactiques activées	Si le niveau du joueur est débutant, la Cptce2 est incrémentée de 20. Si le niveau du joueur est intermédiaire, la Cptce1 est incrémentée de 30. Si le niveau du joueur est expert, la Cptce2 est incrémentée de 35.
5	Développer selon un niveau expert la Cptce 1 « Sélectionner un contrat de courtage pertinent »	$P(Cptce\ 1) > 70$	- Proportion faible sur la carte de propriétés en recherche de courtier dont les Vendeurs sont peu exigeants (15%), et proportions quasi équivalentes sur la carte de propriétés en recherche de courtier dont les Vendeurs sont moyennement (45%) et très (40%) exigeants. - État du marché : marché Acheteur (ratio Acheteur/Vendeur = -4) - 20 courtiers PNJ en moyenne sur la carte, jamais plus de 25, et 5 contrats maximum par courtier PNJ. - Aides sur les stratégies désactivées - Aides sur les tactiques activées	Si le niveau du joueur est débutant, la Cptce1 est incrémentée de 20. Si le niveau du joueur est intermédiaire, la Cptce1 est incrémentée de 25. Si le niveau du joueur est expert, la Cptce1 est incrémentée de 30.

6	Développer selon un niveau expert la Cptce 2 « Estimer le prix de vente de la propriété ».	*P(Cptce 2)* > 70	- Proportion faible sur la carte de propriétés en recherche de courtier dont les Vendeurs sont peu exigeants (15%), et proportions quasi équivalentes sur la carte de propriétés en recherche de courtier dont les Vendeurs sont moyennement (45%) et très (40%) exigeants. - État du marché : marché Acheteur (ratio Acheteur/Vendeur = -4) - 20 courtiers PNJ en moyenne sur la carte, jamais plus de 25, et 5 contrats maximum par courtier PNJ. - Aides sur les stratégies désactivées - Aides sur les tactiques activées	Si le niveau du joueur est débutant, la Cptce2 est incrémentée de 20. Si le niveau du joueur est intermédiaire, la Cptce2 est incrémentée de 25. Si le niveau du joueur est expert, la Cptce1 est incrémentée de 30.
7	Vérifier le développement de la Cptce 1 et de la Cptce 2 dans la compréhension du processus de vente et la gestion de plusieurs contrats	55 < *P(Cptce 1)* < 80 et 55 < *P(Cptce 2)* < 80	- Proportion faible sur la carte de propriétés en recherche de courtier dont les Vendeurs sont peu exigeants (15%), et proportions quasi équivalentes sur la carte de propriétés en recherche de courtier dont les Vendeurs sont moyennement (45%) et très (40%) exigeants. - État du marché : marché Acheteur (ratio Acheteur/Vendeur = -8) - 20 courtiers PNJ en moyenne sur la carte, jamais plus de 25, et 5 contrats maximum par courtier PNJ. - Aides sur les stratégies désactivées - Aides sur les tactiques désactivées	Si le niveau du joueur est débutant, la Cptce1 et la Cptce 2 sont incrémentées de 10. Si le niveau du joueur est intermédiaire, la Cptce1 et la Cptce 2 sont incrémentées de 15. Si le niveau du joueur est expert, la Cptce1 et la Cptce 2 sont incrémentées de 20.

8	Vérifier le développement de la Cptce 1 et de la Cptce 2 dans un contexte particulier de crise (rareté du marché).	*P(Cptce 1)* ≥ 80 et *P(Cptce 2)* ≥ 80	- Proportion très faible sur la carte de propriétés en recherche de courtier dont les Vendeurs sont peu exigeants (10%), et proportions quasi équivalentes sur la carte de propriétés en recherche de courtier dont les Vendeurs sont moyennement (50%) et très (40%) exigeants. - État du marché : marché Acheteur (ratio Acheteur/Vendeur = -10) - 30 courtiers PNJ en moyenne sur la carte, jamais plus de 35, et 8 contrats maximum par courtier PNJ. - Aides sur les stratégies désactivées - Aides sur les tactiques désactivées	Si le niveau du joueur est débutant, la Cptce1 et la Cptce 2 sont incrémentées de 10. Si le niveau du joueur est intermédiaire, la Cptce1 et la Cptce 2 sont incrémentées de 15. Si le niveau du joueur est expert, la Cptce1 et la Cptce 2 sont incrémentées de 20.

Il faut noter ici que les effets des actions, ou l'incrémentation du niveau d'expertise de joueur, sont exécutés de manière *théorique* dans le module d'adaptation. En effet, un plan généré propose une séquence d'actions qui *théoriquement* devrait permettre au JA d'atteindre les objectifs d'apprentissage. Néamoins, ce plan ne prend pas en compte l'aspect temporel de l'apprentissage, c'est-à-dire de quelle manière vont évoluer, au cours du temps (i.e. mois de jeu), les connaissances à maîtriser. Cette adaptation en temps réel va être gérée par le module de contrôle qui exécute le plan et qui s'assure, à chaque mois de jeu, que le plan est toujours adéquat selon l'état de progression de l'apprentissage du JA.

Au niveau du fonctionnement du module d'adaptation, ce dernier interroge une fois le modèle du JA, afin de connaître les probabilités des compétences 1 et 2, et le niveau d'expertise du joueur. Puisque le module d'adaptation « prend en compte » le niveau d'expertise du joueur, cela permet de générer un plan dont les actions tiennent compte de ce niveau. Ces informations permettent au module d'adaptation de générer un plan pédagogique composé d'une séquence d'actions optimales compte tenu de l'état de progression du JA. Chaque action dure un mois dans le JSÉ de simulation. Le plan pédagogique est unique pour chaque JA et n'est généré a priori qu'une seule fois dans une partie, à moins que le module de contrôle fasse une requête de nouvelle génération de plan.

Le plan pédagogique ainsi généré est alors envoyé au module de contrôle. Ce dernier joue le rôle de l'interface entre le module d'adaptation et la simulation présentée au JA dans *Game of Homes*. Le module de contrôle permet une adaptation à court terme, en prenant en compte cette fois les actions du JA et leurs conséquences, et notamment les erreurs éventuelles faites pour une connaissance qui ne faisait pas partie du plan pédagogique généré.

Au niveau du fonctionnement du module de contrôle, ce dernier reçoit le plan pédagogique généré par le module d'adaptation (ensemble d'actions dont chacune a

une durée d'un mois de jeu). En premier lieu, il vérifie alors que les préconditions de la première action (p. ex. Action 2) proposée par le plan sont respectées (p. ex. *P(Cptce 2)* ≤ 35). Pour cela, il est en lien direct et continu avec le modèle du JA. Il peut donc consulter les probabilités estimées des compétences 1 et 2 et les comparer aux seuils inscrits dans les préconditions des actions du plan. Si les préconditions données dans le plan sont remplies (par exemple, dans notre cas, *P(Cptce 2)* = 30), alors le module de contrôle définit les valeurs des paramètres de la simulation telles que recommandées dans la première action (p. ex. augmentation du nombre d'Acheteurs sur la carte par rapport au nombre de propriétés en vente, afin de créer un marché Vendeur). C'est le module de contrôle qui « décide » des valeurs exactes des paramètres de simulation. Il est également capable d'afficher des aides textuelles sur la carte (si les aides sont « activées » dans l'action du plan, cf. tableau 4.3), ciblent les stratégies et les tactiques de jeu, en interrogeant directement le RB. Les différentes aides textuelles qui peuvent s'afficher sont présentées dans le tableau 4.4. Il est important de souligner ici que le module de contrôle a également accès en continu au niveau d'expertise du joueur, ainsi qu'à l'état de la simulation (cf. figure 3.2). Cela permet au module de contrôle, en cours d'exécution du plan, d'une part, de modifier les paramètres de la simulation si le joueur devient par exemple expert, afin d'augmenter la difficulté. D'autre part, la simulation, qui comporte beaucoup de paramètres, évolue en continu dans le temps, et il est possible que son contenu s'éloigne des recommandations inscrites pour chaque action du plan. Le module contrôle a donc pour rôles (1) de vérifier et modifier en continu ces paramètres pour qu'ils correspondent au plan généré, et (2) d'assurer la stabilité de la simulation afin qu'elle demeure en tout temps réaliste et cohérente (p. ex. éviter un changement trop brusque du nombre d'acheteurs sur la carte). Ces modifications de paramètres de simulation permettent au module de contrôle de modifier en cours de partie l'environnement dans lequel le JA continue d'évoluer, et de proposer ainsi des

activités dont le contexte et le niveau de difficulté varient, tout en maintenant le JA engagé dans son expérience d'apprentissage.

Tableau 4.4 Aides textuelles s'affichant dans *Game of Homes* lorsque le JA n'exécute pas la stratégie ou la tactique pertinente

Compétences ciblées	Concept visé	Type d'aides	Texte affiché (en bas à droite de l'écran de jeu)
Compétence 1 « Sélectionner et obtenir les contrats de courtage auprès du Vendeur »	Territoire	Stratégie	« Choisir des contrats proches les uns des autres permet de limiter ses déplacements et ainsi d'être plus réactif. Le fait de se créer un territoire permet aussi de limiter la concurrence avec d'autres courtiers et d'avoir plus de poids dans les négociations en contrôlant le marché environnant. »
	Nombre de contrats	Tactique	« Prendre beaucoup de contrats simultanément n'est pas nécessairement une bonne idée car cela revient à prendre beaucoup de risques. Il est préférable de passer plus de temps à choisir quelques bons contrats plutôt que d'en prendre beaucoup sans garantie de les réussir. La réputation d'un courtier est tout aussi, voire même plus importante que l'argent en banque. »
	Commission et gain d'argent	Tactique	« Pour évaluer le gain potentiel d'un contrat, il faut appliquer la formule suivante : (taux de commission x prix de vente estimé). Après avoir estimé la difficulté de réussir la vente, l'évaluation du gain potentiel est un paramètre important à prendre en compte pour progresser dans le classement des courtiers. »
	Sous et sur estimation du prix de vente	Stratégie	« Avant de proposer ses services à un vendeur, il est préférable de déterminer préalablement si ses exigences de vente sont réalistes. Pour ce faire, il faut comparer votre estimation de la propriété au prix que le vendeur souhaite obtenir : - Si le vendeur semble sous-estimer sa propriété, alors cela peut vous garantir un contrat simple à réaliser et un gain de réputation quasi assuré." - Si le vendeur semble surestimer sa propriété, alors cela indique que le contrat sera difficile à réaliser en gardant le vendeur satisfait. »

Compétence 2 « Estimer le prix de vente des propriétés »	Comparables	Stratégie	« Vous pouvez rechercher, à l'aide du menu SEARCH, les propriétés comparables à celles que vous voulez vendre pour vous aider à déterminer leur prix. »
Compétence 3 « Gérer et conclure les ventes »	Visite	Tactique	« Les acheteurs n'attendent pas éternellement pour visiter les propriétés. Si vous n'êtes pas assez rapide, ils iront voir ailleurs. »

Si les préconditions d'une des actions du plan ne sont pas remplies, parce que finalement la progression de l'apprentissage du JA s'est faite plus lentement ou bien plus rapidement que prévu, alors le module de contrôle envoie une requête au module d'adaptation afin que ce dernier génère un nouveau plan qui tienne davantage compte de l'état actuel de la progression de l'apprentissage et de la progression passée. Le module d'adaptation interroge alors une seconde fois le RB, et le processus recommence. Une fois la partie de jeu terminée, le ou les plans exécutés forment le SPJ.

Enfin, lorsque la partie commence, le module d'adaptation n'a pas encore d'information disponible quant aux estimations des compétences calculées par le RB. Notre architecture permet donc au module de planification de proposer en tout début de partie une action par défaut, qui décrit une situation de jeu standard, dont le marché est équilibré et où seules les aides sur les tactiques de jeu sont offertes. À la fin de ce premier mois, le plan pédagogique est généré comme décrit plus haut. Lorsque les probabilités des deux compétences atteignent toutes les deux la valeur de 0.90 ou plus, le système de JSÉ de simulation considère que le JA a développé les compétences.

4.6 Conception d'une version scriptée des scénarios pédagogiques de jeu dans *Game of Homes*

Afin de répondre à l'une de nos hypothèses de recherche (H2), formulée ainsi dans le chapitre 3 :

> Les SPJ générés par le module d'adaptation de notre architecture de génération automatique sont adaptés et propres pour chacun des JA. Les SPJ générés sont analysables grâce au module de traces de notre architecture et rendent compte de l'évolution de l'apprentissage des JA.

nous avons également conçu une seconde version du JSÉ de simulation *Game of Homes* dont les SPJ sont cette fois scriptés, c'est-à-dire dont la séquence des actions sont déterminées à l'avance et qui sera identique à chacune des parties. Nous allons ainsi pouvoir comparer les traces de la version SPJ scriptés à la version SPJ générés afin de montrer que les SPJ générés sont adaptés. La version du JSÉ de simulation scriptée fonctionne avec le RB, mais sans les modules d'adaptation et de contrôle. Une action par défaut est exécutée en début de partie, puis l'action 2 est exécutée. À la fin de cette action, si les probabilités des deux compétences atteignent 30 % ou plus, alors le système de JSÉ de simulation exécute l'action 3. Sinon, l'action 2 est exécutée à nouveau. Entre les actions 3 et 4, les deux probabilités doivent atteindre 50 % ou plus. Entre les actions 4 et 5, les deux probabilités doivent atteindre 75 % ou plus. Entre les actions 5 et 6, les deux probabilités doivent atteindre 85 % ou plus. A la fin du 6ème scénario, le JA est sensé avoir développé les compétences.

Le contenu des actions est similaire à celui décrit dans le tableau 4.3, sauf que les valeurs des variables sont fixes. L'action 1 génère un contexte de jeu très facile, puis de plus en plus difficile jusqu'à l'action 6, la plus difficile.

4.7 Mise en œuvre du module de traces dans *Game of Homes*

Le module de trace dans *Game of Homes* répond aux objectifs énoncés dans la proposition de notre architecture (cf. figure 3.1). Son fonctionnement consiste à enregistrer toutes les données de la partie, dans un format exploitable par le pédagogue. Les données du JSÉ de simulation sont donc écrites dans plusieurs fichiers textes, par jour, semaines et mois de jeu (une partie dure rarement plus de 6 mois de jeu). Un autre fichier texte comporte la totalité des données du JSÉ de simulation. Dans ces fichiers, les données inscrites sont toutes les actions du JA: ses déplacements, les taux de commission entrés, l'obtention ou non des contrats, les prix de vente entrés, les publicités faites, les visites effectuées ou ratées, les offres d'achats ainsi que les recommandations faites, le résultat des ventes, etc. Les actions

des courtiers sont également inscrites, ainsi que les paramètres de la simulation (nombre d'acheteurs, nombre de courtiers, etc.).

Enfin, un dernier fichier texte présente le contenu du SPJ généré ou scripté qui a été exécuté pour toute la partie. Dans la version adaptée des SPJ, ce fichier contient le premier plan pédagogique généré, les probabilités des deux compétences données par le RB en début de mois du jeu, l'intitulé des actions planifiées et enfin les aides sur les stratégies et les tactiques générées. Si le plan est recalculé, il est mentionné dans ce fichier. Dans la version scriptée des SPJ, ce fichier contient les actions exécutées dans l'ordre, les probabilités des deux compétences données par le RB en début de mois du jeu, et les aides exécutées.

Nous pouvons donc, grâce au module de traces, connaître de manière précise les SPJ qui ont été générés, ainsi que l'évolution des deux compétences estimées par le RB. Nous pouvons de plus avoir un aperçu de l'état de la découverte de stratégies liées aux connaissances et de tactiques de jeu, puisque nous avons accès aux aides qui sont générées.

Enfin, ce module permet d'évaluer la troisième compétence qui n'est pas évaluée dans notre RB, à savoir « Gérer et conclure la vente de la propriété » (i.e. gérer la publicité, gérer les visites, recommander les offres d'achats), (voir le modèle de compétences dans l'appendice A). Pour cela, nous avons créé, au sein de notre équipe de recherche, un programme permettant de lire facilement les données du fichier contenant tous les *logs*. Ce programme permet d'avoir accès à toutes les ventes réussies ou non des JA et d'évaluer leur gestion (p. ex. proportion de visites ratées).

4.8 Contributions et efforts fournis dans la mise en œuvre de l'architecture de génération automatique de SPJ au sein de notre équipe de recherche

La conception et le développement du JSÉ de simulation *Game of Homes* fut un travail d'équipe. Les principaux contributeurs sont moi-même (Sophie Callies), un étudiant de maîtrise en informatique (Nicolas Sola) ainsi que plusieurs étudiants stagiaires.

Le tableau 4.5 résume les principales contributions par activités.

Tableau 4.5 Répartition des tâches pour la conception de notre architecture et du JSÉ de simulation *Game of Homes*

		Sophie Callies, Étudiante au doctorat en informatique cognitive	**Nicolas Sola**, Étudiant à la maîtrise en informatique	**Étudiants stagiaires**
Tâches	Analyse des besoins, de la clientèle cible, collecte des documents et ressources en lien avec la vente immobilière - Modélisation des connaissances et des compétences dans le domaine de la vente immobilière	Responsable principale	Non impliqué	Non impliqués
	Modélisation des variables de la simulation de *Game of Homes* et du *gameplay*	Responsable principale	Responsable secondaire	Non impliqués
	Programmation de la simulation de *Game of Homes*	Non impliquée	Responsable principal	Responsables secondaires
	Validation de la simulation de *Game of Homes*	Responsable principale	Responsable secondaire	Non impliqués
	Conception de l'architecture théorique de génération automatique de SPJ	Responsable principale	Responsable secondaire	Contributeurs
	Conception du réseau bayésien dynamique dans *Game of Homes* à partir de modèle de connaissances (choix des variables aléatoires)	Responsable principale	Co-responsable	Contributeurs
	Conception du module de planification (choix des actions, préconditions, effets, etc.)	Responsable principale	Co-responsable	Non impliqués
	Programmation du réseau bayésien et du module de planification dans *Game of Homes*	Responsable secondaire	Responsable principal	Contributeurs
	Définition des exigences logicielles pour l'outil d'analyse de traces	Responsable principale	Non impliqué	Non impliqués
	Programmation de l'outil d'analyses de traces	Responsable secondaire	Non impliqué	Responsables principaux

Afin de répondre à notre question de recherche (notre proposition d'architecture de génération automatique de SPJ peut-elle assurer une démarche personnalisée d'apprentissage engageante et motivante permettant au JA de développer des compétences dans un domaine ciblé?), nous avons conduit deux expérimentations durant lesquelles des participants adultes ont joué à *Game of Homes*. Le chapitre 5 présente ces expérimentations ainsi que leurs résultats et analyses.

CHAPITRE V

ÉVALUATION EMPIRIQUE DE L'ARCHITECTURE DE GÉNÉRATION AUTOMATIQUE DE SCÉNARIOS PÉDAGOGIQUES

Ce chapitre présente l'évaluation empirique de notre architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques de jeu (SPJ) mise en œuvre dans le jeu sérieux éducatif (JSÉ) de simulation *Game of Homes*. Après avoir abordé les enjeux plus généraux d'évaluation des apprentissages dans les JSÉ, nous détaillons les deux expérimentations effectuées dans l'optique de vérifier que notre architecture assurait chez des joueurs-apprenants (JA) une démarche d'apprentissage engageante et motivante leur permettant de développer des compétences dans le domaine de la vente immobilière.

5.1 Enjeux des preuves empiriques d'apprentissage dans les jeux sérieux éducatifs

Dans cette thèse, nous soutenons que notre architecture de génération automatique de SPJ devrait permettre un apprentissage efficace et motivant dans les JSÉ de simulation, en respectant le cheminement personnalisé d'apprentissage de chaque JA, en lui fournissant les rétroactions adaptées, en lui faisant découvrir et exécuter de nouvelles stratégies et en le maintenant engagé.

Dans la littérature, les preuves quant aux effets bénéfiques de l'usage de JSÉ sur l'apprentissage manquent encore (Chen et Michael, 2005; De Freitas et Jarvis, 2007; Fournier *et al*., dans Sauvé et Kaufman, 2010; Pelletier et Olivier, 2006, dans Sauvé et Kaufman, 2010; Squire, 2003; VanDeventer et White, 2002). Les chercheurs se questionnent en effet sur la possibilité d'apprendre en jouant à un JSÉ, mais aussi sur

la valeur du JSÉ en pédagogie et sur son intégration dans un cadre d'apprentissage plus large (p. ex. dans un cours). Notamment, la question de l'évaluation dans un JSÉ émerge souvent : si des pédagogues utilisent un JSÉ dans l'objectif de développer certaines compétences chez leurs JA, le JSÉ doit impérativement leur fournir une évaluation précise et compréhensible de la progression de leur apprentissage. Dans cette thèse, nous soutenons que cette évaluation devrait être disponible sous la forme de traces détaillant la progression de l'apprentissage, reflétant également les difficultés d'apprentissage qu'auraient pu éprouver les JA (voir aussi Lavergne-Boudier et Dambach, 2010).

C'est pourquoi nous proposons, dans ce chapitre, une évaluation empirique du JSÉ de simulation *Game of Homes* soutenue par notre architecture de génération automatique de SPJ. Nous avons basé notre évaluation sur deux approches :

1. l'approche du pré-test / post-test : des tests de connaissances dans le domaine de la vente immobilière sont administrés aux JA avant et après avoir joué au JSÉ de simulation afin de vérifier si les performances à ces tests s'améliorent (Expérimentation 1) ;
2. l'approche de l'analyse de traces : les traces enregistrées lors de la partie du JSÉ de simulation sont analysées afin d'étudier la progression de l'apprentissage (Expérimentation 2).

Cette évaluation a pour objectif principal de vérifier que notre architecture de génération automatique de SPJ, grâce au modèle du JA soutenu entre autre par le réseau bayésien (RB) et aux modules d'adaptation et de contrôle, permet de développer les compétences ciblées dans *Game of Homes* ainsi que les stratégies et tactiques à découvrir dans le jeu, et ce, tout en maintenant le JA engagé lors de la partie.

Dans les paragraphes qui suivent, nous présentons, pour chacune des expérimentations : (1) le contexte et les objectifs de l'expérimentation, (2) le design

de l'expérimentation et les hypothèses de recherche, (3) les instruments de mesure utilisés, (4) les participants et la procédure, (5) les résultats et enfin (6) notre interprétation de ces résultats.

Nous précisons que les deux expérimentations effectuées ont été préalablement approuvées par le Comité pour l'évaluation des projets étudiants impliquant de la recherche avec des êtres humains (CÉRPÉ[12]) des facultés des sciences et des sciences de l'éducation de l'UQAM (Certificat d'approbation numéro 2014-0114A, voir appendice B).

5.2 Expérimentation 1

5.2.1 Contexte et objectifs de l'expérimentation 1

Cette première expérimentation a été menée à la suite du développement d'une première version du JSÉ de simulation *Game of Homes*. Ses objectifs principaux était de démontrer que :

1. notre architecture de génération automatique de SPJ permet à des JA jouant à *Game of Homes* de développer les connaissances associées aux compétences ciblées,
2. notre architecture de génération automatique de SPJ permet à des JA jouant à *Game of Homes* de découvrir et d'exécuter de manière flexible les stratégies exercées,
3. notre architecture de génération automatique de SPJ permet à des JA jouant à *Game of Homes* de manifester au terme de la partie une expérience d'apprentissage motivante et engageante, grâce à la rétroaction variée et

[12] https://sciences.uqam.ca/fr/recherche/recherche-ethique.html

adaptée à sa progression dans le jeu, ainsi qu'au comportement stimulant des PNJ.

5.2.2 Design de l'expérimentation 1 et hypothèses

L'expérimentation 1 fut conduite afin de répondre à notre première hypothèse de recherche H1 :

> Les JA qui jouent à notre JSÉ de simulation soutenue par notre architecture de génération automatique de SPJ développent les connaissances associées aux compétences et découvrent et exécutent de manière flexible les stratégies exercées dans ce JSÉ de simulation. De plus, ils manifestent au terme de la partie une expérience d'apprentissage motivante et engageante, grâce à la rétroaction variée et adaptée à sa progression dans le JSÉ de simulation, ainsi qu'au comportement stimulant des PNJ

L'expérimentation 1 se base sur un plan de recherche pré-expérimental pré-test-post-test à groupe unique (Vallerand et Hess, 2000). Tous les participants ont joué à *Game of Homes* pendant approximativement 90 minutes et ont répondu à un test de connaissances dans le domaine de la vente immobilière un jour avant et un jour après la session de jeu. Nous avons choisi d'organiser l'expérimentation sur trois jours, car le contenu des tests de connaissances fait directement référence au contenu pédagogique du jeu *Game of Homes*. Nous voulions, d'une part, éviter que le comportement dans le JSÉ de simulation des participants soit influencé par leurs réponses données dans le pré test. D'autre part, nous voulions vérifier la persistance de l'apprentissage après un certain laps de temps, d'où la passation du post-test un jour après avoir joué au jeu plutôt qu'immédiatement après. Le test de connaissances permettait d'évaluer l'acquisition de connaissances associées aux compétences « Sélectionner un contrat de courtage pertinent » et « Estimer le prix de vente de la propriété », ainsi que l'acquisition des stratégies liées à ces compétences. Tous les participants ont également rempli un questionnaire de motivation et d'engagement,

ciblant plusieurs dimensions d'engagement ainsi que les aspects stratégiques dans le JSÉ de simulation.

Les variables dépendantes mesurées sont les scores obtenus aux pré et post-tests, ainsi que les scores au questionnaire de motivation et d'engagement. Nous formulons les hypothèses suivantes:

- H1a : Le score global ainsi que les scores spécifiques ciblant les connaissances associées aux compétences et les stratégies du domaine de la vente immobilière seront en moyenne plus élevés aux post-tests qu'aux pré-tests;
- H1b : Les scores des différentes dimensions motivationnelles et d'engagement incluses dans les questionnaires de motivation et d'engagement seront en moyenne au-dessus de 4/7 (échelle de type Likert).

5.2.3 Instruments de mesures

Afin de tester notre première hypothèse, nous avons conçu un test de connaissances ciblant celles associées aux deux compétences principales visées dans *Game of Homes* ainsi que certaines des stratégies liées à ces compétences (cf. tableau 4.2). Ce test, dont l'intégralité se retrouve dans l'appendice C, est composé de quatre parties, ciblant chacune une compétence et les stratégies liées aux compétences dans le JSÉ de simulation. Le tableau présenté en introduction de l'appendice C synthétise ces quatre parties, le lien avec le contenu pédagogique du JSÉ de simulation, ainsi que le système de notation employé. Le score total du test est de 220 points. Les pré et post-tests sont tous les deux sur le même format, seules les données changent. Le post-test est également présenté dans l'appendice C.

Afin de tester notre deuxième hypothèse, nous avons conçu notre propre test de motivation et d'engagement. Nous avions au préalable effectué une recherche de

questionnaires de motivation existants s'appliquant plus particulièrement aux JSÉ, mais les questionnaires disponibles dans la littérature étaient pour la plupart trop généraux et ne reflétaient pas les différentes dimensions de l'engagement lors d'une expérience d'apprentissage avec un JSÉ (Fredricks et McColskey, 2012). De plus, nous voulions également connaître le ressenti des participants sur l'adaptabilité permise par notre architecture. Nous voulions enfin recueillir les stratégies liées aux connaissances et les tactiques de jeu que les JA pensaient avoir découvertes.

Afin de bâtir notre questionnaire, nous nous sommes basée sur différentes études qui se sont penchées sur l'engagement et les aspects motivationnels en contexte de jeu et d'apprentissage (ou les deux), dont certaines ont été mentionnées dans le chapitre 1. Notamment, Malone et Lepper (1987) se sont focalisés sur trois facteurs de la motivation intrinsèque et sur la manière de les susciter dans un jeu : le *challenge* (p. ex. objectifs clairs, adaptabilité de la difficulté au niveau du joueur, estime de soi), la curiosité (p. ex. complexité, *feedback* informatif) et le contrôle (p. ex. les actions du joueur ont des conséquences pertinentes dans le jeu). Plus récemment, Csikszentmihalyi (1990) a également proposé d'évaluer la performance en cours de jeu pour que le JA ait un aperçu de son apprentissage. Sweeter et Wyeth (2005) ont ajouté les dimensions de concentration (i.e. le jeu doit retenir l'attention du joueur sans le distraire) et d'immersion (i.e. le joueur est moins attentif à ce qui se passe en dehors du jeu, en perdant la notion du temps) dans le jeu. Il mentionne aussi le sentiment de contrôle dans le jeu, notamment par l'appropriation de l'avatar et par l'utilisation de plusieurs tactiques de jeu qui est liée au sentiment de compétences de jeu (p. ex. *gameplay* perçu comme facilement abordable, présence et pertinence des aides affichées dans le jeu). Le tableau 5.1 propose une synthèse des aspects motivationnels et engageants issus de la revue de littérature et qui sont inclus dans notre questionnaire de motivation et d'engagement. Pour chacun de ces aspects, les participants doivent juger de leur niveau d'accord, en situant ce dernier sur une échelle de type Likert (1 = tout à fait faux, 7 = tout à fait vrai). Les apports originaux

de ce questionnaire se situent surtout au niveau de l'adaptabilité perçue et de l'utilité attribuée au JSÉ. Dans les questionnaires de motivation que nous avons trouvés dans la littérature, nous n'avons pas, en effet, vu de questions relatives au ressenti de l'utilité du JSÉ en terme d'apprentissage. En outre, nous voulions savoir, d'une part, si les JA percevaient que le système de JSÉ de simulation s'adaptait à leur apprentissage et, d'autre part, si les JA étaient capables d'expliciter les changements de contexte dans le JSÉ de simulation. À notre connaissance, aucune étude sur les JSÉ adaptables n'a évalué les sensations d'adaptabilité du jeu chez les JA.

Tableau 5.1 Synthèse des dimensions en lien avec aspects motivationnels et engageants inclus dans notre questionnaire de motivation

Dimensions	Sous-dimensions	Détails
1. CHALLENGE	Objectifs / Buts dans le jeu	Les objectifs fixés dans le jeu sont clairs et évidents. Accomplir un objectif permet au JA de faire quelque chose qu'il ne pouvait pas faire avant. Le résultat de l'objectif est satisfaisant émotionnellement. Les objectifs sont autant à court terme qu'à long terme. Les objectifs sont de niveaux multiples: soit tous les objectifs sont du même genre mais varient en difficulté, soit les objectifs de haut niveau impliquent d'accomplir les objectifs de bas niveau avec une meilleure performance (p. ex. score sous forme de pointage, rapidité). Ces objectifs de haut niveau sont motivants cognitivement et le JA cherchera à optimiser les structures mentales existantes (i.e. procédures apprises précédemment).
	Niveaux de jeu et Difficulté	Les niveaux sont déterminés automatiquement et/ou déterminés par des adversaires. Les niveaux sont de difficultés différentes.
	Adaptabilité	La difficulté s'adapte au JA. Le JA ressent l'adaptabilité du jeu à son niveau. Le JA ressent les modifications du contenu du jeu.
	Estime de soi	Le *challenge* permet d'engager l'estime de soi s'il est accompli. Par contre, l'échec dans le jeu peut diminuer l'estime de soi et éventuellement désintéresser le JA de l'activité. Le *feedback* fourni minimise les dommages sur l'estime de soi.
	Tension / Pression	Le JA ressent une nervosité due au *challenge*.
2. CURIOSITÉ	L'environnement du jeu doit permettre l'exploration. Le JA doit porter attention aux valeurs changeantes de l'environnement (curiosité sensorielle). Le jeu présente suffisamment d'informations au JA (curiosité cognitive). Certaines informations dans le jeu sont cachées et révélées sélectivement au JA.	

3. CONTRÔLE		Gagner n'est pas dû au hasard. Le JA a le sentiment qu'il est possible de gagner. Les choix du JA ont une influence sur les résultats du jeu qui sont pertinents et signifiants. Le JA sent le contrôle sur son avatar et ses mouvements. Le JA sent du contrôle sur le jeu et son interface. Le JA ne doit pas être confronté à des erreurs fatales dans le jeu et devrait pouvoir récupérer de ses erreurs. Le JA sent un contrôle et un impact de ses actions sur l'environnement du jeu. Le JA se sent libre d'utiliser différentes stratégies de jeu comme il le souhaite.
4. *FEEDBACK* et ÉVALUATION	*Feedback* (Rétroaction)	Le *feedback* est immédiat, pertinent, clair, encourageant, et concret, pour que le JA sache s'il satisfait les critères de performance et s'il a atteint les objectifs. Le JA connaît son score ou son statut en tout temps dans le jeu. Le *feedback* fourni est informatif, éducatif et constructif.
	Évaluation	L'évaluation de la performance est claire : le JA a un aperçu de son apprentissage en cours. L'évaluation se fait à court et à long terme.
5. CONCENTRATION		Le jeu comporte beaucoup de stimuli issus de différentes sources. Le jeu retient rapidement l'attention du JA et la maintient. Les tâches ont toutes une importance dans le jeu. Le JA n'est pas distrait, il se focalise sur les tâches qu'il juge importantes.
6. IMMERSION		Le jeu doit faire perdre la notion du temps au JA. Le JA se sent fortement impliqué dans le jeu sans trop fournir d'effort mental. Le JA devient moins attentif à ce qui se passe autour de lui. Le JA se sent moins concerné et moins inquiet par lui-même ou la vie quotidienne. Le JA expérimente une perte de la notion du temps. Le JA se sent émotionnellement impliqué dans le jeu.

7. COMPÉTENCES / UTILITÉ DU JEU	Le jeu soutient le développement et la maîtrise des compétences (cf. les pré et post-tests de connaissance). Le JA doit pouvoir jouer immédiatement au jeu, sans lire un manuel. Le JA apprend dans le jeu en s'amusant et non en s'ennuyant. Le jeu contient une forme d'aide, pour que le JA n'ait pas à solliciter une aide extérieure. L'interface et les mécaniques du jeu sont faciles à apprendre et à utiliser.

Le questionnaire de motivation et d'engagement, version « auteur », est présenté dans l'appendice D. Nous avons bâti une version « participant » du questionnaire (présenté également dans l'appendice D) dont les items ont été réorganisés en thèmes différents afin de ne pas influencer les réponses des participants (i.e. « Mes impressions sur le jeu », « Comment je me sentais en jouant », « Mon comportement dans le jeu », « Ma performance dans le jeu »). La version finale du questionnaire comporte 83 questions : 12 questions ouvertes et 71 affirmations (avec échelle de type Likert de 1 à 7 : tout à fait faux à tout à fait vrai). Dix-sept de ces affirmations sont formulées négativement afin d'éviter les biais de réponses (mentionnées d'un R rouge dans le questionnaire). Leurs scores ont donc été inversés lors de l'analyse des résultats. Les questions ouvertes demandent aux participants : (a) d'énumérer les objectifs du jeu et les étapes à réaliser pour les atteindre (thème 1 *Challenge* – Objectifs de jeu), (b) d'énumérer les éléments du jeu qui selon eux variaient dans le jeu (thème 1 *Challenge* - Adaptabilité), (c) d'énumérer les fonctionnalités du jeu les plus et les moins utilisées (thème 2 Curiosité), (d) d'énumérer les différentes stratégies dans le jeu utilisées pour augmenter leur score et atteindre les objectifs (thème 3 Contrôle), (e) d'énumérer les rétroactions (*feedback*) et/ou moyens de présenter leur performance en cours dans le jeu qui leur ont semblé les plus et les moins pertinents et informatifs (thème 4 *Feedback* et Évaluation), (f) d'énumérer les éléments de jeu sur lesquels ils ont focalisé leur attention et ceux qui les ont distraits (thème 5 Concentration), (g) d'estimer en minutes la durée ressentie de la session de jeu, par opposition à la durée réelle de la session de jeu (thème 6 Immersion), et enfin (h) de proposer des raisons qui justifient la valeur et l'utilité de ce jeu (thème 7 Compétences et Utilité du jeu).

5.2.4 Participants et procédure

Quatorze participants ont été recrutés au sein d'un campus universitaire par le biais d'annonces. Les participants avaient entre 24 et 46 ans (moyenne d'âge, 31; SD 5).

L'échantillon se composait de 8 hommes et de 6 femmes. Tous les participants ont reçu une compensation de 20 $ pour leur participation. Le seul critère d'exclusion était de nous assurer que les participants n'étaient pas déjà propriétaires d'un bien immobilier à Montréal, afin d'éviter que leurs connaissances en terme de transactions immobilières ne biaisent les résultats aux tests de connaissances.

L'expérimentation 1 s'est déroulée pendant trois jours consécutifs, chacune des sessions ayant eu lieu dans une salle de cours équipée d'ordinateurs. Les participants ont reçu au préalable le formulaire de consentement par courriel qu'ils ont lu, signé et retourné par courriel; ce formulaire est présenté dans l'appendice B.

- Au jour 1 : les participants ont rempli le pré-test de connaissances ciblant les deux compétences et les stratégies liées aux connaissances ciblées dans *Game of Homes*. Le test était sous format papier. Les participants ont mis en moyenne 69 minutes pour le remplir.
- Au jour 2 : les participants ont joué à la version adaptée de *Game of Homes* pendant approximativement 90 minutes sur des ordinateurs équipés de Windows et sur écran de 24 pouces. Au début de cette session, l'expérimentateur expliquait oralement les instructions de base du JSÉ de simulation tout en faisant une brève démonstration sur grand écran. Ils ont ensuite rempli un questionnaire de motivation et d'engagement en format papier pendant 20 minutes en moyenne.
- Au jour 3 : les participants ont rempli le post-test de connaissances format papier. Il comportait le même type d'exercices que dans le pré-test. Les participants ont mis en moyenne 48 minutes pour le remplir. Pour finir, l'expérimentateur effectuait un *debriefing* de l'expérimentation afin de présenter les objectifs de la recherche et répondre aux questions des participants.

La taille originale de l'échantillon pour cette première expérimentation était de vingt participants. Néanmoins, deux d'entre eux n'ont jamais rempli le post-test de connaissances le troisième jour, et la session de jeu de quatre autres participants a été interrompue dû à une anomalie de fonctionnement de *Game of Homes*. Les données de ces six participants n'ont donc pas été prises en compte dans les analyses de la première expérimentation.

5.2.5 Résultats

Nous présentons d'abord les résultats des analyses quantitatives quant aux compétences et stratégies développées dans *Game of Homes*, puis les analyses qualitatives quant à l'engagement dans *Game of Homes*. Ces résultats ont été présentés à la conférence *European Conference on Games Based Learning (ECGLB)* (Callies *et al*., 2015).

Analyses quantitatives quant aux compétences et stratégies développées dans *Game of Homes*

Les analyses quantitatives de l'expérimentation 1 ont été menées afin de répondre à notre première hypothèse spécifique de recherche H1a : « Le score global ainsi que les scores spécifiques ciblant les connaissances associées aux compétences et les stratégies du domaine de la vente immobilière seront en moyenne plus élevés aux post-tests qu'aux pré-tests». Les pré et post-tests de connaissances ont été corrigés en respectant le système de notation présenté dans l'annexe C. Les moyennes des scores globaux et des scores spécifiques sont présentées dans le Tableau 5.2.

Tableau 5.2 Moyennes du score global, des scores pour les Compétences 1 et 2 et des scores de stratégies pour le pré-test et le post-test de connaissances (Cptce = Compétence)

	PRÉ-TEST				POST-TEST			
	Cptce 1 (/120)	Cptce 2 (/45)	Stratégies (/55)	**Score global au test (/220)**	Cptce 1 (/120)	Cptce 2 (/45)	Stratégies (/55)	**Score global au test (/220)**
Score (moyenne)	50,3	27,9	16,1	**94,2**	57,6	30,4	23,2	**111,2**
Écart-type	*10,2*	*7,5*	*5,2*	***16,5***	*8,4*	*4,7*	*5,8*	***12,1***

Pour faciliter la lecture des résultats, la figure 5.1 représente graphiquement les moyennes des scores au pré-test (en mauve clair) et au post-test (en mauve foncé) avec les barres d'erreurs.

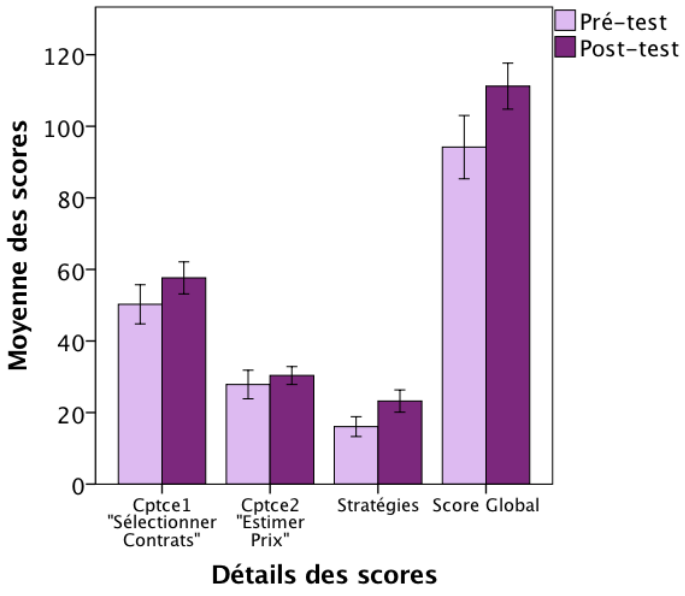


Figure 5.1 Moyenne des scores au pré-test et au post-test de connaissances

Nous avons effectué des analyses statistiques afin de vérifier si les différences entre les scores des pré et post-tests étaient significatives. Comme il s'agissait d'un plan pré-expérimental à mesures répétées (pré et post-tests), nous devions nous assurer d'effectuer l'analyse qui permettrait de prendre en compte les différences entre les participants en terme de scores au pré-test et de rendre compte de ces différences inter-individuelles. Le test *t* sur deux mesures répétées permet d'éliminer cette variabilité et de tester uniquement les changements de score entre le pré-test et le post-test. Les résultats ont été obtenus grâce au logiciel de statistiques SPSS[13], et montrent, respectivement, que :

En moyenne, les scores globaux du post-test (111,2/220) sont significativement plus élevés que les scores globaux du pré-test (94,2/220) ($t(13) = -4,47$, $p < .05$). Les participants se sont améliorés en moyenne de 17 points.

En moyenne, les scores de la Compétence 1 « Sélectionner et obtenir les contrats de courtage auprès du Vendeur » du post-test (57,6/120) sont significativement plus élevés que les scores de la Compétence 1 du pré-test (50,3/120) ($t(13) = -2,72$, $p < .05$). Les participants se sont améliorés en moyenne de 7,4 points.

En moyenne, les scores de la Compétence 2 « Estimer le prix de vente des propriétés » du post-test (30,4/45) ne sont pas significativement plus élevés que les scores de la Compétence 2 du pré-test (27,9/45) ($t(13) = -1,36$, $p > .05$).

En moyenne, le score de la pertinence des stratégies rapportées dans le post-test (23,2/55) est très significativement plus élevés que le score de la pertinence des stratégies rapportées dans le pré-test (16,1/55) ($t(13) = -6,45$, $p < .05$). Les participants se sont améliorés en moyenne de 7,14 points.

13 http://www-01.ibm.com/software/fr/analytics/spss/

Nous présentons également dans le tableau 5.3 les détails des scores relatifs aux stratégies de la partie A de l'énoncé 5 de notre test de connaissances (i.e. Critères donnés quant au choix des participants des contrats de courtage), de la partie A de l'énoncé 9 de notre test de connaissances (i.e. Critères donnés quant à l'estimation du prix de vente), et, pour finir, à titre indicatif, le nombre de participants qui ont mentionné l'effet du contexte représenté par l'état du marché comme un facteur important, ou une réponse similaire (énoncés 5.B. et 9.B).

Tableau 5.3 Moyennes des scores au pré-test et au post-test relatifs aux stratégies (N=14)

	Stratégie de la Cptce 1 (énoncé 5.A)		**Stratégie de la Cptce 2 (énoncé 9.A)**			**Mention de l'état du marché (énoncés 9.A et 9.B)**	
	Pré-test	Post-test	Pré-test	Post-test		Pré-test	Post-test
Score (moyenne) (/ 15)	9,82	12,14	5,36	6,25	Nombre de participants (N=14)	1	6
Écart-type	*2,07*	*2,17*	*0,91*	*1,90*			

Nous avons effectué une analyse descriptive de comparaison de moyennes (test *t*) qui nous a révélé que les participants ont eu de manière significative un score plus élevé à la question sur les stratégies liées au choix du contrat de courtage (Compétence 1) au post-test (12,14) qu'au pré-test (9,82) ($t(13) = -2{,}61$, $p < .05$). Le même type d'analyse a révélé qu'il n'y a pas de différence significative entre les scores à la question sur les stratégies liées à l'estimation du prix de vente (Compétence 2) entre le pré-test et le post-test ($t(13) = -1{,}59$, $p > .05$).

Analyses qualitatives quant à l'engagement dans *Game of Homes*

Les analyses qualitatives de l'expérimentation 1 ont été menées afin de répondre à notre deuxième hypothèse spécifique de recherche H1b : « Les scores des différentes

dimensions motivationnelles et d'engagement incluses dans les questionnaires de motivation et d'engagement seront en moyenne au-dessus de 4/7 (échelle de type Likert) ». Les données des questionnaires de motivation et d'engagement ont été colligées en respectant les thèmes présentés dans le tableau 5.1. Les moyennes des scores sont détaillées dans le tableau 5.4 (en vert au-dessus de 4, en rouge en dessous de 4) et certaines sont graphiquement présentées dans la figure 5.2. La figure 5.2 présente également le détail du score pour le thème *Challenge*.

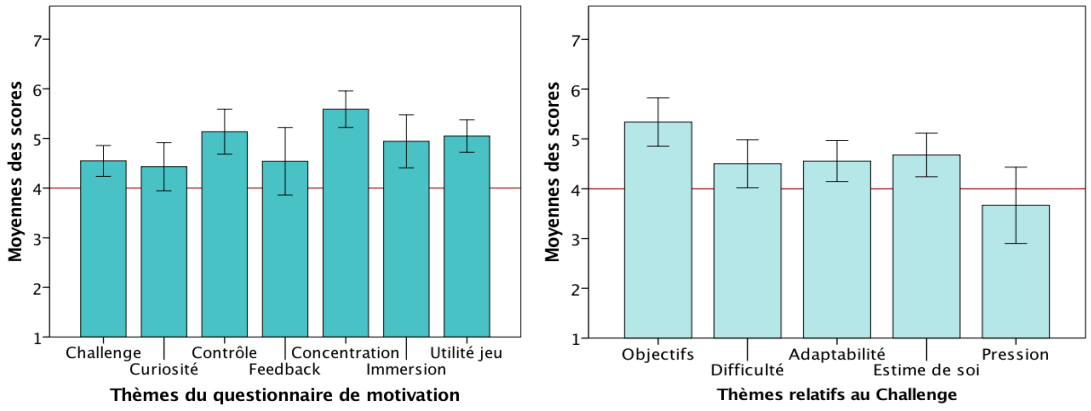


Figure 5.2 Moyennes des scores obtenus au questionnaire de motivation et d'engagement pour chaque aspect motivationnel (N=14)

Tableau 5.4 Moyennes des scores obtenus pour chaque aspect motivationnel dans le questionnaire de motivation et d'engagement

THÈMES	Sous-thèmes	Moyennes	*Écart-types*
1. CHALLENGE	Objectifs / Buts dans le jeu	**5,34**	*0,91*
	Niveaux de jeu et Difficulté	**4,50**	*0,90*
	Adaptabilité	**4,55**	*0,77*
	Score sur les éléments adaptables du jeu (/6)	**2,57**	*1,34*
	Estime de soi	**4,68**	*0,82*
	Tension / Pression	**3,67**	*1,43*
	Score global pour le *challenge*	**4,55**	*0,97*
2. CURIOSITÉ		**4,43**	*0.91*
3. CONTRÔLE		**5,13**	*0.84*
4. FEEDBACK et ÉVALUATION		**4,54**	*1,27*
5. CONCENTRATION		**5,59**	*0,69*
6. IMMERSION	Immersion (score)	**4,94**	*1,00*
	Immersion (durée ressentie du jeu en minute – durée réelle du jeu : 90 minutes)	**64**	*28,5*
7. COMPÉTENCES / UTILITÉ DU JEU		**5,05**	*0,61*

Nous avons, pour finir, colligé les réponses fournies par les participants aux questions ouvertes du questionnaire de motivation et d'engagement, qui sont décrites dans le tableau 5.5 pour les fonctionnalités et le *feedback* que les participants ont déclaré avoir les plus utilisés ou consultés et les moins utilisés ou consultés dans le JSÉ de simulation. Le Tableau 5.6 présente les différentes stratégies que les participants disent avoir utilisé dans le JSÉ de simulation afin d'être performants. Nous avons rajouté la couleur rouge pour les stratégies qui font références aux stratégies liées aux connaissances issues de la modélisation décrite dans le chapitre 4 (cf. tableau 4.2), et la couleur verte pour les tactiques de jeu

Tableau 5.5 Fonctionnalités et/ou rétroactions les plus et les moins utilisées dans *Game of Homes* (N=14)

Nom de la fonctionnalité / *feedback*	Nombre de participants qui ont mentionné avoir utilisé / consulté souvent l'élément (Raisons)	Nombre de participants qui ont mentionné avoir peu utilisé / consulté l'élément (Raisons)
Publicité	8 (Pour maintenir une bonne visibilité)	
Feedinfo	7 (Pour surveiller les visites et les offres d'achat)	
Onglet « Contrats » (tableau récapitulatif des contrats)	6 (Afin de se rendre facilement sur les propriétés dont les contrats sont en cours)	
Onglet « Recherche » (rechercher les comparables)	6	5 (Ferait perdre du temps aux participants / N'en voient pas l'intérêt)
Onglet « Statistiques » (Statistiques du JA)		4
Aides	4	
Date d'échéance du contrat de courtage (durée restante du contrat)	3	
Graphique de visibilité des propriétés dont les contrats sont en cours	3	
Prix prêt à accepter du vendeur	3 (Pour voir s'il change)	
Tableau de classement (scores des autres courtiers)	3	2
Score (argent et réputation)	2	2
Satisfaction des vendeurs	2	
Échelle du temps	1 (Pour augmenter ou diminuer la vitesse du temps)	
Gain de la commission	1	
Fenêtre *popup* suite à la vente réussie ou échouée	1	
Couleur changeante des acheteurs selon leur intérêt pour les propriétés	1	

Tableau 5.6 Stratégies utilisées dans *Game of Homes*

Stratégies énoncées par les participants	Occurrence (Nombre de participants qui l'ont mentionnée)
Choisir des contrats de courtage proches les uns des autres (Territoire), pour être plus rapide.	7
Faire régulièrement de la publicité afin de maintenir une forte visibilité	6
Proposer un prix de vente un peu au dessus du prix prêt à accepter par le vendeur (sinon, la réputation baisse), quand la propriété a du potentiel.	5
Baisser la commission s'il y a de la concurrence, mais rester raisonnable / Offrir un taux de commission le plus élevé possible.	4
Refuser les offres d'achat trop basses (par rapport au prix prêt à accepter par le vendeur) / Accepter les offres d'achats à un prix plus élevé que le prix prêt à accepter par le vendeur.	3
Choisir les contrats de courtage dont les maisons ont un prix raisonnable (pas sur estimé), après avoir fait une recherche de comparables.	4
Fixer un prix supérieur au prix prêt à accepter par le vendeur puis diminuer le prix au fil du temps.	2
Être rapidement sur les lieux pour faire visiter/voir les offres d'achats, ne pas rater de visites/offres d'achat.	2
Diminuer le prix en fonction des prix des propriétés comparables à proximité.	2
Ne pas trop diminuer le prix des maisons (pour ne pas perdre en réputation).	2
Brader les maisons qui ne se vendent pas, quitte à baisser la réputation.	1
Être le premier à proposer une offre de courtage.	1
Faire rapidement des propositions de courtage.	1
Ne pas être gourmand sur le prix de vente afin d'avoir plus de visites et d'offres.	1
Prioriser les ventes selon le nombre de jours restants sur le contrat de courtage.	1
Choisir des propriétés plus chères.	1
Ne pas prendre trop de contrats en même temps (2 ou 3).	1
Acheter en avance des panneaux pour en avoir en stock	1

Choisir les contrats en fonction de la fréquentation des acheteurs dans le secteur en question.	1
Au début de jeu, essayer d'avoir le plus de maisons possibles.	1
De manière générale, agir vite.	1

Enfin, le tableau 5.7 rapporte les impressions des participants quant aux compétences qu'ils pensent avoir développées dans le jeu, ainsi que leur avis sur l'utilité du JSÉ de simulation *Game of Homes*.

Tableau 5.7 Compétences développées dans *Game of Homes* et utilité du JSÉ de simulation selon les participants

Compétences développées dans le JSÉ de simulation / Utilité du JSÉ de simulation	Occurrence (nombre de participants sur 14 qui l'ont mentionnée)
Se faire une idée du métier de courtier immobilier – Acquérir les bases du métier de courtier immobilier.	8
De manière générale, évaluer des situations en prenant en compte de nombreux facteurs, et modifier ses stratégies en conséquence.	4
Comprendre l'état du marché immobilier et comment fixer les prix de vente.	3
Acquérir la compétence de la vente immobilière.	2
Ce serait bien de rejouer une deuxième fois (intérêt d'en apprendre davantage).	2
De manière générale, apprendre en s'amusant.	2
Comprendre comment choisir des contrats de courtage.	1
Comprendre l'importance de la compétition dans le métier de courtier immobilier.	1
Le jeu rend compte de la réalité des courtiers immobiliers (réalisme du jeu).	1
De manière générale, apprendre la gestion du temps.	1
Comprendre l'importance de la réputation du courtier dans le domaine de l'immobilier.	1

5.2.6 Interprétation des résultats de l'expérimentation 1

Nous interprétons les résultats concernant d'abord le développement des connaissances associées aux compétences et la découverte des stratégies dans *Game of Homes*, puis les résultats concernant l'engagement dans *Game of Homes*.

Développement des connaissances associées aux compétences et découverte des stratégies dans *Game of Homes*

Les résultats nous montrent qu'en moyenne, les participants ont amélioré leur performance après avoir joué à *Game of Homes*. Plus particulièrement, les participants ont développé les connaissances associées à la Compétence 1 : « Sélectionner et obtenir les contrats de courtage auprès du Vendeur. Analyser les éléments des contrats de courtage afin de s'assurer de leur faisabilité ». Ils ont donc acquis les concepts liés à cette compétence tel que mesuré dans les tests de connaissances, à savoir les concepts de territoire, de commission et gain d'argent et enfin de sous et sur estimation de vente.

Au sujet des stratégies, les stratégies de la Compétence 1 liées aux connaissances suivantes ont été découvertes et exécutées par la majorité des JA qui ont joué à *Game of Homes*:

- le JA a tout intérêt à sélectionner des contrats proches les uns des autres.
- le JA a tout intérêt à laisser tomber les contrats dont les Vendeurs exigent un taux de commission trop bas.
- le JA a tout intérêt à ne pas choisir des contrats dont les propriétés sont surestimées par le Vendeur.

De manière qualitative, nous pouvons confirmer, sur la base des résultats obtenus à notre questionnaire (cf. tableau 5.6), que ces trois stratégies relatives à la Compétence 1 ont été découvertes et utilisées par une partie des participants.

Au sujet des connaissances associées à la Compétence 2 « Estimer le prix de vente des propriétés à vendre dans le jeu », les participants ne se sont pas améliorés entre le pré et le post-test. De plus, aucune différence significative n'a été trouvée entre les scores des pré et post-tests sur les stratégies utilisées lors de la fixation du prix de vente. Pourtant, certains participants ont mentionné dans le questionnaire comme tactiques découvertes dans le jeu (a) l'importance de s'aligner sur le prix prêt à accepter du Vendeur qui se modifie au cours du temps et (b) l'importance de diminuer le prix de vente lorsque le délai d'expiration du contrat approche, et comme stratégie découverte dans le jeu de fixer le prix en fonction des comparables (cf. tableau 5.6). À ce sujet, environ la moitié des participants ont déclaré ne pas saisir l'utilité de la fonctionnalité de recherches de comparables dans le JSÉ de simulation, tandis que l'autre moitié l'a utilisé fréquemment (cf. tableau 5.5). Cette fonctionnalité ne fait donc pas consensus. Selon nous, l'absence de différence aux tests de connaissances est due au fait qu'estimer un prix de vente relève d'une compétence plus générale d'estimation de prix très utilisée dans la vie courante, si bien que les participants maîtrisent probablement déjà cette compétence. Leurs scores pour cette compétence sont d'ailleurs relativement élevés (28/45 en moyenne pour les pré et post-tests). Il est également possible que notre test de connaissances ne soit pas suffisamment précis pour mesurer le développement des connaissances associées à cette compétence.

Au sujet des connaissances associées à la Compétence 3 « Gérer et conclure la vente de la propriété », nous pouvons voir dans les tableaux 5.5 et 5.6 que certains participants ont indiqué dans le questionnaire avoir compris l'importance de maintenir leurs propriétés visibles en faisant régulièrement de la publicité (stratégie), l'importance de surveiller et de ne pas rater les visites et les offres d'achat (tactique), de même que l'importance de refuser les offres d'achats trop basses afin de satisfaire le Vendeur (stratégie).

De manière qualitative, nous pouvons également affirmer sur la base des résultats obtenus aux tests de connaissances que la moitié des participants ont découvert en cours de partie l'importance que pouvait avoir l'état du marché dans le JSÉ de simulation (effet du contexte) et donc que le ratio nombre d'acheteurs / nombre de propriétés en vente pouvait influencer le choix de contrat de courtage et l'estimation du prix de vente. Ce facteur n'a cependant pas été reporté comme une stratégie de fixation de prix ou de choix de courtage (p. ex. fixer un prix plus élevé lorsque le marché est en faveur des Vendeur) par les participants dans le questionnaire.

Enfin, *Game of Homes* est globalement perçu comme un JSÉ de simulation favorisant le développement des compétences de base relatives au métier de courtier immobilier. Quelques participants mentionnent également la capacité du JSÉ de simulation à entrainer le JA à modifier ses stratégies en fonction des différents facteurs qui interviennent dans la simulation.

Engagement dans *Game of Homes*

Les données colligées du questionnaire de motivation et d'engagement nous apprennent que globalement, les participants se sont sentis motivés et engagés lors de la partie. Un seul score est en dessous de 4/7, à savoir celui portant sur la tension/pression ressentie en jouant. Globalement, les participants ne se sont pas sentis stressés par leur session de jeu.

Tous les autres scores sont au-dessus de 4/7. Dans *Game of Homes*, les objectifs du JSÉ de simulation sont perçus comme clairs, la difficulté semble varier, le JSÉ de simulation semble s'adapter et les participants ont une bonne estime d'eux-mêmes après avoir joué. Ils se sont sentis curieux d'explorer l'environnement de jeu. Ils ont eu l'impression d'avoir le contrôle sur le JSÉ de simulation et que les rétroactions étaient pertinentes. Enfin, ils se sont sentis immergés, concentrés et peu distraits, et ont en moyenne eu l'impression de jouer une heure environ (au lieu de 90 minutes réellement).

Au niveau de la sensation d'adaptabilité, les participants ont globalement perçu que le contenu du JSÉ de simulation s'adaptait. La plupart ont effectivement mentionné dans le questionnaire que le nombre d'acheteurs, de propriétés mises en vente, et de courtiers adversaires (PNJ) variait, si bien que certaines périodes de jeu leur paraissaient plus difficiles (p. ex. lorsqu'il y avait moins d'acheteurs).

5.3 Expérimentation 2

5.3.1 Contexte et objectifs de l'expérimentation 2

Cette deuxième expérimentation se focalise cette fois sur l'analyse des traces dans *Game of Homes* et ses objectifs principaux étaient de démontrer que :

1. notre architecture de génération automatique de SPJ, en particulier le module d'adaptation, permet de présenter des SPJ originaux et uniques, adaptés à la progression de l'apprentissage.
2. le module de traces de notre architecture permet d'analyser les SPJ générés et d'obtenir une évaluation précise de l'apprentissage tout en rendant compte de son évolution au cours de partie.

5.3.2 Design de l'expérimentation 2 et hypothèses

L'expérimentation 2 fut conduite afin de répondre à notre deuxième hypothèse de recherche H2 :

> Les SPJ générés par le module d'adaptation de notre architecture de génération automatique sont adaptés et propres pour chacun des JA. Les SPJ générés sont analysables grâce au module de traces de notre architecture et rendent compte de l'évolution de l'apprentissage des JA.

L'expérimentation 2 se base sur un plan de recherche expérimental à groupes indépendants. Les participants ont été aléatoirement assignés à deux groupes qui ont

joué à deux versions différentes de *Game of Homes* : la version fonctionnant avec notre architecture de génération automatique de SPJ décrite dans le chapitre 4, et une version dont les SPJ sont scriptés et donc préalablement codés dans le JSÉ de simulation. La version « SPJ scriptés » de *Game of Homes* nous permettait de comparer les SPJ générés par la version « SPJ adaptés » et de rendre compte de leur originalité. Tous les participants, peu importe leur version du JSÉ de simulation, ont joué à *Game of Homes* pendant 80 minutes.

Les analyses des données colligées lors de cette expérimentation 2 sont de nature qualitative. Nous avons formulé les hypothèses de recherche suivantes :

- H2a : Les SPJ adaptés issus des traces sont propres pour chaque JA et sont adaptés à la progression de l'apprentissage du JA et sont donc différents des SPJ scriptés.
- H2b : Les traces, peu importe la version du JSÉ de simulation, permettent de rendre compte de la progression de l'apprentissage du JA, et plus particulièrement du développement des trois compétences ciblées dans le JSÉ de simulation, des stratégies liées aux compétences et des tactiques de jeu.

5.3.3 Participants et procédure

Dix-huit participants ont participé à l'expérimentation 2; ils ont été recrutés au sein du campus universitaire par le biais d'annonces. Les participants avaient entre 18 et 40 ans. L'échantillon se composait de 10 femmes et de 8 hommes. Tous les participants ont reçu une compensation de 20 $ pour leur participation. Le seul critère d'exclusion était de nous assurer que les participants n'étaient pas déjà propriétaires d'un bien immobilier à Montréal, afin d'éviter que leurs connaissances en terme de transactions immobilières ne biaisent les performances dans le jeu et le développement des compétences dans le jeu.

L'expérimentation 2 s'est déroulée durant une seule session de 3 heures, dans une salle de cours équipée d'ordinateurs. Les participants ont reçu au préalable le formulaire de consentement par courriel qu'ils ont lu, signé et retourné par courriel; ce formulaire est présenté dans l'appendice B.

Les participants ont joué à *Game of Homes* pendant approximativement 80 minutes sur des ordinateurs équipés de Windows et sur écran de 24 pouces. Au début de la session, l'expérimentateur expliquait oralement les instructions de base du JSÉ de simulation tout en faisant une brève démonstration sur grand écran. Après la partie, un *debriefing* de l'expérimentation était proposé aux participants afin de présenter les objectifs de la recherche et répondre aux questions des participants.

La taille originale de l'échantillon pour cette première expérimentation était de vingt participants. Néanmoins, un des participants était novice dans l'utilisation d'un ordinateur, et la partie d'un autre participant a été interrompue prématurément dû à une anomalie de fonctionnement de *Game of Homes*. Les données de ces deux participants n'ont donc pas été prises en compte dans les analyses de la deuxième expérimentation.

5.3.4 Résultats

Nous présentons d'abord les résultats des analyses qualitatives quant aux différences qualitatives entre les traces des versions scriptée et adaptée de *Game of Homes*, puis l'apport de l'analyse qualitative des traces. Ces résultats ont été présentés à la conférence *European Conference on Games Based Learning (ECGLB)* (Callies *et al*., 2016).

Différences qualitatives entre les traces des versions scriptée et adaptée de *Game of Homes*

Afin de répondre à notre hypothèse spécifique H2a (Les SPJ adaptés issus des traces sont propres pour chaque JA et sont adaptés à la progression de l'apprentissage du JA et sont donc différents des SPJ scriptés), nous avons analysé les *logs* enregistrés du JSÉ de simulation, qui sont issus du modèle de traces de notre architecture. Ces *logs* sont composés de toutes les données relatives au JSÉ de simulation en général, et en particulier des paramètres de la simulation en temps réel et des actions enregistrées du JA. On peut notamment lire dans ces *logs* les actions du plan pédagogique généré ou les actions activées du scénario scripté. Le tableau 5.8 présente la synthèse des SPJ contenus dans le module de traces, pour les deux versions du jeu. Le premier mois de jeu (janvier 2016) n'est pas représenté, car le système de JSÉ de simulation présente pour ce mois l'action par défaut telle que décrite dans le chapitre 4 (pour le détail des autres actions, voir le tableau 4.3). Nous rappelons ici qu'un mois de jeu représente la durée d'une action du plan pédagogique. Le détail des *logs* est présenté dans l'appendice E. Les participants 1, 12 et 14 ont été omis des analyses, dû à un problème d'enregistrement des *logs*.

Tableau 5.8 Synthèse du contenu des scénarios pédagogiques de jeu dans les deux versions (scriptée et adaptée) de *Game of Homes* (N=15)

No participant	Version SPJ du jeu	Date dans la simulation	Nb de jours joués	Progression des compétences		Nb d'aides générées	Nb d'actions du premier plan pédagogique généré	Nb de plans supplémentaires recalculés (nb d'actions dans le plan)
				p(C1)	p(C2)			
2	adaptés	février	38	0,60	0,52	3	4	N/A
3	scriptés	février	60	0,99	0,50	6	N/A	N/A
		mars		0,99	0,99	4	N/A	N/A
4	adaptés	février	68	0,47	0,17	1	8	0
		mars		0,83	0,26	6	N/A	N/A
5	scriptés	février	79	0,74	0,28	6	N/A	N/A
		mars		0,96	0,61	6	N/A	N/A
6	adaptés	février	89	0,86	0,20	1	4	0
		mars		0,83	0,26	7	N/A	N/A
7	scriptés	février	98	0,87	0,15	5	N/A	N/A
		mars		0,94	0,31	4	N/A	N/A
		avril		0,99	0,28	4	N/A	N/A
8	adaptés	février	35	0,99	0,57	4	2	N/A
9	scriptés	février	175	0,98	0,18	3	N/A	N/A
		mars		0,98	0,31	4	N/A	N/A
		avril		0,99	0,55	4	N/A	N/A
		mai		0,99	0,50	N/A	N/A	N/A

		juin		0,99	0,47	N/A	N/A	N/A
10	adaptés	février	62	0,68	0,17	1	6	1 (4 actions)
		mars		0,97	0,29	4	N/A	N/A
11	scriptés	février	81	0,99	0,90	4	N/A	N/A
		mars		0,99	0,98	4	N/A	N/A
13	adaptés	février	41	0,79	0,47	0	3	N/A
15	scriptés	février	134	0,96	0,33	4	N/A	N/A
		mars		0,99	0,77	5	N/A	N/A
		avril		0,99	0,96	6	N/A	N/A
		mai		0,99	0,98	N/A	N/A	N/A
16	adaptés	février	139	0,79	0,43	0	2	1 (2 actions)
		mars		0,88	0,60	5	N/A	1 (1 action)
		avril		0,99	0,73	1	N/A	N/A
		mai		0,99	0,92	N/A	N/A	N/A
18	scriptés	février	70	0,86	0,20	0	N/A	N/A
		mars		0,98	0,60	N/A	N/A	N/A
17	adaptés	février	77	0,60	0,20	1	5	0
		mars		0,74	0,26	N/A	N/A	N/A

Afin de faciliter la lecture des résultats, la figure 5.3 représente l'évolution, pour chacun des 15 participants, de la probabilité calculée par le RB de notre architecture pour la Compétence 1 : « Sélectionner et obtenir les contrats de courtage auprès du Vendeur » (en haut) et la Compétence 2 « Estimer le prix de vente des propriétés à vendre dans le jeu » (en bas), pour les deux versions du JSÉ de simulation: SPJ scriptés (en rouge) et SPJ adaptés (en bleu).

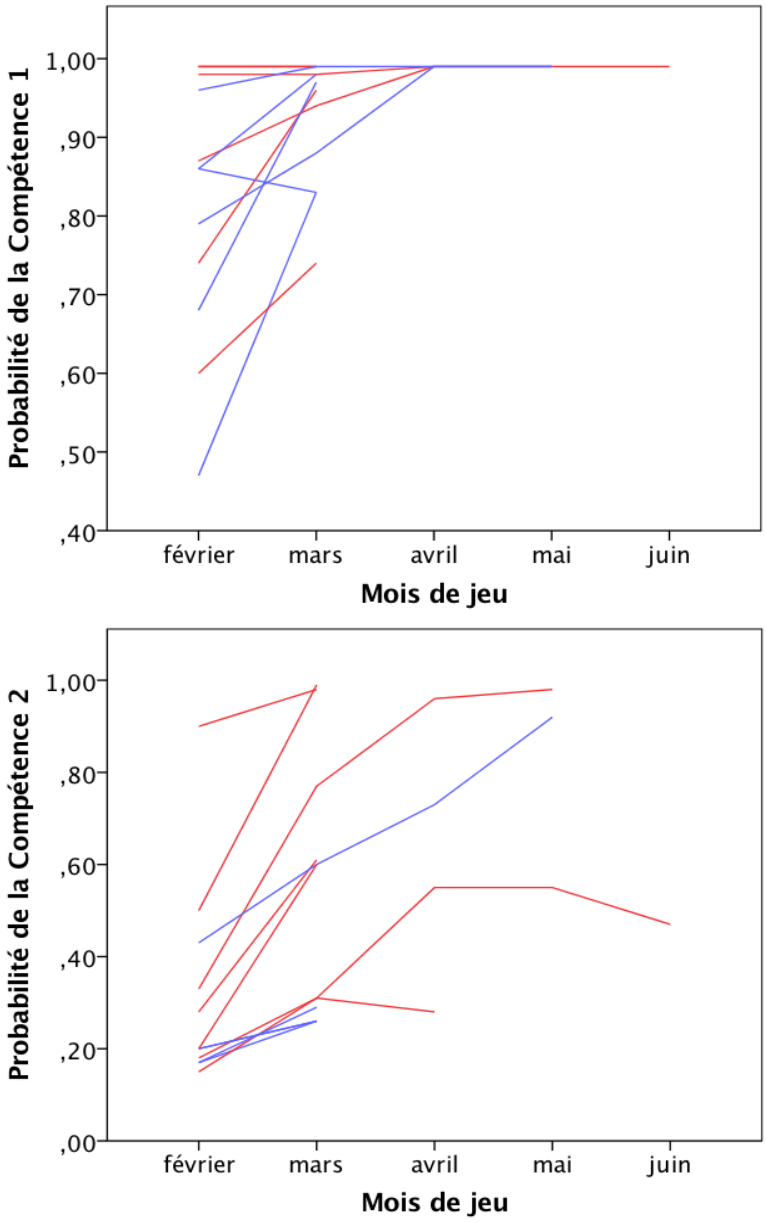


Figure 5.3 Évolution des probabilités d'acquisition des compétences calculées par le réseau bayésien en fonction des mois simulés de jeu pour les deux versions du JSÉ de simulation: SPJ scriptés (en rouge) et SPJ adaptés (en bleu) (N=15)

Nous avons également représenté graphiquement dans la figure 5.4 le nombre d'aides qui se sont affichées durant chacune des parties pour les deux versions du JSÉ de simulation: SPJ scriptés (en rouge) et SPJ adaptés (en bleu).

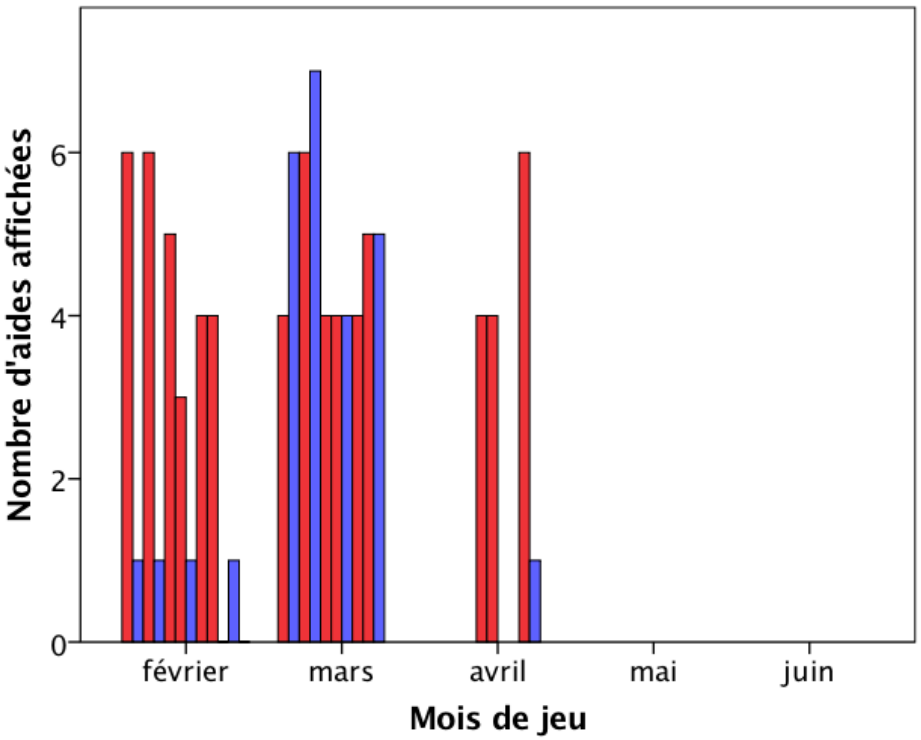


Figure 5.4 Nombre d'aides affichées pour chaque participant et en fonction du mois simulé de jeu pour les deux versions du JSÉ de simulation: SPJ scriptés (en rouge) et SPJ adaptés (en bleu) (N=15)

Il est important de mentionner ici que les analyses des traces ne peuvent être faites que de manière qualitative (i.e. de manière descriptive, sans analyses statistiques). En effet, si les participants ont tous joué environ 80 minutes, le temps passé dans la simulation varie d'un participant à l'autre (cf tableau 5.8 pour voir le nombre de jours de simulation joués). Ainsi, certains participants ont joué durant les mois de janvier et de février 2016, tandis que d'autres ont joué jusqu'au mois de juin 2016. Or, nous avons expliqué dans le chapitre 4 que les actions scriptées et les actions générées par

le planificateur avaient une durée d'un mois de jeu. Les participants dont la simulation dure plus longtemps ont donc à la fin de la partie un SPJ plus long, plus complet et plus représentatif de leur progression d'apprentissage dans le jeu. Comme le montre le tableau 5.8, seulement trois parties ont été jouées pendant cinq mois et plus (participants 9, 15, et 16).

Nous proposons ainsi, à titre indicatif, de présenter dans le tableau 5.9 les deux plus longs SPJ issus des deux versions du JSÉ de simulation. Le premier est issu des *logs* du participant No 9, qui a joué à la version « SPJ scriptés », et le deuxième est issu des *logs* du participant No 16, qui a joué à la version « SPJ adaptés ».

Tableau 5.9 Exemples de deux SPJ issus des deux versions de *Game of Homes*

Version SPJ scriptés	Version SPJ adaptés
No9 **1er février 2016 : p(C1)=0,98 et p(C2)=0,18** **Action 2 du script exécutée** **Aides :** - **aides sur les stratégies de l'état du marché, de sous et sur estimation, sur les comparables** **1er mars 2016 : p(C1)=0,98 et p(C2)=0,31** **Action 3 du script exécutée** **Aides :** - **aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation, sur les comparables** **1er avril 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,55** **Action 4 du script exécutée** **Aides :** - **aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation** - **aides sur la tactique de ne pas rater de visites** **1er mai 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,50**	**No 16** **1er février 2016 : p(C1)=0,79 et p(C2)=0,43** **Actions du plan pédagogique généré :** **« PrixAvancé »** **« GestionVente »** **Aides :** - **Aucune aide n'a été générée** **1er mars 2016 : p(C1)=0,88 et p(C2)=0,60** **Actions du plan pédagogique généré à nouveau :** **« PrixAvancé »** **« SituationCrise »** **Aides :** - **aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation** - **aides sur la tactique de ne pas rater de visites et de ne prendre trop de contrats** **1er avril 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,73**

Action 5 du script exécutée - **Aucune aide ne peut être exécutée dans cette action.** **1er juin 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,47** **Action 6 du script exécutée** - **Aucune aide ne peut être exécutée dans cette action.** ***Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 175***	**Actions du plan pédagogique généré à nouveau :** **« PrixExpert »** **Aides :** - **aides sur les stratégies de comparables** **1er mai 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,92** **Apprentissage atteint.** ***Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 139***

(Légende : en vert, date dans la simulation à laquelle le module de contrôle interroge le RB; en rouge, plan pédagogique généré ou action scripte activée; en bleu : aides sur les stratégies et les tactiques générées. Abréviations : No = numéro de participant; « ContratAvancé » = Action 3 Enseigner selon un niveau avancé la Compétence 1 « Sélectionner un contrat de courtage pertinent »; « ContratExpert » = Action 5 Enseigner selon un niveau expert la Compétence 1 « Sélectionner un contrat de courtage pertinent »; « PrixBases » = Action 2 Enseigner les bases de la Compétence 2 « Estimer le prix de vente de la propriété ».; « PrixAvancé » = Action 4 Enseigner selon un niveau avancé la Compétence 2 « Estimer le prix de vente de la propriété ».; « PrixExpert » = Action 6 Enseigner selon un niveau expert la Compétence 2 « Estimer le prix de vente de la propriété ».; « GestionVente » = Action 7 Vérifier le développement de la Compétence 1 et de la Compétence 2 dans la compréhension du processus de vente et la gestion de plusieurs contrats; « SituationCrise » = Action 8 Vérifier le développement de la Compétence 1 et de la Compétence 2 dans un contexte particulier de crise (rareté du marché).)

Apport de l'analyse qualitative des traces

Afin de répondre à notre hypothèse spécifique H2b (les traces, peu importe la version du JSÉ de simulation, permettent de rendre compte de la progression de l'apprentissage du JA, et plus particulièrement du développement des trois compétences ciblées dans le JSÉ de simulation, des stratégies liées aux compétences et des tactiques de jeu), nous avons conçu un programme capable de lire les données des *logs* du JSÉ de simulation. Ce programme permet d'obtenir des données précises quant à la progression des compétences et les stratégies à découvrir dans le JSÉ de simulation. Plus particulièrement, notre programme de lecture des traces permet d'analyser de manière qualitative, d'une part, la Compétence 3 qui n'était pas estimée

dans le RB « Gérer et conclure la vente de la propriété », et, d'autre part, la découverte et l'exécution des stratégies relatives aux trois compétences (cf. tableau 4.2). Dans cette section, nous avons choisi de présenter les données qualitatives de deux participants, le No 9 et le No 16, ayant respectivement joué à la version scriptée et la version adaptée de *Game of Homes*. Nous les avons choisis car leur partie ont toutes les deux été les plus longues dans le temps du jeu (respectivement, 175 et 139 jours de jeu), et ils représentent une partie complète du point de vue du développement des compétences.

Au sujet des stratégies relatives à la Compétence 1, notre programme nous permet d'évaluer si le JA a respecté un territoire (i.e. a sélectionné des contrats proches des uns des autres) et s'il a tenu compte des exigences des Vendeurs dans son choix de contrat de courtage (i.e. a évité les contrats dont le prix prêt à accepter des Vendeurs est sur-estimé). Le programme permet ainsi de visualiser, sur la carte de Montréal, l'étendue des territoires des JA. À titre d'exemple, la figure 5.5 montre, à la fin de la partie, l'étendue des territoires des participants 9 (en haut) et 16 (en bas). Les points représentent les contrats sélectionnés par le JA (en rose : les contrats choisis et obtenus, en noir : les contrats choisis mais finalement obtenus par un autre courtier PNJ).

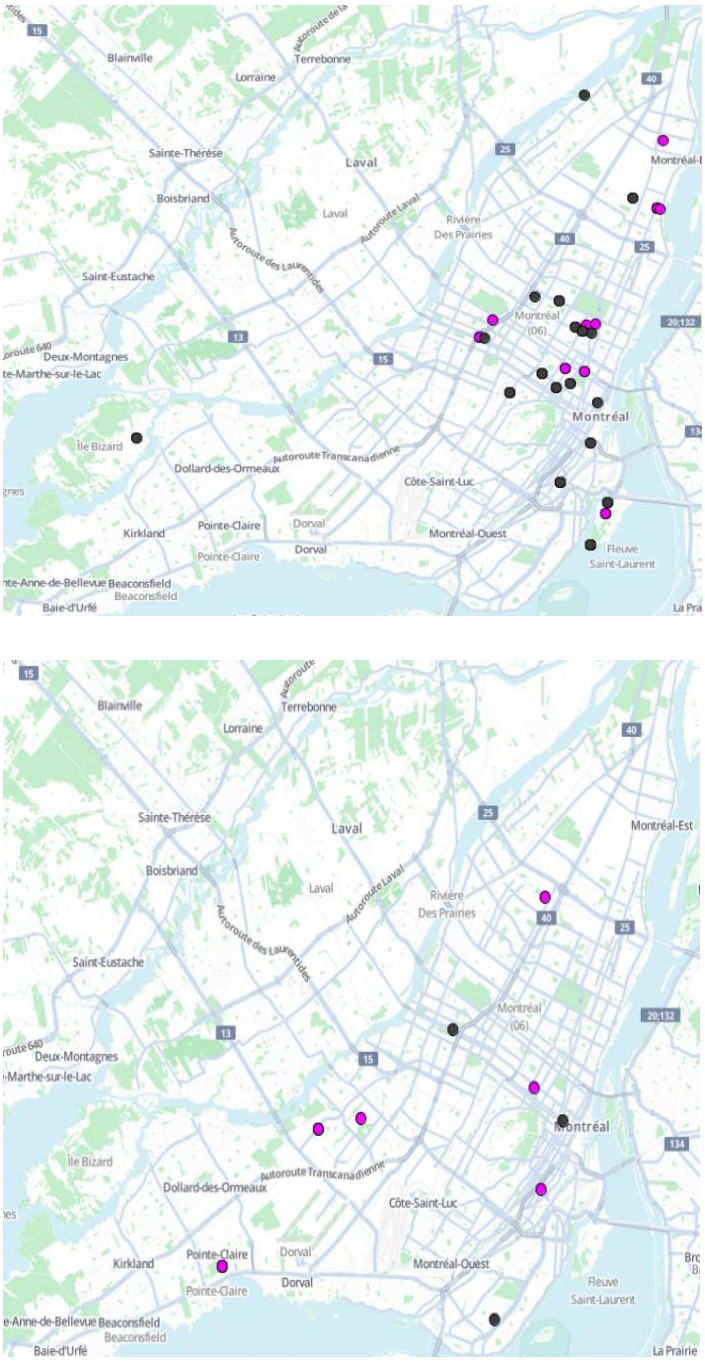


Figure 5.5 **Territoires des participants 9 et 16 à la fin de la partie de *Game of Homes***

Ces images montrent que le participant 9 a sélectionné des contrats dans un territoire plutôt localisé dans le centre-ville, tandis que le participant 16 a choisi d'étendre sa zone de sélection de contrats à toute la carte de Montréal.

Le programme permet également de savoir, pour chaque contrat choisi par le JA et accepté par le Vendeur, quel était le niveau d'exigence du Vendeur en terme du prix qu'il était prêt à accepter (sous-estime le prix, estime le prix de manière correcte, ou sur-estime le prix). Nous avons en effet accès au nombre total de contrats obtenus, et, parmi ces contrats, ceux dont les Vendeurs étaient peu exigeants ou neutres. Nous avons alors calculé un taux de « réussite » quant à cette stratégie. À titre d'exemple :

- le participant No 9 (version scriptée du JSÉ de simulation) a obtenu au total 10 contrats, et parmi eux, 9 étaient proposés par des Vendeurs peu exigeants ou neutres, ce qui lui confère un taux de « réussite » de la stratégie de 90 %
- le participant No 16 (version adaptée du JSÉ de simulation) a obtenu au total 10 contrats, et parmi eux, 9 étaient proposés par des Vendeurs peu exigeants ou neutres, ce qui lui confère également un taux de « réussite » de la stratégie de 90 %.

Au sujet de la Compétence 3 et des stratégies liées à cette compétence, le programme nous permet d'évaluer de manière qualitative les JA sur leur gestion de la vente. Nous avons notamment accès à un score moyen de visibilité, qui représente le pourcentage de visibilité maintenue sur les propriétés grâce à la publicité. À titre d'exemple, ce pourcentage est de 48,7 % pour le participant No 9 (version scriptée du JSÉ de simulation), et 59,9 % pour le participant No16 (version adaptée du JSÉ de simulation). Enfin, notre programme nous donne accès au nombre total de visites et d'offres d'achat demandées par les Acheteurs, et au nombre total de visites et d'offres d'achats qui ont été manquées par le JA (i.e. le JA ne se rend pas à temps sur la propriété pour la faire visiter ou pour répondre à l'offre d'achat). Ces données nous

permettent de calculer un taux de « réussite » quant aux tactiques de jeu des suivis des visites et des offres d'achat. À titre d'exemple :

- le participant No 9 (version scriptée du JSÉ de simulation) a reçu au total 72 demandes de visites, et en a manqué 59, ce qui lui confère un taux de « réussite » de la tactique « visites » de 18 %. De plus, il a reçu au total 5 offres d'achat, et en a manqué 0, ce qui lui confère un taux de « réussite » de la tactique « offres d'achat » de 100 %.
- le participant No 16 (version adaptée du JSÉ de simulation) a reçu au total 33 demandes de visites, et en a manqué 23, ce qui lui confère un taux de « réussite » de la tactique « visites » de 30 %. De plus, il a reçu au total 11 offres d'achat, et en a manqué 3, ce qui lui confère un taux de « réussite » de la tactique « offres d'achat » de 73 %.

Enfin, notre programme nous permet d'obtenir, pour tous les participants, un graphique de progression des deux principaux scores de notre JSÉ de simulation, à savoir le montant en argent et le facteur de réputation en tant que courtier. Nous les présentons dans les figures 5.6 et 5.7. Nous pouvons constater que, si les participants parviennent à gagner de l'argent de manière relativement progressive dans *Game of Homes*, maintenir leur facteur de réputation élevé est plus ardu. Le facteur de réputation a en effet tendance à diminuer en milieu de partie.

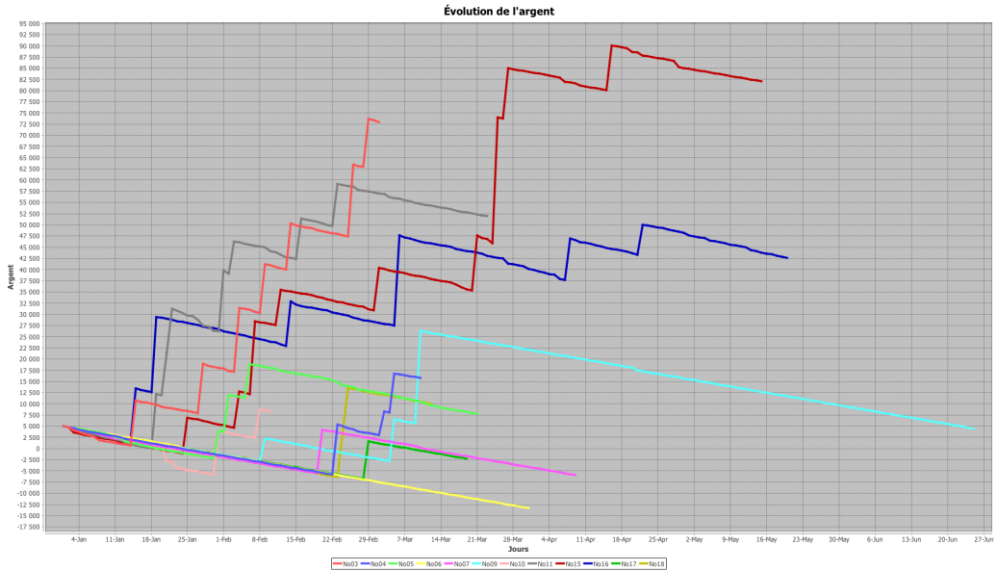


Figure 5.6 Graphique de progression de l'argent gagné dans *Game of Homes* en fonction du temps de jeu simulé

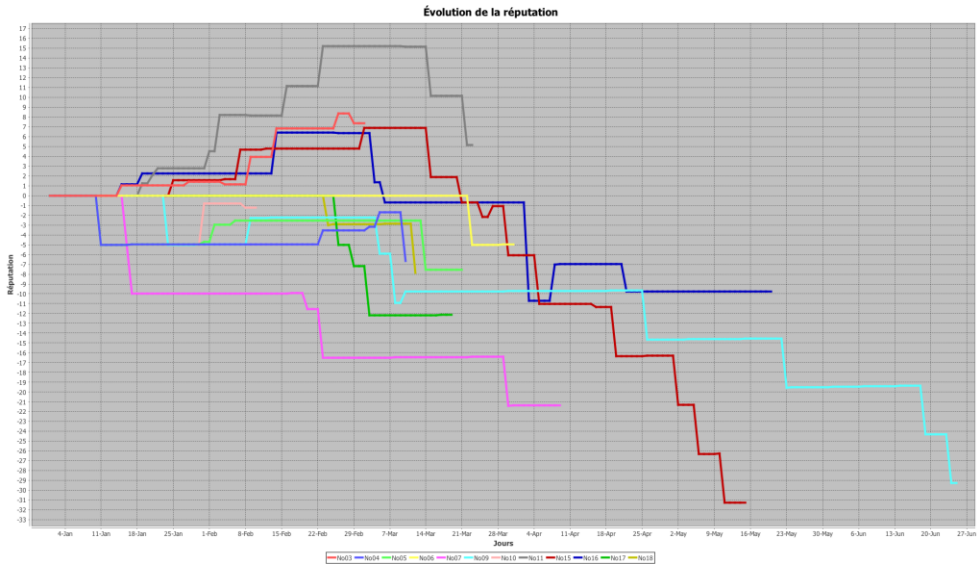


Figure 5.7 Graphique de progression du facteur de réputation dans *Game of Homes* en fonction du temps de jeu simulé

5.3.5 Interprétation des résultats de l'expérimentation 2

Nous interprétons les résultats concernant d'abord l'originalité des SPJ de la version « SPJ adaptés » de *Game of Homes*, puis les résultats concernant l'apport de l'analyse des traces de *Game of Homes*.

Originalité des SPJ de la version « SPJ adaptés » de *Game of Homes*

Les résultats de l'expérimentation 2 sont tributaires du nombre de jours passés dans la simulation pour chacune des parties; il aurait fallu que les parties durent plus longtemps pour pouvoir comparer avec plus d'exactitude les *logs* des deux versions du JSÉ de simulation. Par conséquent, les analyses qualitatives proposées dans cette section sont d'ordre exploratoire, et les résultats ne peuvent pas être représentatifs de l'ensemble des participants de l'expérimentation 2. La figure 5.4 montre néanmoins que le planificateur génère l'affichage des aides de manière plus contrôlée : en moyenne 1 aide affichée en février, et entre 4 et 6 aides affichées en mars. Le détail des SPJ des deux participants présentés dans le tableau 5.9 ajoute des éléments de différences entre les versions :

- le participant No 9 a eu, à partir du 1er février, comme prévu, les actions 2, 3, 4, 5 et 6. Au 1er juin, la Compétence 2 avait une probabilité d'acquisition de 0,47.
- le participant No 12 a eu, à partir du 1er février, un plan pédagogique contenant seulement 2 actions. Au 1er mars, un nouveau plan contenant 2 actions est généré. Au 1er avril, un nouveau plan contenant cette fois une seule action est généré. Enfin, au 1er mai, les deux compétences sont considérées acquises.

Nous pouvons ainsi apprécier le potentiel de notre architecture de génération automatique de scénario. Plutôt qu'une démarche d'apprentissage en 6 actions pour développer en partie les compétences (p(C1)=0,99 et p(C2)=0,47), seulement 2

actions auraient été nécessaires selon le planificateur pour développer l'ensemble des compétences. Finalement, et compte tenu de la progression du JA, une action supplémentaire (3 en tout composant le SPJ) aura été nécessaire pour que les compétences soient acquises de manière complète (p(C1)=0,99 et p(C2)=0,92). Ces résultats laissent entrevoir que notre architecture est a priori capable de générer des SPJ adaptés pour chaque JA, qui devrait potentiellement, sur le long terme (au moins six mois de jeu) être plus rapide et plus efficace. En outre, le Tableau 5.8 montre que le plan pédagogique du participant 4 dont les compétences sont p(C1)=0,47 et p(C2)=0,17 contient 8 actions, alors que le plan pédagogique du participant 16 dont les compétences sont p(C1)=0,79 et p(C2)=0,43 contient seulement 2 actions, ce qui renforce notre hypothèse ciblant l'unicité des SPJ adaptés. Par ailleurs, les résultats suggèrent que le planificateur est capable de s'ajuster en fonction de la vitesse d'apprentissage des JA, et au besoin de recalculer un nouveau plan. Par exemple, le participant 10 avait au début de la partie les compétences p(C1)=0,68 et p(C2)=0,17, ce qui est plutôt faible, donc le premier plan généré était assez complet pour les deux compétences (i.e. « PrixBases », « PrixAvancé », « GestionVente », « ContratExpert », « PrixAvancé », « PrixExpert »). Un mois après, les compétences ont progressé plus efficacement et rapidement que prévu, surtout pour la compétence 1 (p(C1)=0,97 et p(C2)=0,29), si bien que le planificateur décide de générer un nouveau plan se focalisant uniquement sur la Compétence 2 « Estimer le prix de vente des propriétés à vendre dans le jeu » (« PrixBases »; « PrixAvancé »; « PrixAvancé »; « SituationCrise »).

Les résultats montrent enfin que la progression de la Compétence 2 est systématiquement linéaire pour les participants qui ont joué à la version « SPJ adaptés » du JSÉ de simulation (cf. figure 5.3). En revanche, la progression de la Compétence 2 pour la version « SPJ scriptés » est pour la moitié des participants linéaire et, pour l'autre moitié, elle diminue au cours des mois de jeu. Par exemple, le participant No 9 commence la partie avec une probabilité d'acquisition de la

Compétence 2 très basse, et cette dernière augmente sensiblement de l'action 1 à 3. Au terme de l'action 4 (contexte difficile de jeu), la probabilité commence à diminuer, jusqu'à l'action 6 du SPJ qui est sensée être la dernière action du JSÉ de simulation, quand les compétences sont acquises (cf. tableau 5.9). Ces résultats suggèrent que les SPJ scriptés, de par leur rigidité, n'assurent pas de manière certaine la progression de l'apprentissage, dans le cas des participants qui ont joué quatre mois et plus dans une partie de *Game of Homes*.

Apport de l'analyse des traces de *Game of Homes*

Les résultats montrent qu'il est possible de tracer la progression de l'apprentissage dans le JSÉ de simulation. Tout d'abord, les traces nous donnent accès aux estimations du RB quant au développement des compétences 1 et 2. Il est donc possible de suivre leur progression et d'éventuellement constater une progression rapide comparativement à une progression plus lente, voire même éventuellement une régression de ces compétences.

Le tableau 5.8 nous montre que globalement, les probabilités d'acquisition de la Compétence 1 sont plus élevées que celles de la Compétence 2, et ce, dès le mois de février dans le JSÉ de simulation (en moyenne : 0.80 pour la Compétence 1 vs. 0.30 pour la Compétence 2). Selon nous, cela est dû au fait que la Compétence 1 « Sélectionner et obtenir les contrats de courtage auprès du Vendeur » est évaluée fréquemment dès le début de la partie, puisque son évaluation se fait dès que le JA obtient des contrats de courtage. En début de partie, le JA clique en effet sur beaucoup de maisons vertes dans le jeu pour obtenir des contrats de courtage. La compétence 2, quant à elle, est évaluée seulement une fois la vente réussie ou échouée, donc entre 0 et 60 jours dans le jeu (60 jours peuvent représenter jusqu'à 20 min de jeu selon la vitesse du jeu). Sa progression est donc plus lente, et c'est

pourquoi les probabilités d'acquisition de cette compétence sont plus faibles en début de partie.

L'analyse des traces nous fournit également des données complémentaires quant aux stratégies et aux tactiques utilisées dans le jeu, grâce au programme que nous avons conçu lors de la phase de conception du JSÉ de simulation. Ces données nous permettent de compléter l'évaluation du JA et de vérifier qu'il a bien utilisé ces stratégies.

Enfin, les données sur les scores nous permettent d'évaluer de manière globale la difficulté du JSÉ de simulation: s'il est relativement facile de gagner de l'argent dans *Game of Homes*, il est beaucoup plus ardu de maintenir une bonne réputation en tant que courtier immobilier.

CHAPITRE VI

DISCUSSION ET CONCLUSION

Dans les jeux sérieux éducatifs (JSÉ), l'apprentissage se fait dans un environnement dynamique où le joueur-apprenant (JA) devient un médiateur qui agit et interagit avec cet environnement. Le JA doit pouvoir y manipuler des actions dont les conséquences sur l'environnement ont un sens et découvrir par lui-même les règles complexes qui régissent cet environnement (Lavergne-Boudier et Dambach, 2010), sans être interrompu pour être évalué (Shute, 2011), mais le suivi de son apprentissage doit bien avoir lieu. Il doit également être confronté à plusieurs contextes d'apprentissage et sélectionner les stratégies les plus pertinentes selon ces contextes (Kiili *et al*., 2014). Si les avantages des JSÉ semblent évidents au plan pédagogique, ils restent pourtant peu utilisés en enseignement (Westera *et al*., 2008), notamment dû aux manques de preuves empiriques de leur apport à l'apprentissage (de Freitas et Jarvis, 2007; Sauvé et Kaufman, 2010; Wouters *et al*., 2013). Chen et Michael (2005) soulignent l'importance de l'évaluation de l'apprentissage au sein des JSÉ mais aussi en dehors des JSÉ: le pédagogue devrait avoir la certitude que le JA, une fois la session de jeu terminée, a bien développé les connaissances et compétences ciblées dans le jeu et non seulement maîtrisé le *gameplay* du jeu (Squire, 2005).

Notre architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques de jeu (SPJ), dans les JSÉ de simulation, offre selon nous des réponses concrètes à ces exigences. Nous présentons dans ce dernier chapitre les apports de notre modèle du JA et des modules d'adaptation et de contrôle dans l'amélioration des compétences, ainsi que

les apports de notre module de traces, dans le suivi de cette amélioration qui s'adresse aux pédagogues. Nous soulignons les limites de notre architecture et analysons les difficultés méthodologiques que nous avons rencontrées. Nous discutons également du rôle des JSÉ comme outil de recherche, ainsi que de la contribution de cette thèse dans l'élaboration future d'une méthodologie de design des JSÉ.

6.1 Apport de notre architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques de jeu à l'apprentissage et au maintien de l'engagement dans la démarche d'apprentissage

Dans cette section, nous présentons dans un premier temps les apports du modèle du JA et des modules d'adaptation et de contrôle de notre architecture, puis, dans un second temps, l'apport du module de traces. Enfin, nous expliquons en quoi notre architecture comporte des limites et offrons des pistes de solutions pour de futures recherches.

6.1.1 Apport du modèle du joueur-apprenant et des modules d'adaptation et de contrôle mis en œuvre dans notre architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques de jeu

L'évaluation empirique effectuée grâce à des pré et post-tests de connaissances a laissé entrevoir que notre architecture permettait aux JA d'améliorer les connaissances associées à la Compétence 1 « Sélectionner et obtenir les contrats de courtage auprès du Vendeur » ciblée dans le JSÉ une fois qu'ils ont joué au JSÉ de simulation. Cette amélioration nous montre que, d'une part, le réseau bayésien (RB) de notre architecture a évalué de manière efficace cette compétence, et, d'autre part, que les modules d'adaptation et de contrôle ont été capables de générer un SPJ adapté à la progression de cette connaissance. Parmi les quelques recherches qui ont abordé la génération automatique de scénarios dans les JSÉ, aucune n'a utilisé, à notre connaissance, la technique de la planification couplée à celle des RB. Nos résultats

laissent penser que notre architecture composée du modèle du JA, du module d'adaptation et du module de contrôle peut favoriser cette amélioration des apprentissages une fois la partie terminée. Le fait de séparer le module de contrôle du module d'adaptation permet de générer les SPJ de manière plus flexible et plus précise, tout en contrôlant que le JA maîtrise les fonctionnalités du JSÉ de simulation. D'autres expérimentations seraient requises pour vérifier l'efficacité de notre architecture à favoriser l'apprentissage, notamment en la comparant à un autre JSÉ enseignant des compétences similaires dans le domaine de la vente immobilière dont l'architecture serait différente, ou encore avec une autre stratégie pédagogique comme un cours en ligne ou en classe.

Il serait également intéressant, au sein même de notre architecture, de comparer l'apprentissage (avec pré et post tests de connaissances) réalisé entre les versions scriptées et adaptées de notre JSÉ de simulation. L'hypothèse de recherche pourrait être formulée ainsi : les scénarios émergents ou automatiquement générés sont plus efficaces que des scénarios scriptés en termes d'apprentissage, et assurent un apprentissage du domaine plus rapide. Pour réaliser une telle étude, il faudrait effectuer la comparaison avec davantage de participants et avec un temps de JSÉ de simulation similaire.

Par ailleurs, les modules d'adaptation et de contrôle de notre architecture ont généré des aides au moment opportun, ce qui pourrait favoriser la découverte pendant la partie des stratégies à exécuter pour atteindre les objectifs et permettre ainsi de développer une flexibilité stratégique. Les JA ont, pour certains, découvert l'effet du contexte (représenté notamment par l'état du marché, les exigences du vendeur et la concurrence représentée par les autres courtiers PNJ) et de son influence sur l'exécution des stratégies. À notre connaissance, il n'existe aucune étude se focalisant sur l'évaluation de la découverte et de l'exécution des stratégies liées aux connaissances dans les JSÉ; nous soutenons que la méthodologie utilisée dans notre

recherche offre une première contribution, et qu'avec certaines améliorations, le dispositif d'évaluation développé devrait permettre d'approfondir cette problématique. En outre, l'originalité de notre simulation dans notre JSÉ réside dans la capacité de cette dernière à modifier ses paramètres et à présenter ainsi différents contextes au JA pouvant ainsi susciter la découverte de nouvelles stratégies liées aux connaissances.

Enfin, les réponses fournies par les participants à notre questionnaire de motivation et d'engagement suggèrent que ceux-ci se sentaient engagés et motivés à jouer à *Game of Homes*, notamment grâce au *challenge* induit par la rétroaction pertinente donnée au moment le plus pertinent ainsi qu'à la concurrence des courtiers PNJ. Les modules d'adaptation et de contrôle ont vraisemblablement été capables de modifier les comportements des PNJ en fonction de déroulement de l'apprentissage des JA afin de proposer un *challenge* correspondant à leur niveau dans le JSÉ de simulation. Nous avions stipulé que l'enjeu était surtout d'éviter que le JA s'ennuie dans le JSÉ de simulation et reste donc concentré, l'impact de l'ennui étant jugé comme le plus négatif dans une expérience de JSÉ (Baker *et al*., 2010). Nos données qualitatives suggèrent que notre architecture a permis aux JA de rester concentrés tout le long de la partie, la concentration ressentie ayant obtenue le meilleur score parmi les composantes de notre questionnaire de motivation et d'engagement.

6.1.2 Apport du module de traces de notre architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques de jeu

Selon nous, le module de traces a une importance à la fois capitale et complémentaire par rapport aux autres modules de notre architecture de génération automatique de SPJ. Tout d'abord, le module de traces permet, à la fin de chaque partie, de pouvoir extraire et lire le contenu en tant que tel du SPJ. En effet, si le module d'adaptation propose un plan pédagogique, celui-ci peut être modifié en cours de partie selon la vitesse de la progression d'apprentissage. Le plan pédagogique est donc une prévision

et non la réalisation du scénario. Pour avoir le contenu exact et complet du SPJ, le pédagogue doit consulter a posteriori le module de traces. Notre évaluation empirique a suggéré que le SPJ automatiquement généré était unique et original pour chaque JA. Le module d'adaptation est notamment capable de proposer des actions de jeu dans un contexte facile lorsque le JA est en début d'apprentissage ou en difficulté, ou des actions de jeu dans un contexte difficile lorsque le JA maîtrise une compétence, et ce, peu importe à quel moment de la partie. Notre architecture permet donc une adaptation en temps réel, même lorsque le JA maîtrise très rapidement une compétence dans le JSÉ de simulation. Le fait que le SPJ soit unique lui donne une valeur pédagogique essentielle par rapport à des SPJ déterminés à l'avance : d'une part, le pédagogue n'aurait peut-être pas envisagé cette séquence d'événements d'apprentissage, et, d'autre part, le pédagogue ne peut pas prévoir à l'avance à quelle vitesse et avec quel niveau d'engagement le JA progressera dans l'environnement d'apprentissage. Néanmoins, ces conclusions sont à nuancer, puisque les traces de nos participants n'ont pas pu être toutes comparées de manière quantitative, dû à une variabilité trop grande des durées des sessions de *Game of Homes*. Afin d'appuyer les résultats exploratoires présentés de deux participants, il faudrait imposer une vitesse minimum de jeu plus élevée pour tous les participants, afin de s'assurer qu'ils jouent pour une durée de six mois environ ou plus.

Si notre test de connaissances n'a pas révélé de différences de performance entre le pré-test et le post-test pour la Compétence 2 « Estimer le prix de vente de la propriété », l'analyse des traces nous a quant à elle permis de visualiser le développement de cette compétence tout au long de la partie. Il semblerait donc que notre test de connaissances n'était pas assez précis pour cette compétence. Dans ce cas-ci, les traces nous ont permis d'explorer de manière plus fine le développement d'une compétence en particulier.

De plus, le module de traces permet d'observer avec précision l'évolution des compétences évaluées par le RB, dont les probabilités de développement, de manière générale, augmentent avec le temps. Les *logs* montrent cependant que, pour certains participants, ces probabilités diminuent en cours de partie. Les traces permettent ainsi au pédagogue de cibler à la fois les moments dans le JSÉ de simulation et les composantes précises des compétences pour lesquelles les JA éprouvent davantage de difficulté.

Enfin, le module de traces permet de visualiser la progression du développement des connaissances liées aux compétences dans le JSÉ de simulation, même si elles ne sont pas forcément évaluées par le RB. C'est le cas de la Compétence 3 « Gérer et conclure la vente de la propriété ». Grâce au programme créé dans notre laboratoire, nous avons pu « tracer » la progression en cours de partie du développement de cette compétence, ce qui ajoute une valeur supplémentaire au module de traces.

Parmi les nombreuses études qui présentent des architectures de JSÉ, quelques-unes seulement soutiennent l'importance d'un module de traces (Gervás, 2014; Westera *et al*., 2014). Dans le cas de SPJ générés, l'ajout du module de traces nous paraît pourtant indispensable, afin de pouvoir analyser chaque SPJ unique. L'originalité de notre étude réside aussi dans l'élaboration d'un outil sous la forme d'un programme nous permettant d'analyser visuellement les stratégies utilisées par les JA.

6.1.3 Limites de notre architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques de jeu et recommandations pour de futures recherches

À cause des contraintes de temps et de coût dont nous disposions, notre architecture de génération automatique de SPJ n'a été évaluée que pour deux compétences clés du domaine d'un domaine de connaissances, formant une seule unité d'apprentissage, dont le temps de jeu était de deux heures environ. Nous supposons néanmoins que notre architecture devrait pouvoir s'implémenter dans des JSÉ de simulation intégrant

un réseau plus étendu d'évènements d'apprentissage (d'une durée minimale de 10 heures de jeu), et la planification utilisée dans notre architecture gagnerait ainsi en valeur puisqu'il y aurait une réelle problématique d'ordonnancement des actions de jeu. Pour le savoir avec certitude, il faudrait pouvoir rajouter des compétences à évaluer dans *Game of Homes*, ou encore implémenter notre architecture dans un autre JSÉ de simulation.

En ce qui concerne les traces et leurs analyses, nous défendons leur importance pour le pédagogue qui peut les lire et les interpréter pour connaître le cheminement d'apprentissage de chaque apprenant. Dans notre cas précis, les fichiers contenant les *logs* sont encore trop ardus à lire, et il nous a fallu concevoir un programme pour les lire plus facilement. Dans l'optique de rendre les traces facilement analysables par un pédagogue qui utiliserait un JSÉ en enseignement ou en formation, il faudrait qu'un outil d'analyse des traces facile d'accès soit conçu afin que le pédagogue ait rapidement accès aux informations pertinentes : contenu du SPJ et évaluation de chacune des compétences et des stratégies ainsi que leur évolution dans le JSÉ.

Enfin, un aspect qui n'a pas été abordé en détail dans cette thèse mais qui est néanmoins important est celui du lien étroit entre le maintien de l'engagement représenté par le *flow*, le *gameplay* et le développement des compétences. Nous avions mentionné dans le chapitre 1 qu'un JSÉ devait idéalement maintenir une sensation de *flow* chez les JA, tout en proposant un *gameplay* qu'ils puissent facilement s'approprier. Mais cet aspect ne devrait pas se faire au détriment du développement des compétences et de la découverte des stratégies. Dans un JSÉ, contrairement aux jeux vidéo, il faut éviter de rendre les processus de jouabilité automatiques, car le JA ne prendrait plus le temps de réflexion requis pour comprendre le contenu à apprendre. Dans *Game of Homes* par exemple, lorsqu'un acheteur veut visiter une propriété du JA, celui-ci reçoit une indication de visite (i.e. un carré jaune dans le *feedinfo* et sur la propriété en question), mais il ne peut se

rendre directement à la propriété en cliquant sur cet indicateur. Nous voulions ainsi forcer le JA à mémoriser la localisation de ses contrats, et leur rendre la tâche plus difficile lorsqu'il acceptait trop de contrats en même temps. Par exemple encore, les aides ne s'affichent sur l'écran que quelques secondes, afin de forcer le JA à les consulter rapidement sur le moment. En outre, il serait important de donner des rétroactions au JA, mais pas de manière abusive, afin qu'il puisse aussi découvrir par lui-même les stratégies dans le JSÉ. Ceci nous amène à poser une question qui mériterait d'être explorée par la recherche : puisque dans la conception d'un JSÉ, contrairement à un jeu vidéo, l'enjeu du design résiderait dans le juste milieu entre le maintien du *flow* et le développement des compétences, les concepteurs devraient-ils ainsi porter une grande attention aux fonctionnalités de bas niveau dans le JSÉ (clics, déplacement, navigation, etc.), puisque leur utilisation pourrait hypothétiquement empêcher le JA de développer une compétence?

6.2 Choix de la simulation comme type de jeu sérieux éducatif et difficultés méthodologiques rencontrées

Nous avons dans cette thèse mentionné les avantages de la simulation comme catalyseur du développement de compétences. En effet, la simulation permet de reproduire un monde virtuel relativement réaliste et d'immerger le JA dans un seul et unique niveau de JSÉ (dans certains cas de simulation) dont la difficulté évolue de manière continue et non intrusive. L'apprentissage est donc plus fluide, le JA dispose de tous les outils dès le début de la partie et a tout de suite la possibilité de percevoir les relations de causes à effets entre les variables. Il peut également apprécier les conséquences directes de ses actions qui ont un impact réel dans le temps, qui peuvent être positives comme négatives. Il pourra alors découvrir des stratégies efficaces à court et à long terme, et les ré-exécuter au besoin. Enfin, son évaluation se faisant aussi en continu dans le JSÉ de simulation, elle est moins intrusive, le JA peut consulter ses statistiques et le classement quand il le souhaite, sans obligation.

La simulation implémentée dans un JSÉ comporte néanmoins des désavantages, notamment du point de vue de la planification. Tout d'abord, chaque action générée par le planificateur cible une compétence en particulier, mais le JA, lui, est toujours plongé dans la même simulation. Il n'est donc pas possible « d'isoler » une compétence en particulier et de l'évaluer telle quelle. Dans *Game of Homes*, le JA choisit des contrats tout en fixant le prix dans le cadre d'un autre contrat, tout en concluant une vente d'un troisième contrat. La simulation impose le fait que toutes les variables ne cessent d'évoluer en même temps, et l'évaluation de la progression des compétences est donc ardue. Cet aspect explique pourquoi dans notre expérimentation 2, une des compétences était « mieux » développée qu'une autre, puisque l'autre était évaluée plus tard dans le jeu, tandis que la première était évaluée dès le début puis en même temps que la deuxième.

De plus, une simulation implémentée dans un JSÉ implique de simuler aussi le passage du temps, d'une manière la plus réaliste possible. Mais comme ce temps ne peut pas représenter le passage réel du temps, il est réduit et, afin de rendre le JSÉ de simulation engageant pour le JA, nous avons choisi de lui permettre d'accélérer ou de ralentir la vitesse du temps qui passe. Cet aspect pose des problèmes méthodologiques quant à nos analyses des traces. En effet, tous les JA n'ont pas joué pendant la même durée dans la simulation, même s'ils ont joué pendant la même période réelle de temps, dépendamment de la vitesse qu'ils utilisaient pour jouer (certains ont « expérimenté » deux mois de jeu, d'autres cinq mois). Les premiers résultats exploratoires ont laissé entrevoir que notre architecture de génération automatique de SPJ permettrait un apprentissage plus rapide par rapport à la version scriptée du JSÉ de simulation, mais afin d'effectuer des analyses quantitatives plus poussées, il faudrait que les parties de *Game of Homes* durent le même temps de simulation (p. ex. 6 mois). Selon nos estimations, cela représente en moyenne des parties d'environ 2 à 3 heures selon les participants.

6.3 Vision des jeux sérieux éducatifs comme outils de recherche

Plusieurs auteurs soutiennent que les JSÉ permettent d'offrir aux JA des expériences s'inscrivant dans des contextes d'apprentissage complexes et variés (Garris *et al*., 2002; Gee, 2003; Gee *et al*., 2005; Gros, 2007; Sauvé et Kaufman, 2010), afin de développer de manière flexible des compétences (Kiili *et al*., 2014). Cette thèse positionne les JSÉ comme outil de recherche, dans le sens où leur contenu devrait être manipulable et contrôlable afin de vérifier leur capacité à développer la flexibilité cognitive chez les JA. Nos résultats suggèrent que notre architecture permettrait aux JA de développer des connaissances mais aussi de les restructurer au besoin, tout en explicitant ces changements d'états mentaux dans les traces. Nous sommes parvenue, dans *Game of Homes*, à simuler différents contextes d'apprentissage, qui peuvent inciter les JA à revoir leurs stratégies. Nous nous sommes donc servie, d'une certaine manière, du JSÉ comme outil de recherche : les SPJ issus de notre architecture permettent aussi d'analyser les processus cognitifs mis en jeu lors de l'apprentissage.

De plus, le JSÉ est un terrain de recherche pour tester différentes techniques d'intelligence artificielle. Dans notre cas, il s'agit de celle de la planification. Cette thèse a démontré que la planification pouvait s'appliquer dans le domaine de l'éducation et des JSÉ, et a suggéré qu'elle était capable de générer des SPJ a priori plus efficaces et permettant un apprentissage plus rapide que les SPJ scriptés. Nous avons donc « manipulé » le contenu du JSÉ (version scriptée et version adaptée) afin de nous en servir comme outil méthodologique. D'autres auteurs abordent la même approche de considérer le JSÉ comme un outil de recherche, comme Harrison et Roberts (2014), qui ont créé leur propre jeu vidéo dont les quêtes s'adaptent aux JA. Ils ont également proposé une version de leur jeu non adaptative et ont comparé les performances dans les deux conditions.

À des fins de recherches futures, il sera intéressant de proposer de nouveaux contextes dans *Game of Homes*, afin de rendre la sélection des stratégies plus

complexes, d'incorporer de nouvelles compétences, pour ensuite comparer de nouveau la version adaptée du jeu avec la version scriptée. Dans un environnement de JSÉ plus complexe, nous faisons l'hypothèse que l'apprentissage devrait être significativement plus rapide et plus efficace dans la version adaptée par rapport à la version scriptée.

6.4 Vers une méthodologie de design des jeux sérieux éducatifs

Dans le cadre de cette thèse, si notre objectif poursuivi n'était pas de concevoir une méthodologie de design des JSÉ, nous avons tout de même, en mettant en œuvre notre architecture de JSÉ de simulation, traversé les étapes de conception d'un JSÉ. De nombreuses études se sont penchées sur les méthodes de conception des JSÉ (Aleven *et al*., 2010; Amory, 2007; Burgos *et al*., 2007; Chamberlin *et al*., 2012; Cowley *et al*. 2011; De Freitas et Oliver, 2006; Kiili, 2005; Gentile *et al*., 2014; Gunter *et al*., 2006, 2008; Hirumi *et al*., 2007; Horstman et Kerr, 2010; Hung et Van Eck, 2010; Kok, 2014; Lukosch *et al*., 2012; Marfisi-Schottman *et al*., 2010; Marne *et al*., 2011; Marne et Labat, 2012; Mitgutsch et Alvarado, 2012; Moreno-Ger *et al*., 2008; Nadolski *et al*., 2008; Raybourn, 2007; Van Staalduinen et de Freitas, 2011; Westera *et al*., 2008; Yusoff *et al*., 2009). De manière générale, ces études proposent des méthodologies de design s'inspirant du modèle ADDIE développée dans le domaine de la technologie éducative (Analyse, Design, Développement, Implantation, Évaluation) (Nadolski *et al*., 2008), ainsi que des principes de design découlant des travaux de Benjamin S. Bloom sur une taxonomie d'objectifs d'apprentissage ou de Robert M. Gagné sur les conditions internes et externes de l'apprentissage (Aleven *et al*., 2010; Gunter *et al*., 2006, 2008). Certaines méthodologies couvrent tout le processus de design des JSÉ, de la phase d'analyse, en passant par la phase de conception, d'implantation, pour finir avec la phase d'évaluation (Hirumi *et al*., 2010; Marfisi-Schottman *et al*., 2010; Kok, 2014), d'autres se concentrent sur la phase de conception en tant que telle et notamment sur

l'intégration des aspects de design pédagogique aux éléments de design de jeux vidéo que l'on retrouve habituellement dans les jeux et les jeux vidéo (Moreno-Ger *et al*., 2008). Cependant, en ce qui concerne la phase de conception, il est rare de trouver dans le cadre de ces études des détails sur la modélisation des connaissances et des compétences à acquérir dans le JSÉ ainsi que sur la spécification des objectifs d'apprentissage. Pourtant, les méthodologies de design pédagogique soulèvent l'importance de la spécification des connaissances et des compétences du domaine qui seront abordées dans la formation, ainsi que des objectifs d'apprentissage (Paquette, 2002b). Il est vrai que dans le design de JSÉ, la pratique a longtemps consisté à fonctionner de manière *ad hoc*, c'est-à-dire en établissant d'abord le *gameplay* du jeu puis ensuite en incorporant dans celui-ci du contenu à apprendre. Si cette technique peut convenir aux JSÉ dont le contenu est peu complexe, elle nous paraît fortement risquée pour des domaines complexes. Lavergne-Boudier et Dambach (2010) soulignent pourtant l'importance, lors de la conception de JSÉ, de typer les connaissances à acquérir dans le jeu (factuelles, déclaratives, procédurales) en plus des objectifs pédagogiques, ainsi que de chercher à modéliser les cycles d'expertise dans un domaine qui répondent à des règles spécifiques. Ce travail de modélisation doit se faire de manière itérative dans le design d'un JSÉ, en même temps que le concepteur de jeux vidéo réfléchit aux ressources disponibles dans le jeu (voir aussi Bakkes *et al*., 2012; Squire, 2005).

Dans cette thèse, nous avons adapté une partie de la méthode MISA pour concevoir *Game of Homes* (Paquette, 2002a). Nous avons, dans un premier temps, défini le projet de formation en spécifiant le public cible, les objectifs pédagogiques principaux et la documentation pertinente (Phase 1 de la MISA). Nous avons ensuite modélisé les connaissances et les compétences du domaine de la vente immobilière, en insistant sur les stratégies comme principes à développer chez le JA (Phase 2 de la MISA). En nous basant sur ce modèle, nous avons réfléchi, à un niveau macro, à des scénarios pédagogiques « type » du processus impliqué dans la vente d'une propriété.

Nous avons alors spécifié des évènements d'apprentissage possibles, dans un contexte plus ou moins difficile, que pourrait générer notre module de planification (Phase 3 de la MISA). Au niveau micro, nous avons, d'une part, spécifié dans le modèle du JA (RB), la manière dont les compétences des JA seront évaluées, et d'autre part, spécifié dans le module de contrôle le contenu précis des actions générées ainsi que des aides possiblement affichées (Phase 4 de la MISA). Enfin, nous avons validé notre JSÉ de simulation en montant un protocole d'évaluation empirique à l'aide de pré et de post-tests de compétences et des post-tests de motivation qui ont montré que *Game of Homes* favorisait le développement de la compétence générale de vendre une propriété immobilière dans Montréal, ce qui assure aux pédagogues ou formateurs que l'utilisation de notre JSÉ de simulation est pertinente en enseignement ou en formation (phase 5 de la MISA).

Dans des futures recherches, nous soutenons qu'une méthodologie plus rigoureuse s'adaptant à différents types de JSÉ devrait être proposée, en accordant une importance particulière à la modélisation des connaissances et compétences visées dans les JSÉ, afin d'accorder une valeur pédagogique forte aux JSÉ dans des contextes d'enseignement et de formation.

6.5 Conclusion

En conclusion, l'objectif principal poursuivi dans cette thèse était de concevoir une architecture de JSÉ de simulation permettant la génération automatique de SPJ, que nous avons mise en œuvre dans un JSÉ de simulation appelé *Game of Homes*, et dont nous avons fait une évaluation empirique. Les résultats de l'évaluation empirique suggèrent que les différentes composantes de notre architecture, à savoir le modèle du JA (représenté notamment par le réseau bayésien), les modules d'adaptation et de contrôle et enfin le module de traces, peuvent contribuer, d'une part, au développement de compétences ciblées dans le JSÉ de simulation ainsi que favoriser

la découverte et l'exécution de manière flexible des stratégies liées à ces compétences. D'autre part, ces composantes permettaient la génération d'un SPJ unique pour chaque JA, et dont le contenu respectait la vitesse et la qualité de la progression de l'apprentissage. Enfin, les différentes composantes de notre architecture ont permis aux JA qui ont participé à notre recherche d'expérimenter une expérience d'apprentissage qu'ils décrivent comme engageante et motivante.

APPENDICE A

MODÉLISATION DES CONNAISSANCES DANS *GAME OF HOMES*

Liste des jeux sérieux éducatifs existants dans le domaine de l'immobilier :

Simurenov, sur la rénovation des maisons (en français)
(http://www.simurenov.com/jeu/game.php)

InvestorVille, sur l'investissement immobilier conçu par la Banque Commonwealth (en anglais)
(http://techau.com.au/investorville-for-budding-property-investors/)

Jouez au courtier immobilier, sur le métier de courtier (en français)
(http://lg2.com/fr/realisations/230/site-jouez-au-courtier-interactif/)

BigMansion (en anglais)
(http://www.jeux-flash-gratuit.com/jeu-735-agent-immobilier.html)

Mansion Impossible (en anglais)
(http://www.lesjeuxgratuits.fr/jouer.php?n=82)

House Flip (en anglais)
(http://www.shockwave.com/gamelanding/houseflip.jsp)

The Virtual Real Estate Game (en anglais)
(http://www.digitalrealestategame.com/)

Ludiville, sur le crédit immobilier conçu par KTM Advance
(https://www.youtube.com/watch?v=IQHU1UvcdlA)

Documentation pertinente recensée en lien avec la vente immobilière (webographie)

Ces différents sites web (en français) regroupent des statistiques dans le domaine de l'immobilier et l'état du marché immobilier au Québec:

http://www.ciq.qc.ca/webjournal/category/statistiques/
http://www.lesaffaires.com/secteurs-d-activite/immobilier
http://www.fciq.ca/immobilier-marche.php
http://schl.ca/fr/clfihaclin/remaha/index.cfm
http://www.remax-quebec.com/fr/etudes/perspectives-immobilieres-2014.rmx

Article en français du site web www.schl.ca expliquant le processus d'achat d'une propriété au Canada. Repéré à http://schl.ca/fr/co/aclo/acmaetet/acmaetet_004.cfm

Article en français du site web www.oaciq.com expliquant le processus de vente d'une propriété au Québec. Repéré à http://www.oaciq.com/fr/pages/vendre

Article en français du site web www.royallepage.ca expliquant le processus de vente d'une propriété, étapes par étapes, au Canada. Repéré à http://www.royallepage.ca/immobilier/fr/info-et-conseils/conseils-pour-la-vente/

Article en français du site web www.crea.ca donnant des conseils aux propriétaires qui souhaitent vendre leur propriété au Canada. Repéré à http://crea.ca/fr/content/advice-sellers

Article en français du site web www.fciq.ca donnant des conseils sous la forme de rubriques aux propriétaires qui souhaitent vendre leur propriété au Québec. Repéré à http://www.fciq.ca/conseils-vendeurs.php

Article en français du site web www.oaciq.com expliquant le rôle d'un courtier immobilier au Québec. Repéré à http://www.oaciq.com/fr/pages/pourquoi-un-courtier

Modèle complet de devis intégré de conception du JSÉ de simulation *Game of Homes* réalisé avec le logiciel G-MOT

Légende des formes :

- ovales mauves: procédures
- rectangles verts foncés : éléments du JSÉ de simulation
- rectangles verts clairs : éléments du JSÉ de simulation avec lesquels le JA doit interagir
- rectangles jaunes : rétroactions fournies au JA
- rectangles et losanges roses : aspects motivationnels du JSÉ de simulation
- losange blancs : principes (effet du contexte et stratégies et tactiques à exécuter dans le jeu)
- personnage : acteurs intervenant dans le JSÉ de simulation (JA et PNJ)

Légende des liens:

- R: Régule
- C: se Compose de
- P: Précède
- I/P : Intrant/Produit

-

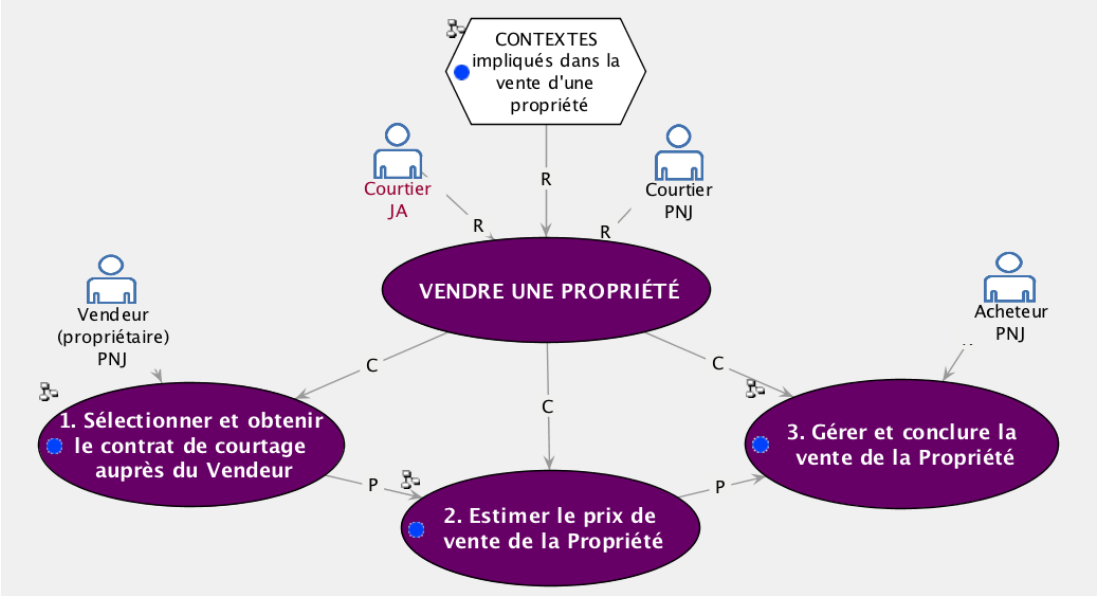


Figure A.1 Premier niveau du modèle de devis intégré de conception de *Game of Homes* (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, P: Précède)

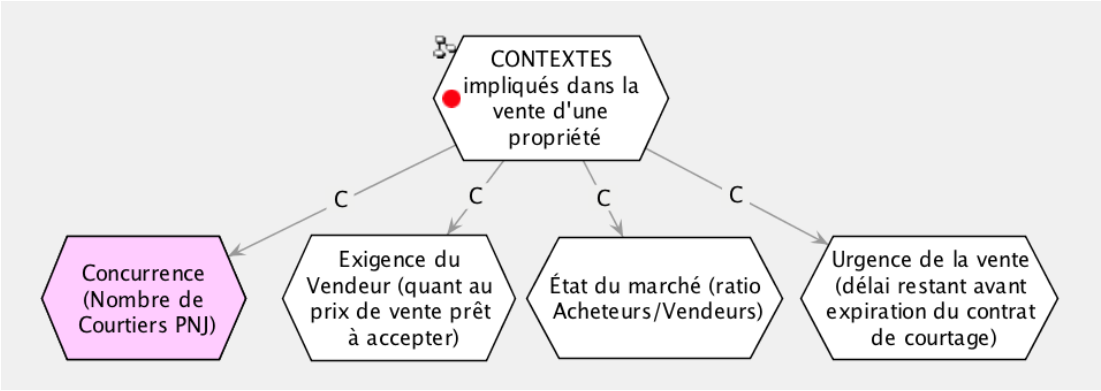


Figure A.2 Les contextes impliqués dans la vente d'une propriété (Légende des liens: C : se Compose de)

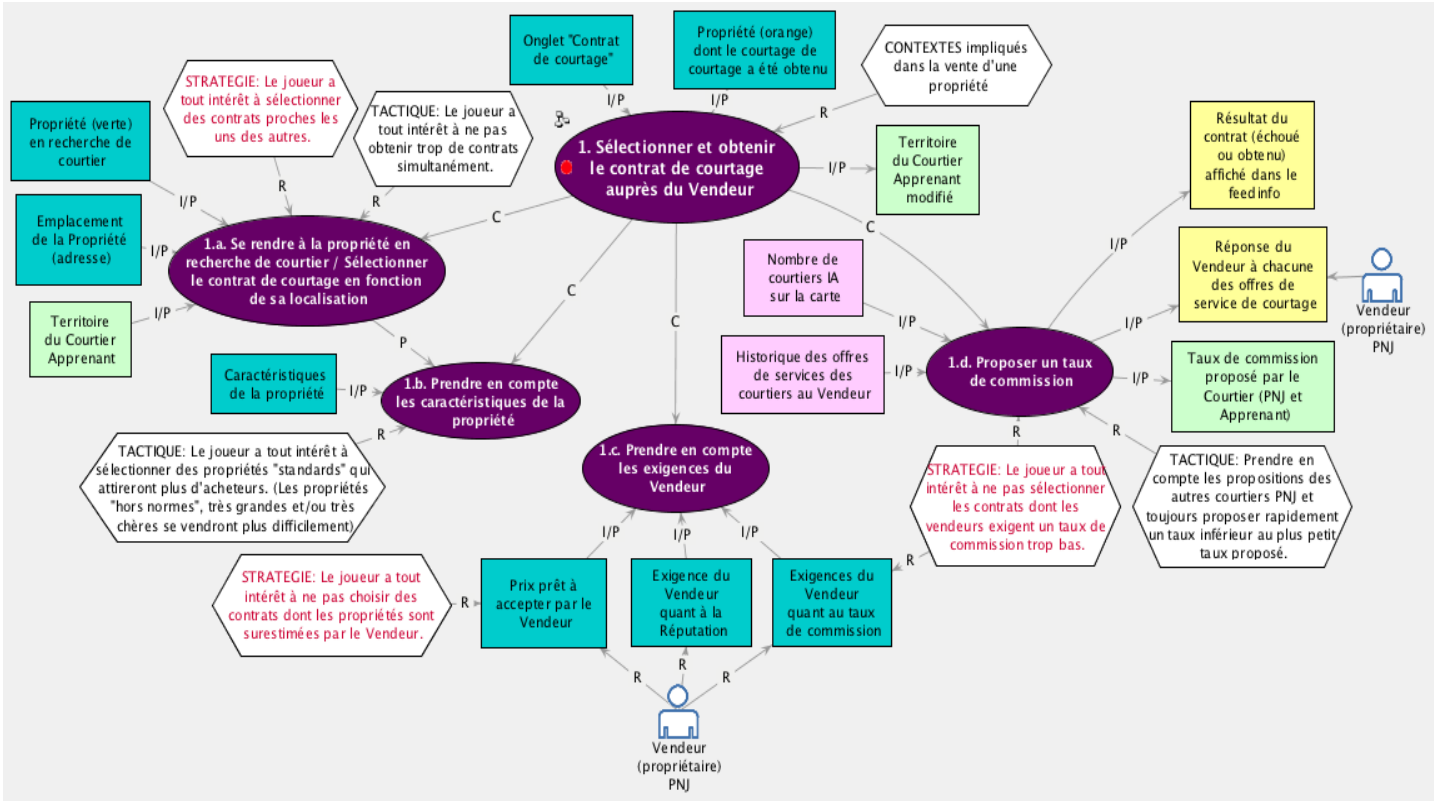


Figure A.3 Détail de la connaissance procédurale représentant la compétence 1 « Sélectionner et obtenir le contrat de courtage auprès du Vendeur » (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, P: Précède, I/P: Intrant/Produit ou Extrants)

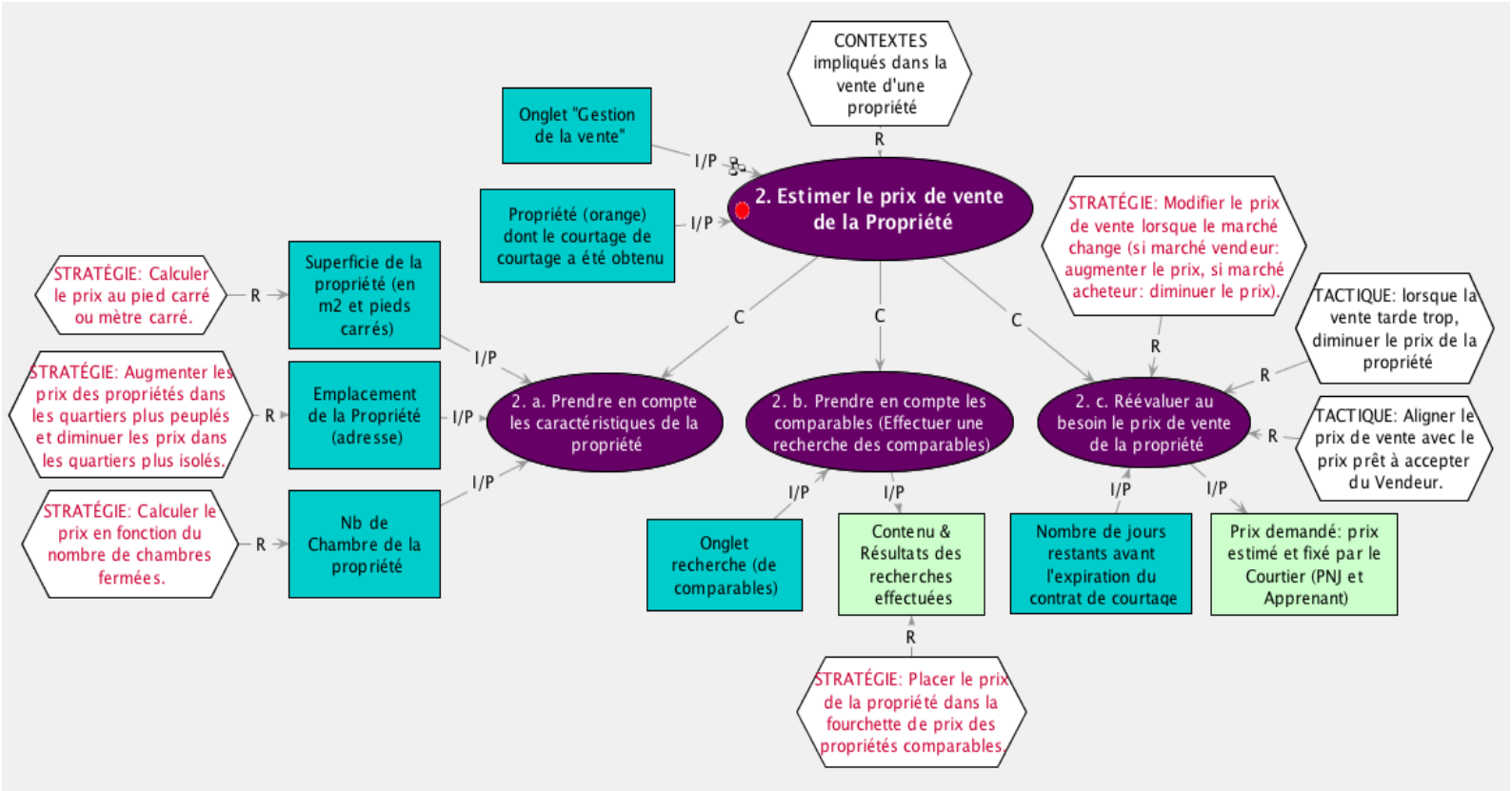


Figure A.4 Détail de la connaissance procédurale représentant la compétence 2 « Estimer le prix de vente de la propriété » (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, I/P: Intrant/Produit ou Extrants)

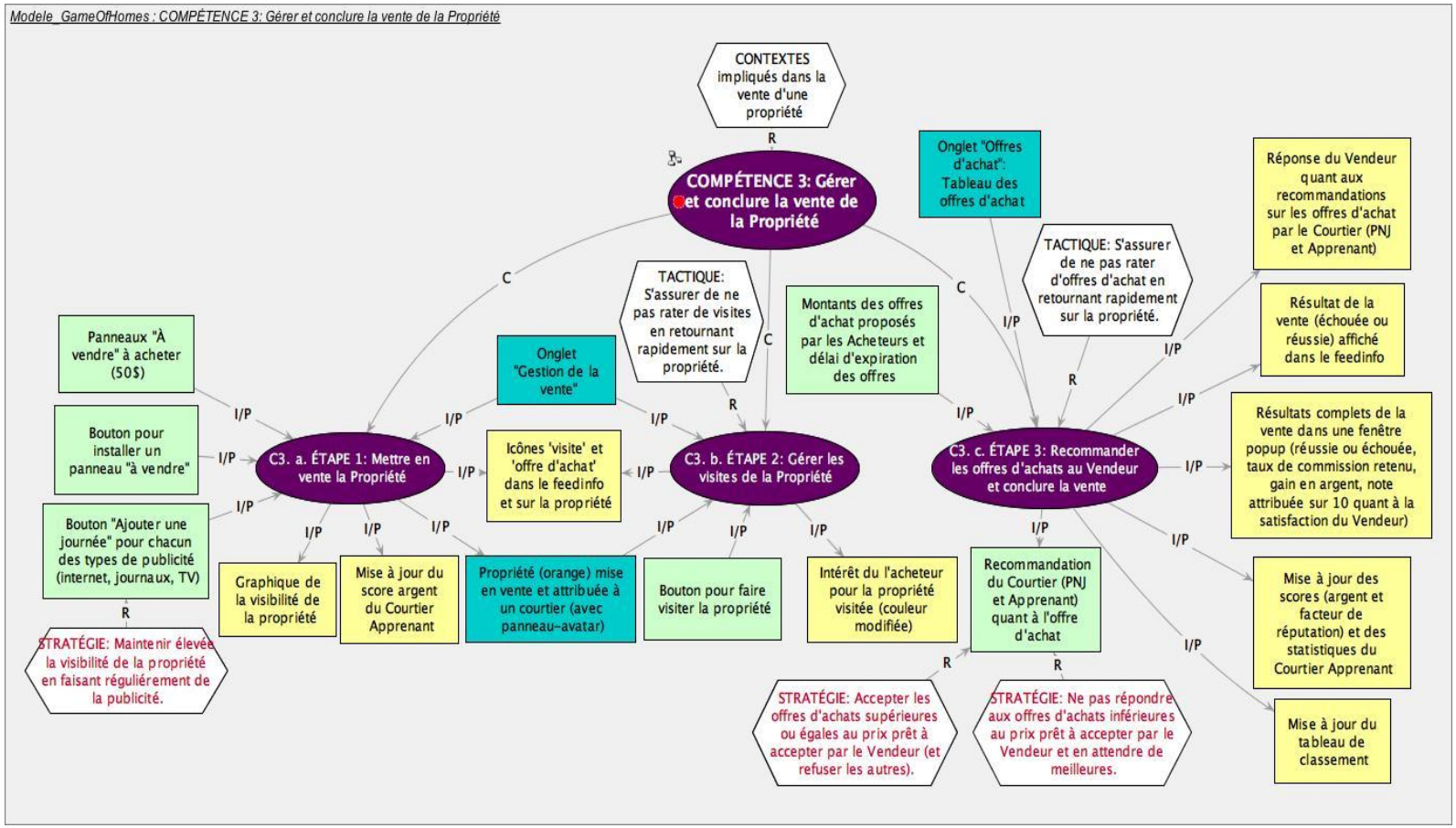
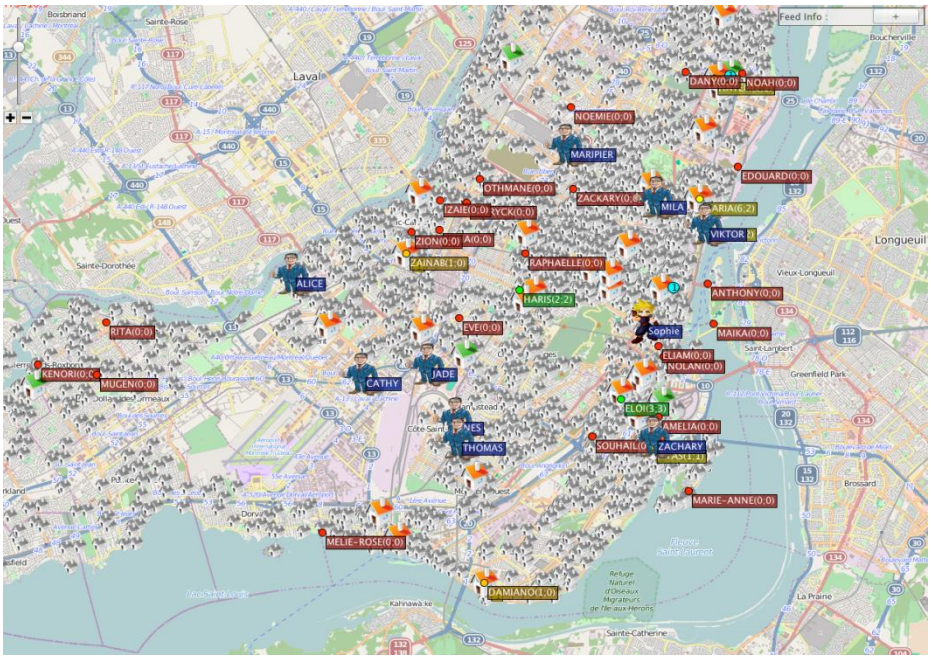


Figure A.5 Détail de la connaissance procédurale représentant la compétence 3 « Gérer et conclure la vente de la propriété » (Légende des liens: R: Régule, C: se Compose de, I/P: Intrant/Produit ou Extrants)

APPENDICE B

CONSIGNES DONNÉES AUX PARTICIPANTS AVANT DE JOUER À *GAME OF HOMES*, FORMULAIRES DE CONSENTEMENT DES DEUX EXPÉRIMENTATIONS ET CERTIFICAT D'ÉTHIQUE

BIENVENUE DANS *GAME OF HOMES*!



Merci d'avoir accepté de participer à cette étude, durant laquelle vous allez jouer à Game of Homes *pendant 2 heures. Prenez le temps de lire attentivement ces consignes, et n'hésitez pas à poser vos questions avant et même pendant la partie aux expérimentateurs. Amusez-vous bien!*

À propos de *Game of Homes*

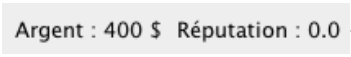
Dans *Game of Homes*, vous jouez le rôle d'un courtier immobilier

, dont le rôle est de vendre des propriétés dans la ville de Montréal. Attention, d'autres courtiers

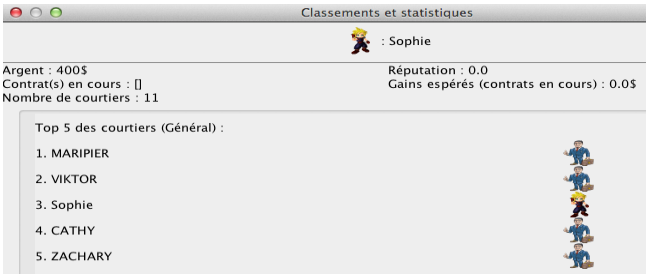
contrôlés par le jeu vont être vos concurrents!

Plusieurs acheteurs

parcourent la ville à la recherche de propriété à visiter et éventuellement à acheter.

Le but du jeu est d'augmenter vos gains en argent, de maintenir une réputation en tant que courtier élevée (score disponible en haut à droite de l'écran 

) et enfin d'être en tête du classement des courtiers (Onglet **Stats**).



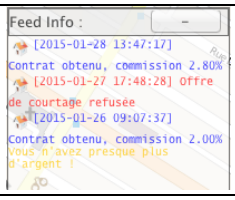
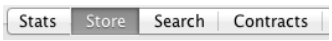
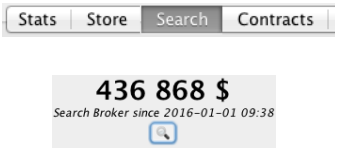
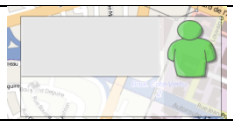
ATTENTION : Si vous n'effectuez pas une vente, ou si le Vendeur n'est pas satisfait de vous (dépendamment du temps mis pour vendre la propriété, et du prix fixé), votre score de réputation chutera…

Démarrer dans *Game of Homes*

Vous devez vous rendre dans une propriété dont le Vendeur est en recherche de courtier, en **double-cliquant** sur cette propriété (**zoomez** sur la propriété). Si vous obtenez le contrat de courtage, vous devez ensuite en retournant dans la propriété fixer un prix de vente, puis placer un panneau.

ATTENTION : Une fois que vous avez obtenu le contrat de courtage, vous bénéficiez d'un temps limité pour vendre la propriété.

Principales fonctionnalités de *Game of Homes*

Nom	Image/Emplacement dans *Game of Homes*	Détails
Jauge du temps	(en haut de la fenêtre du jeu)	Permet de visualiser la date en cours, et de modifier la vitesse du temps qui passe. ***Note: Le bouton PAUSE ne doit être enclenché SEULEMENT SI vous avez besoin de sortir de la pièce.***
Feed Info		Permet de visualiser les informations concernant vos ventes en cours. Le Feed Info s'affiche en haut à droite de l'écran.
Acheteurs		En rouge : acheteurs parcourant la ville En orange : acheteurs intéressés par une propriété En jaune : acheteurs souhaitant visiter une propriété En vert : acheteurs souhaitant faire une offre d'achat
Onglet **Stats**		Statistiques du JA et accès au classement des courtiers.
Onglet **Store**		Magasin de panneaux « à vendre » pour afficher devant vos propriétés.
Onglet **Search**		Permet d'effectuer une recherche ciblée sur les propriétés vendues ou à vendre selon différents critères de recherches. Vous pouvez également effectuer une recherche lorsque vous fixez le prix de la propriété, en cliquant sur la loupe.
Onglet **Contracts**		Résumé de vos contrats de courtage en cours. En double cliquant sur un contrat, la propriété en question apparaîtra directement sur la carte.
Visites en attente		Apparaît sur le Feed Info et sur la propriété en question.
Offres d'achat en attente		Apparaît sur le Feed Info et sur la propriété en question.
Aides		Aides sur le fonctionnement du jeu, qui s'affichent en bas à droite de l'écran de jeu.

UQÀM
Université du Québec à Montréal

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

EXPÉRIENCE 1

«Le Jeu Sérieux *Game of Homes*»

OBJECTIFS DU PROJET

Vous êtes invité(e) à participer un projet de recherche qui vise à étudier l'impact de l'apprentissage du jeu sérieux *Game of Homes* dans le domaine de l'immobilier. Avant d'accepter de participer à ce projet, il est important de prendre le temps de lire et de bien comprendre les renseignements ci-dessous. S'il y a des mots ou des sections que vous ne comprenez pas, n'hésitez pas à poser des questions à l'expérimentateur(trice).

TÂCHES DEMANDÉES AU PARTICIPANT

Votre participation à cette expérimentation se déroule en 3 temps :

- Étape 1 - Pré-test (la veille de l'expérimentation): Cette étape consiste dans un premier temps à répondre à un questionnaire évaluant vos connaissances dans le domaine de l'immobilier, et qui nécessitera environ 1 heure de votre temps. Dans un deuxième temps, vous aurez à répondre à un questionnaire portant sur votre motivation et votre intérêt sur la tâche précédente, et qui nécessitera environ 15 minutes de votre temps.
- Étape 2 - Expérimentation : Cette étape consiste dans un premier temps à jouer au jeu sérieux *Game of Homes* pendant environ 1h30. Dans un deuxième temps, vous aurez à répondre à un questionnaire portant sur votre motivation et votre intérêt sur la tâche précédente, et qui nécessitera environ 15 minutes de votre temps.
- Étape 3 - Post-test (le lendemain de l'expérimentation): Cette dernière étape consiste à répondre à un questionnaire évaluant vos connaissances dans le domaine de l'immobilier, et qui nécessitera environ 1 heure de votre temps.

Vos réponses aux différents questionnaires, ainsi que vos données extraites du jeu seront par la suite analysées afin de répondre à nos objectifs de recherche.

AVANTAGES et RISQUES POTENTIELS

Votre participation contribuera à l'avancement des connaissances par une meilleure compréhension des mécanismes d'apprentissage et de développement de compétences dans les jeux sérieux. Vous pourrez également bénéficier de cette expérimentation en augmentant vos connaissances dans le domaine de la vente immobilière.

Il n'y a pas de risque d'inconfort significatif associé à votre participation à cette recherche, si ce n'est un léger inconfort lié au fait de jouer 1h30 à un jeu sur écran. Cet inconfort reste comparable à d'autres tâches devant un ordinateur durant 1h30. Durant l'expérimentation, sachez que vous pouvez à tout moment prendre une pause si vous en ressentez le besoin. Pour ce faire, vous n'aurez qu'à cliquer sur pause. Après votre pause, si vous désirez toujours poursuivre votre participation, vous pourrez continuer le jeu là où vous l'avez laissé. Il n'y a pas d'obligation à compléter le jeu.

Sachez qu'il est de la responsabilité de l'expérimentateur(trice) de suspendre ou de mettre fin à votre participation s'il, si elle estime que votre bien-être est compromis.

ANONYMAT ET CONFIDENTIALITÉ

Il est entendu que tous les renseignements recueillis des questionnaires et des données du jeu sérieux *Game of Homes* sont strictement confidentiels. Seuls les membres de l'équipe de recherche auront accès à ces données. Tout le matériel de recherche ainsi que votre formulaire de consentement seront conservés séparément en lieu sûr au laboratoire (ou au bureau) du chercheur responsable pour la durée totale du projet.

Afin de protéger votre identité et la confidentialité des données recueillies auprès de vous, vous serez toujours identifié(e) par un code alphanumérique. Ce code associé à votre nom ne sera connu que du chercheur responsable du projet (et de son délégué).

Nous effectuerons éventuellement, avec votre accord donné en début d'expérimentation, des captures d'écran du jeu, afin de présenter des extraits dans le cadre de rencontres scientifiques ou à des fins de formation universitaire. Dans ce cas-ci, une autorisation spécifique vous sera demandée. Ces captures d'écran seront faites pendant toute la durée de votre session de jeu avec un logiciel adéquat. Aucun enregistrement sonore ni vidéo de vous ne sera effectué.

À remplir au besoin : J'accepte que des captures d'écran du jeu soient enregistrées. Ces captures seront anonymes et ne permettront pas mon identification. Le pseudonyme du joueur que j'ai choisi au début du jeu sera caché. Ces captures pourraient être insérées dans des articles scientifiques, diffusées dans le cadre de conférences ou colloques scientifiques, ou dans le cadre d'activités d'enseignement à l'UQAM.

□ OUI □ NON

PARTICIPATION VOLONTAIRE et DROIT DE RETRAIT

Votre participation à ce projet est volontaire. Cela signifie que vous acceptez de participer au projet sans aucune contrainte ou pression extérieure, et que par ailleurs vous êtes libre de mettre fin à votre participation en tout temps au cours de cette recherche, sans préjudice de quelque nature que ce soit et sans avoir à vous justifier. Dans ce cas, et à moins d'une directive contraire de votre part, les documents vous concernant seront détruits.

Votre accord à participer implique également que vous acceptez que l'équipe de recherche puisse utiliser aux fins de la présente recherche (articles, mémoires et thèses des étudiants membres de l'équipe, conférences et communications scientifiques) les renseignements recueillis à la condition qu'aucune information permettant de vous identifier ne soit divulguée publiquement à moins d'un consentement explicite de votre part.

CLAUSE DE RESPONSABILITÉ

En acceptant de participer à ce projet, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs, le commanditaire ou les institutions impliquées de leurs obligations légales et professionnelles.

RECHERCHES ULTÉRIEURES

Au terme du présent projet, nous aimerions conserver sur une période de 5 ans les données recueillies auprès de vous pour conduire d'autres projets de recherche. Vos données extraites du jeu (actions du joueur, scores, temps passé à jouer, *logs* de jeu) pourraient être analysées à nouveau, si applicable, pour répondre à de nouvelles questions de recherche. Les règles d'éthique du présent projet s'appliquent à cette conservation à long terme de vos données. Vous êtes libre de refuser cette utilisation secondaire.

□ J'accepte que mes données puissent être utilisées pour des projets de recherche ultérieurs

□ Je refuse que mes données puissent être utilisées pour des projets de recherche ultérieurs

DES QUESTIONS SUR LE PROJET OU SUR VOS DROITS?

Pour des questions additionnelles sur le projet, sur votre participation et sur vos droits en tant que participant de recherche, ou pour vous retirer du projet, vous pouvez communiquer avec :

Sophie Callies, Doctorante

Numéro de téléphone : 514 987 3000 poste 7890

Adresse courriel : **callies.sophie@courrier.uqam.ca**

Le Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAM a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour des informations concernant les responsabilités de l'équipe de recherche au plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains ou pour formuler une plainte, vous pouvez contacter la présidence du Comité, par l'intermédiaire de son secrétariat au numéro 514-987-3000 poste 1646 ou par courriel à **cerpe3@uqam.ca**.

REMERCIEMENTS

Votre collaboration est importante à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier. Si vous souhaitez obtenir un résumé écrit des principaux résultats de cette recherche, veuillez ajouter vos coordonnées ci-dessous.

Prénom et Nom_____

Adresse courriel_____

IDENTIFICATION

Chercheure responsable du projet : Sophie Callies, Doctorante

Tél : (514) 987-3000 poste 7890

Département, centre ou institut : Informatique, UQAM

Adresse postale : 201, avenue du Président-Kennedy, Local PK 4150, H2X 3Y7 Montréal (Québec)

Adresse courriel : **callies.sophie@courrier.uqam.ca**

Membre(s) de l'équipe : Pr. Eric Beaudry (UQAM), Pr. Josianne Basque (TELUQ), Nicolas Sola

SIGNATURES

Par la présente :

- **a)** je reconnais avoir lu le présent formulaire d'information et de consentement;
- **b)** je consens volontairement à participer à ce projet de recherche;
- **c)** je comprends les objectifs du projet et ce que ma participation implique;
- **d)** je confirme avoir disposé de suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer;
- **e)** je reconnais aussi que le responsable du projet (ou son délégué) a répondu à mes questions de manière satisfaisante; et
- **f)** je comprends que ma participation à cette recherche est totalement volontaire et que je peux y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme, ni justification à donner.

Signature du participant : _____ Date : _____

Je, soussignée, Sophie Callies, déclare :

- **a)** avoir expliqué le but, la nature, les avantages, les risques du projet et autres dispositions du formulaire d'information et de consentement;
- **b)** et avoir répondu au meilleur de ma connaissance aux questions posées.

Signature du chercheur responsable du projet ou de son, sa délégué(e) :_____

Date : _____

UQÀM
Université du Québec à Montréal

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

EXPÉRIENCE 2

«Le Jeu Sérieux *Game of Homes*»

OBJECTIFS DU PROJET

Vous êtes invité(e) à participer un projet de recherche qui vise à étudier l'impact de l'apprentissage du jeu sérieux *Game of Homes* dans le domaine de l'immobilier. Avant d'accepter de participer à ce projet, il est important de prendre le temps de lire et de bien comprendre les renseignements ci-dessous. S'il y a des mots ou des sections que vous ne comprenez pas, n'hésitez pas à poser des questions à l'expérimentateur(trice).

TÂCHES DEMANDÉES AU PARTICIPANT

Votre participation à cette expérimentation se déroule en 3 temps (pour une durée totale de 3 heures)

- Étape 1 - Pré-test: Cette étape consiste dans un premier temps à répondre à un questionnaire évaluant vos connaissances dans le domaine de l'immobilier, et qui nécessitera environ 20 minutes de votre temps.
- Étape 2 - Expérimentation : Cette étape consiste à jouer au jeu sérieux *Game of Homes* pendant environ 2 heures.
- Étape 3 - Post-test : Cette dernière étape consiste à répondre à un questionnaire portant sur votre motivation et votre intérêt sur la tâche précédente, ainsi qu'un autre questionnaire évaluant vos connaissances dans le domaine de l'immobilier. Les deux questionnaires nécessiteront environ 30 minutes de votre temps.

Vos réponses aux différents questionnaires, ainsi que vos données extraites du jeu seront par la suite analysées afin de répondre à nos objectifs de recherche.

AVANTAGES et RISQUES POTENTIELS

Votre participation contribuera à l'avancement des connaissances par une meilleure compréhension des mécanismes d'apprentissage et de développement de compétences dans les jeux sérieux. Vous pourrez également bénéficier de cette expérimentation en augmentant vos connaissances dans le domaine de la vente immobilière.

Il n'y a pas de risque d'inconfort significatif associé à votre participation à cette recherche, si ce n'est un léger inconfort lié au fait de jouer 1h30 à un jeu sur écran. Cet inconfort reste comparable à d'autres tâches devant un ordinateur durant 1h30. Durant l'expérimentation, sachez que vous pouvez à tout moment prendre une pause si vous en ressentez le besoin. Pour ce faire, vous n'aurez qu'à cliquer sur pause. Après votre pause, si vous désirez toujours poursuivre votre participation, vous pourrez continuer le jeu là où vous l'avez laissé. Il n'y a pas d'obligation à compléter le jeu.

Sachez qu'il est de la responsabilité de l'expérimentateur(trice) de suspendre ou de mettre fin à votre participation s'il, si elle estime que votre bien-être est compromis.

ANONYMAT ET CONFIDENTIALITÉ

Il est entendu que tous les renseignements recueillis des questionnaires et des données du jeu sérieux *Game of Homes* sont strictement confidentiels. Seuls les membres de l'équipe de recherche auront accès à ces données. Tout le matériel de recherche ainsi que votre formulaire de consentement seront conservés séparément en lieu sûr au laboratoire (ou au bureau) du chercheur responsable pour la durée totale du projet.

Afin de protéger votre identité et la confidentialité des données recueillies auprès de vous, vous serez toujours identifié(e) par un code alphanumérique. Ce code associé à votre nom ne sera connu que du chercheur responsable du projet (et de son délégué).

Nous effectuerons éventuellement, avec votre accord donné en début d'expérimentation, des captures d'écran du jeu, afin de présenter des extraits dans le cadre de rencontres scientifiques ou à des fins de formation universitaire. Dans ce cas-ci, une autorisation spécifique vous sera demandée. Ces captures d'écran seront faites pendant toute la durée de votre session de jeu avec un logiciel adéquat. Aucun enregistrement sonore ni vidéo de vous ne sera effectué.

À remplir au besoin : J'accepte que des captures d'écran du jeu soient enregistrées. Ces captures seront anonymes et ne permettront pas mon identification. Le pseudonyme du joueur que j'ai choisi au début du jeu sera caché. Ces captures pourraient être insérées dans des articles scientifiques, diffusées dans le cadre de conférences ou colloques scientifiques, ou dans le cadre d'activités d'enseignement à l'UQAM.

□ OUI □ NON

PARTICIPATION VOLONTAIRE et DROIT DE RETRAIT

Votre participation à ce projet est volontaire. Cela signifie que vous acceptez de participer au projet sans aucune contrainte ou pression extérieure, et que par ailleurs vous êtes libre de mettre fin à votre participation en tout temps au cours de cette recherche, sans préjudice de quelque nature que ce soit et sans avoir à vous justifier. Dans ce cas, et à moins d'une directive contraire de votre part, les documents vous concernant seront détruits.

Votre accord à participer implique également que vous acceptez que l'équipe de recherche puisse utiliser aux fins de la présente recherche (articles, mémoires et thèses des étudiants membres de l'équipe, conférences et communications scientifiques) les renseignements recueillis à la condition qu'aucune information permettant de vous identifier ne soit divulguée publiquement à moins d'un consentement explicite de votre part.

CLAUSE DE RESPONSABILITÉ

En acceptant de participer à ce projet, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs, le commanditaire ou les institutions impliquées de leurs obligations légales et professionnelles.

RECHERCHES ULTÉRIEURES

Au terme du présent projet, nous aimerions conserver sur une période de 5 ans les données recueillies auprès de vous pour conduire d'autres projets de recherche. Vos données extraites du jeu (actions du joueur, scores, temps passé à jouer, *logs* de jeu) pourraient être analysées à nouveau, si applicable, pour répondre à de nouvelles questions de recherche. Les règles d'éthique du présent projet s'appliquent à cette conservation à long terme de vos données. Vous êtes libre de refuser cette utilisation secondaire.

□ J'accepte que mes données puissent être utilisées pour des projets de recherche ultérieurs

□ Je refuse que mes données puissent être utilisées pour des projets de recherche ultérieurs

DES QUESTIONS SUR LE PROJET OU SUR VOS DROITS?

Pour des questions additionnelles sur le projet, sur votre participation et sur vos droits en tant que participant de recherche, ou pour vous retirer du projet, vous pouvez communiquer avec :

Sophie Callies, Doctorante

Numéro de téléphone : 514 987 3000 poste 7890

Adresse courriel : **callies.sophie@courrier.uqam.ca**

Le Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAM a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour des informations concernant les responsabilités de l'équipe de recherche au plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains ou pour formuler une plainte, vous pouvez contacter la présidence du Comité, par l'intermédiaire de son secrétariat au numéro 514-987-3000 poste 1646 ou par courriel à **cerpe3@uqam.ca**.

REMERCIEMENTS

Votre collaboration est importante à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier. Si vous souhaitez obtenir un résumé écrit des principaux résultats de cette recherche, veuillez ajouter vos coordonnées ci-dessous.

Prénom et Nom_____

Adresse courriel_____

IDENTIFICATION

Chercheure responsable du projet : Sophie Callies, Doctorante

Tél : (514) 987-3000 poste 7890

Département, centre ou institut : Informatique, UQAM

Adresse postale : 201, avenue du Président-Kennedy, Local PK 4150, H2X 3Y7 Montréal (Québec)

Adresse courriel : **callies.sophie@courrier.uqam.ca**

Membre(s) de l'équipe : Pr. Eric Beaudry (UQAM), Pr. Josianne Basque (TELUQ), Nicolas Sola

SIGNATURES

Par la présente :

- **g)** je reconnais avoir lu le présent formulaire d'information et de consentement;
- **h)** je consens volontairement à participer à ce projet de recherche;
- **i)** je comprends les objectifs du projet et ce que ma participation implique;
- **j)** je confirme avoir disposé de suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer;
- **k)** je reconnais aussi que le responsable du projet (ou son délégué) a répondu à mes questions de manière satisfaisante; et
- **l)** je comprends que ma participation à cette recherche est totalement volontaire et que je peux y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme, ni justification à donner.

Signature du participant : _____ Date : _____

Je, soussignée, Sophie Callies, déclare :

- **c)** avoir expliqué le but, la nature, les avantages, les risques du projet et autres dispositions du formulaire d'information et de consentement;
- **d)** et avoir répondu au meilleur de ma connaissance aux questions posées.

Signature du chercheur responsable du projet ou de son, sa délégué(e) :_____

Date : _____

CERTIFICAT D'ÉTHIQUE

UQÀM | Faculté des sciences de l'éducation

UQÀM | Faculté des sciences

CÉRPÉ-3

 # DE CERTIFICAT : 2014-0114A

Conformité à l'éthique en matière de recherche impliquant la participation de sujets humains

Le Comité pour l'évaluation des projets étudiants impliquant de la recherche avec des êtres humains (CÉRPÉ) des facultés des sciences et des sciences de l'éducation de l'Université du Québec à Montréal a examiné le projet de recherche suivant :

Titre du projet : Architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques de jeu sérieux éducatifs conciliant le développement de compétences et le maintien de la motivation.

Responsable du projet : Sophie Callies
Programme: Doctorat en informatique cognitive

Superviseure : Éric Beaudry

Ce projet de recherche est jugé conforme aux pratiques habituelles et répond aux normes établies par le «*Cadre normatif pour l'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAM*». Le projet est jugé recevable au plan de l'éthique de la recherche sur des êtres humains. Notez que toutes modifications apportées au projet doivent être approuvées par le comité en complétant les formulaires à cet effet, disponible sur le site web de la Faculté.

Membres du Comité

NOM	TITRE	DÉPARTEMENT
Proulx, Jérôme	Président du Comité, professeur	Mathématiques, Faculté des sciences
Grenier, Johanne	Professeur	Kinanthropologie, Faculté des sciences
Bigras, Nathalie	Professeur	Didactique, Faculté des sciences de l'éducation
Fortier, Marie-Pierre	Professeur	Éducation et formation spécialisées, Faculté des sciences de l'éducation
Venant, Fabienne	Professeur	Mathématiques, Faculté des sciences
Proulx, Sylvia	membre de la collectivité externe	
Banik, Marc	Professeur versé en éthique	Management et technologie, École des sciences de la gestion

9-02-2015
Date

Jérôme Proulx
Président du Comité

APPENDICE C

PRÉ ET POSTS-TESTS DE CONNAISSANCES RELATIFS À LA VENTE IMMOBILIÈRE

Tableau C.1 Exercices présentés dans les pré et les post-tests de connaissances avec leur contenu pédagogique et leur système de notation (Cptce = Compétence, Sg = Stratégie, TC = taux de commission, caract. = caractéristiques)

Partie	Description des exercices	Contenu pédagogique	Système de notation
1	**Quatre exercices (Énoncés 1, 2, 3, 4),** chacun présentant une partie de la carte de Montréal au participant sur lesquelles apparaissent des propriétés (8 pour les énoncés 1 et 2, 9 pour les énoncées 3 et 4) ainsi que leurs caractéristiques (i.e. prix réel, prix prêt à accepter par le propriétaire/vendeur, nombre de chambres, superficie, et TC prêt à accepter par le propriétaire/vendeur). Il est demandé aux participants, en tant que courtier, de choisir 5 propriétés parmi les 8 ou 6 propriétés parmi les 9	Cptce 1 : « Sélectionner et obtenir les contrats de courtage auprès du Vendeur. Analyser les éléments des contrats de courtage afin de s'assurer de leur faisabilité » Énoncé 1 : Sous-cptces « Prendre en compte la localisation de la propriété » (C1.a) basée sur le concept de territoire et « Prendre en compte les exigences du Vendeur » (C1.c) basée sur le concept de sur et sous estimation du prix de vente Sg « Le JA a tout intérêt à sélectionner des contrats proches les uns des autres » et « Le JA a tout intérêt à ne pas choisir des contrats dont les propriétés sont	1 point est attribué pour chacune des propriétés correctement choisies (pour un maximum de 8 points pour les énoncés 1 et 2, et de 9 points pour les énoncés 3 et 4), -0.5 point par erreur 1 point est attribué pour chacune des justifications pertinentes directement liés aux sg (pour un maximum de 16 points pour les énoncés 1 et 2, et de 27 points pour les énoncés 3 et 4), 0 points si les justifications sont pertinentes mais non reliées aux sg, -0.5 point par justifications non

	comme contrat de courtage, et de justifier leur choix (questions ouvertes).	surestimées par le Vendeur » Énoncé 2 : Sous-cptces « Prendre en compte la localisation de la propriété » (C1.a) basée sur le concept de territoire et « Prendre en compte les exigences du Vendeur » (C1.c) basée sur le concept de commission et gain d'argent Sg « Le JA a tout intérêt à sélectionner des contrats proches les uns des autres » et « Le JA a tout intérêt à laisser tomber les contrats dont les Vendeurs exigent un TC trop bas » Énoncés 3 et 4 : sous-cptces C1.a et C1.c basée sur le concept de sur et sous estimation du prix de vente et de commission et gain d'argent, ainsi que les trois stratégies correspondantes.	pertinentes, et -1 pour chaque absence de justification. Score global pour la partie 1 : 120
2	**Deux questions ouvertes (Énoncés 5.A et 5.B)** : la première interroge les participants sur les critères, par ordre d'importance, de leur choix de contrat de courtage lors de la partie 1 du test. La deuxième demande aux participants de réfléchir à d'autres critères qui pourraient influencer le choix des contrats de courtage.	Énoncé 5 partie A: Sg : « Le JA a tout intérêt à sélectionner des contrats proches les uns des autres » « Le JA a tout intérêt à ne pas choisir des contrats dont les propriétés sont surestimées par le Vendeur » « Le JA a tout intérêt à laisser tomber les contrats dont les Vendeurs exigent un TC trop bas » Énoncé 5 partie B: Importance du contexte d'état du marché	Question 1 : 5 points sont attribués pour chacune des sg découvertes (Territoire, Sous et sur estimation, TC) (pour un maximum de 15 points) Question 2 : 15 points sont attribués si l'état du marché est mentionné.
3	**Trois exercices (Énoncés 6, 7, 8)**, chacun présentant une partie de la carte de Montréal au participant sur lesquelles apparaissent des propriétés ainsi que leurs caractéristiques (i.e. prix et année de la dernière vente, nombre de chambres, superficie). Une seule des propriétés, affichée dans une couleur	Cptce 2 : « Estimer le prix de vente des propriétés à vendre dans le jeu. Analyser les éléments englobant la vente afin de s'assurer que le prix fixé permette une vente efficace » Énoncé 6, 7, 8 Sous-cptce : « Prendre en compte les caract. des propriétés » (C2.a)	Prix de vente estimé : 10 points sont attribués si le prix estimé se situe dans un intervalle de + ou – 5%, 5 points sont attribués si le prix estimé se situe dans un intervalle de + ou – 10% (pour un maximum de 30 points pour les trois exercices) 5 points sont attribués pour les

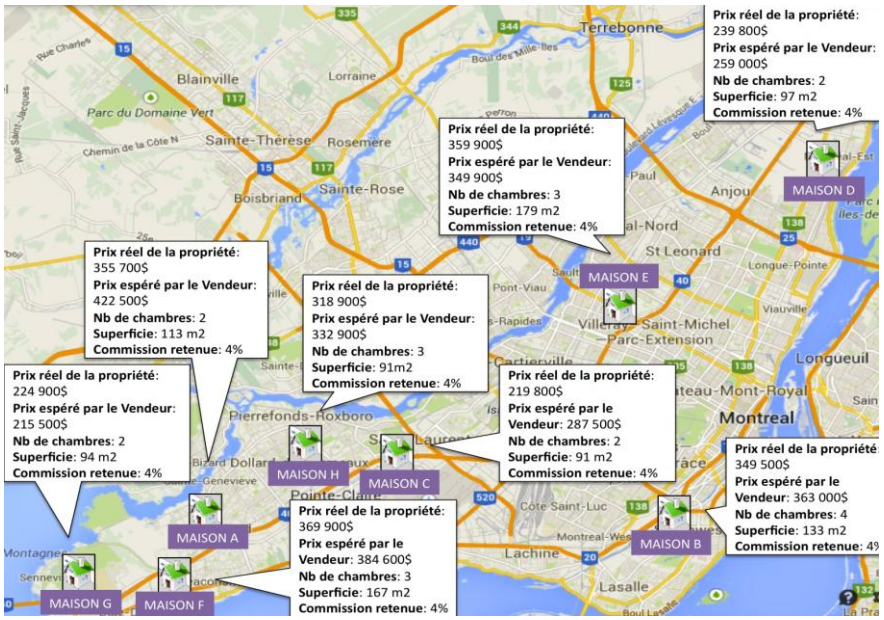
	distincte, ne comporte que le nombre de chambres et la superficie. Il est demandé aux participants d'estimer le prix de vente de cette propriété en particulier, tout en justifiant sa réponse (question ouverte).	Sg : « Calculer le prix au mètre/pied carré » et « Calculer le prix en fonction du nombre de chambres fermées « Sous-cptce : « Prendre en compte les comparables des propriétés » (C2.b) Sg : « Placer le prix de la propriété dans la fourchette de prix des propriétés comparables »	justifications pertinentes directement liées aux stratégies (pour un maximum de 15 points pour les trois exercices) Score global pour la partie 3 : 45
4	**Deux questions ouvertes (Énoncés 9.A et 9.B)** : la première interroge les participants sur les critères, par ordre d'importance, de leur estimation de prix de vente lors de la partie 3 du test. La deuxième demande aux participants de réfléchir à d'autres critères qui pourraient influencer l'estimation du prix de vente	Énoncé 9 partie A : Sg : « Calculer le prix au mètre/pied carré » « Calculer le prix en fonction du nombre de chambres fermées « « Placer le prix de la propriété dans la fourchette de prix des propriétés comparables » Énoncé 9 partie B : Importance du contexte d'état du marché	Question 1 : 5 points sont attribués pour chacune des sg découvertes (Calcul en fonction du nombre de chambre et/ou de la superficie, Comparables) (pour un maximum de 10 points) Question 2 : 15 points sont attribués si l'état du marché est mentionné. Score globale pour les parties 2 et 4 : 55

Exemplaire du pré-test de connaissance

NUMÉRO
NOM
FRÉQUENCE JEUX VIDÉO
SCOLARITÉ
SEXE et AGE
DATE

ÉNONCÉ 1:

Vous êtes nouvellement Courtier dans la ville de Montréal. Vous ne devez accepter pour le moment que 5 contrats de courtage parmi les 8 Maisons présentées sur la carte. Pour chacune des Maisons, dites si vous acceptez le contrat de courtage ou non, et justifier votre réponse.

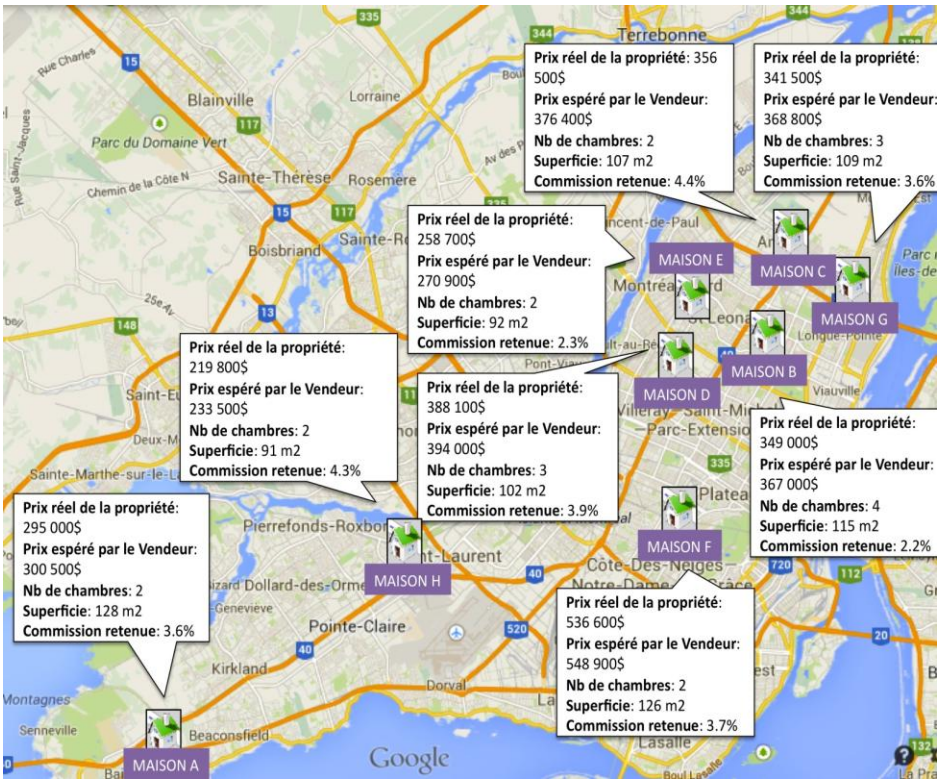


Maisons…	Accepte : OUI ou NON	Justifications
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		

Rappel : Le total des contrats acceptés doit être de 5.

ÉNONCÉ 2:

Vous êtes nouvellement Courtier dans la ville de Montréal. Vous ne pouvez accepter pour le moment que 5 contrats de courtage parmi les 8 Maisons présentées sur la carte. Pour chacune des Maisons, dites si vous acceptez le contrat de courtage ou non, et justifier votre réponse.

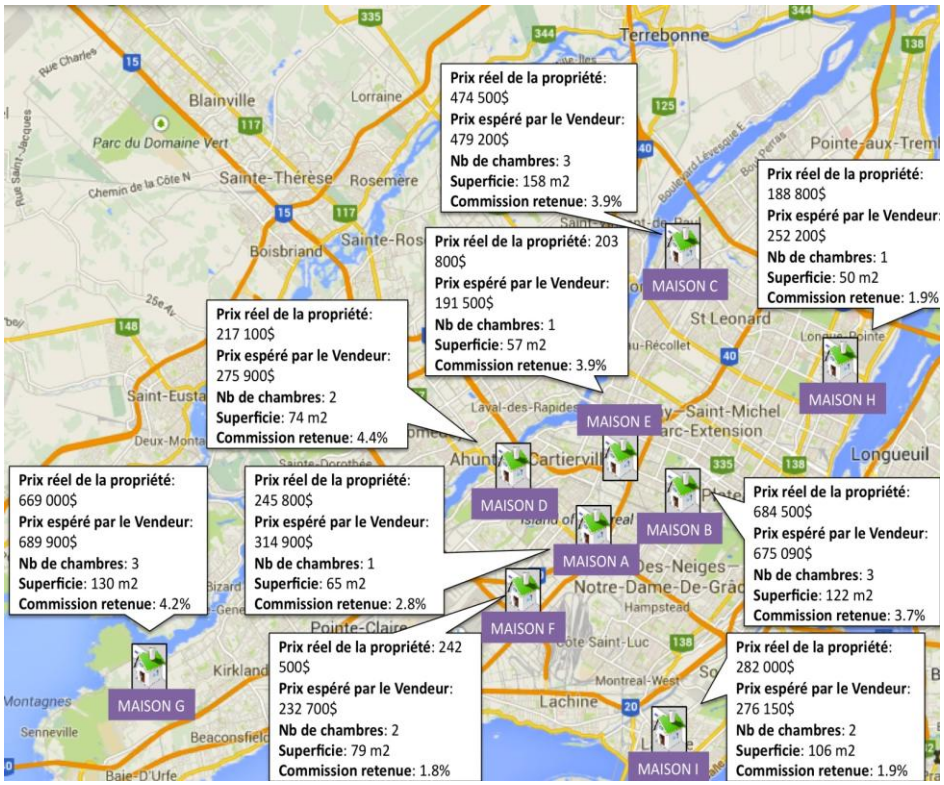


Maisons…	Accepte : OUI ou NON	Justifications
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		

Rappel : Le total des contrats acceptés doit être de 5.

ÉNONCÉ 3:

Vous êtes nouvellement Courtier dans la ville de Montréal. Vous ne pouvez accepter pour le moment que 6 contrats de courtage parmi les 9 Maisons présentées sur la carte. Pour chacune des Maisons, dites si vous acceptez le contrat de courtage ou non, et justifier votre réponse.

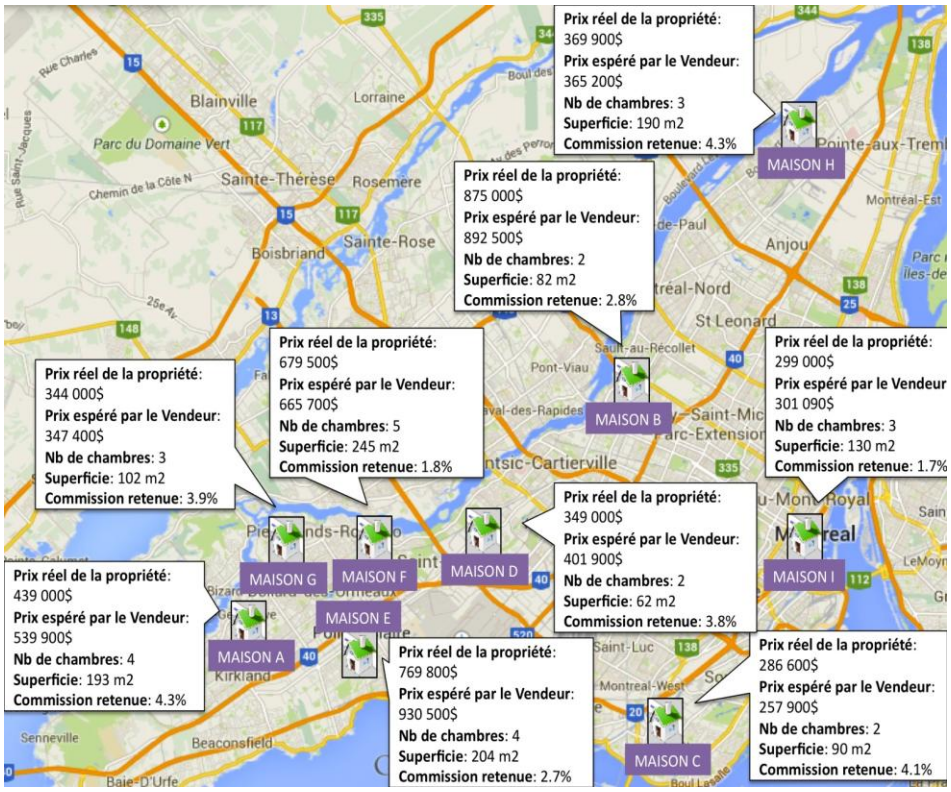


Maisons…	Accepte : OUI ou NON	Justifications
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		
I		

Rappel : Le total des contrats acceptés doit être de 6.

ÉNONCÉ 4:

Vous êtes nouvellement Courtier dans la ville de Montréal. Vous ne pouvez accepter pour le moment que 6 contrats de courtage parmi les 9 Maisons présentées sur la carte. Pour chacune des Maisons, dites si vous acceptez le contrat de courtage ou non, et justifier votre réponse.



Maisons…	Accepte : OUI ou NON	Justifications
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		
I		

Rappel : Le total des contrats acceptés doit être de 6.

ÉNONCÉ 5:

A. Prenez le temps de revoir vos justifications données pour les énoncés 1, 2, 3 et 4. Par ordre de priorité, sur quel(s) critère(s) vous êtes-vous basés pour sélectionner vos contrats de courtage?
(Continuez la liste au besoin. Veuillez fournir au minimum un critère).

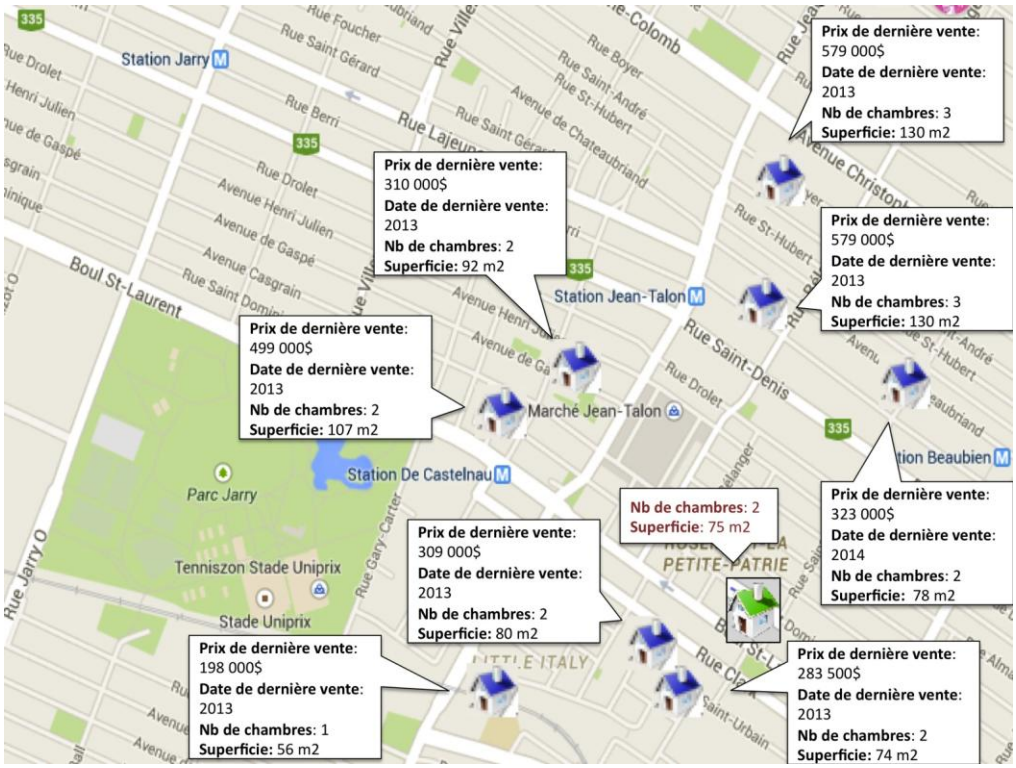
1.
2.
3.
….

B. En général, pensez-vous qu'il existe un (des) autre(s) critère(s) qui influe(nt) sur le choix de contrat de courtage?

1.
2.
…

ÉNONCÉ 6:

Estimez le prix de la maison verte que vous devez vendre. Justifiez votre réponse.



Prix estimé :
Justifications :

ÉNONCÉ 7:

Estimez le prix de la maison verte que vous devez vendre. Justifiez votre réponse.

Prix estimé :

Justifications :

ÉNONCÉ 8:

Estimez le prix de la maison verte que vous devez vendre. Justifiez votre réponse.

Prix estimé :
Justifications :

ÉNONCÉ 9:

A. Prenez le temps de revoir vos justifications données pour les énoncés 6, 7, et 8. Par ordre de priorité, sur quel(s) critère(s) vous êtes-vous basés pour estimer le prix de vente de la propriété verte?
(Continuez la liste au besoin. Veuillez fournir au minimum un critère).

1.
2.
3.
….

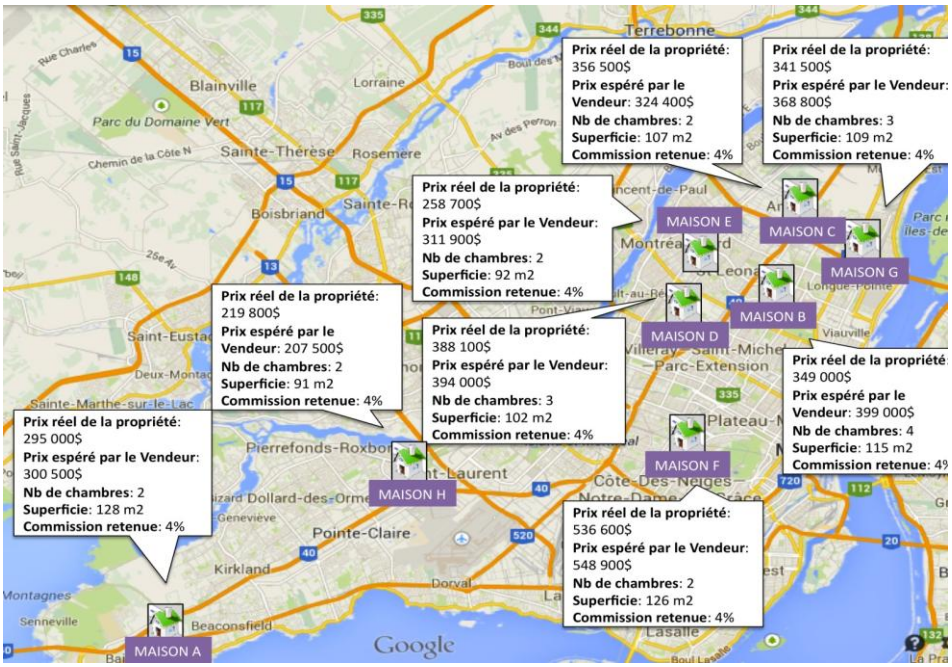
B. En général, pensez-vous qu'il existe un (des) autre(s) critère(s) qui influe(nt) sur l'estimation du prix de vente?

1.
2.
…

Exemplaire du post-test de connaissance

NUMÉRO
DATE

ÉNONCÉ 1:
Vous êtes nouvellement Courtier dans la ville de Montréal. Vous ne pouvez accepter pour le moment que 5 contrats de courtage parmi les 8 Maisons présentées sur la carte. Pour chacune des Maisons, dites si vous acceptez le contrat de courtage ou non, et justifier votre réponse.



Maisons…	Accepte : OUI ou NON	Justifications
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		

Rappel : Le total des contrats acceptés doit être de 5.

ÉNONCÉ 2:

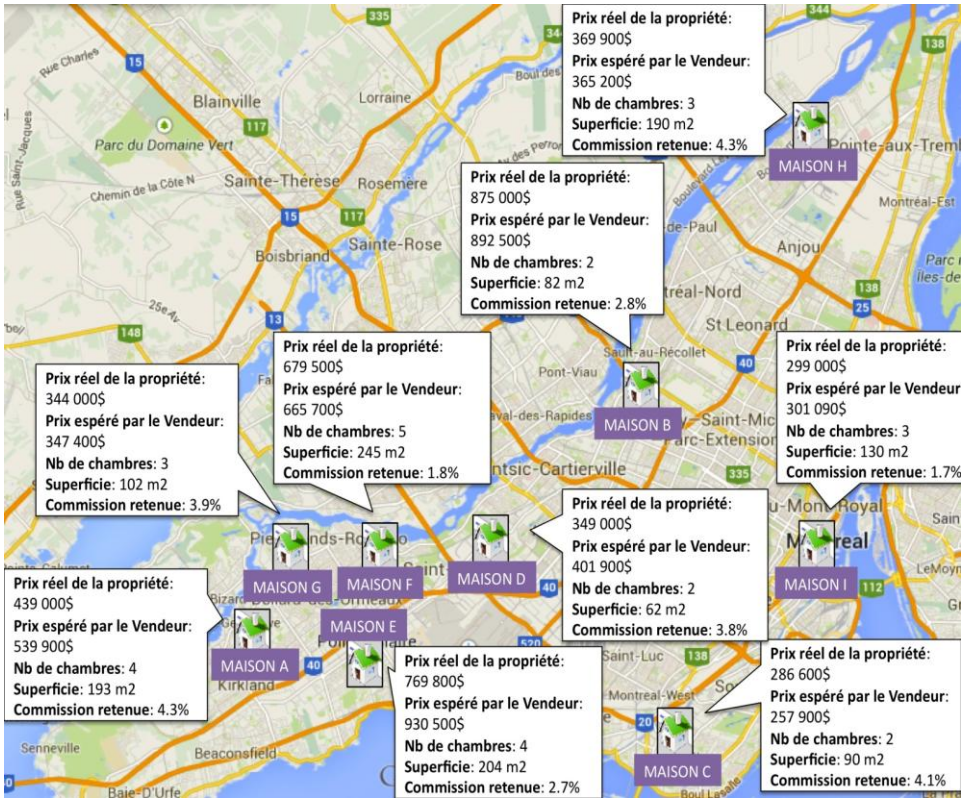
Vous êtes nouvellement Courtier dans la ville de Montréal. Vous ne pouvez accepter pour le moment que 5 contrats de courtage parmi les 8 Maisons présentées sur la carte. Pour chacune des Maisons, dites si vous acceptez le contrat de courtage ou non, et justifier votre réponse.

Maisons…	Accepte : OUI ou NON	Justifications
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		

Rappel : Le total des contrats acceptés doit être de 5.

ÉNONCÉ 3:

Vous êtes nouvellement Courtier dans la ville de Montréal. Vous ne pouvez accepter pour le moment que 6 contrats de courtage parmi les 9 Maisons présentées sur la carte. Pour chacune des Maisons, dites si vous acceptez le contrat de courtage ou non, et justifier votre réponse.

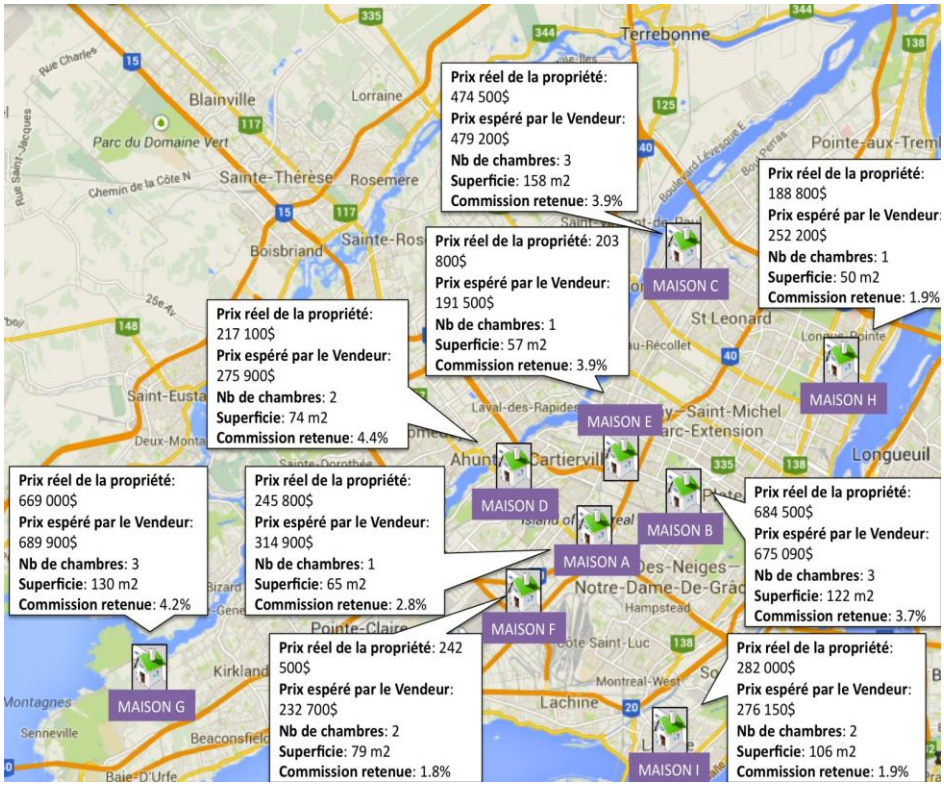


Maisons…	Accepte : OUI ou NON	Justifications
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		
I		

Rappel : Le total des contrats acceptés doit être de 6.

ÉNONCÉ 4:

Vous êtes nouvellement Courtier dans la ville de Montréal. Vous ne pouvez accepter pour le moment que 6 contrats de courtage parmi les 9 Maisons présentées sur la carte. Pour chacune des Maisons, dites si vous acceptez le contrat de courtage ou non, et justifier votre réponse.



Maisons…	Accepte : OUI ou NON	Justifications
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		
I		

Rappel : Le total des contrats acceptés doit être de 6.

ÉNONCÉ 5:

A. Prenez le temps de revoir vos justifications données pour les énoncés 1, 2, 3 et 4. Par ordre de priorité, sur quel(s) critère(s) vous êtes-vous basés pour sélectionner vos contrats de courtage?
(Continuez la liste au besoin. Veuillez fournir au minimum un critère).

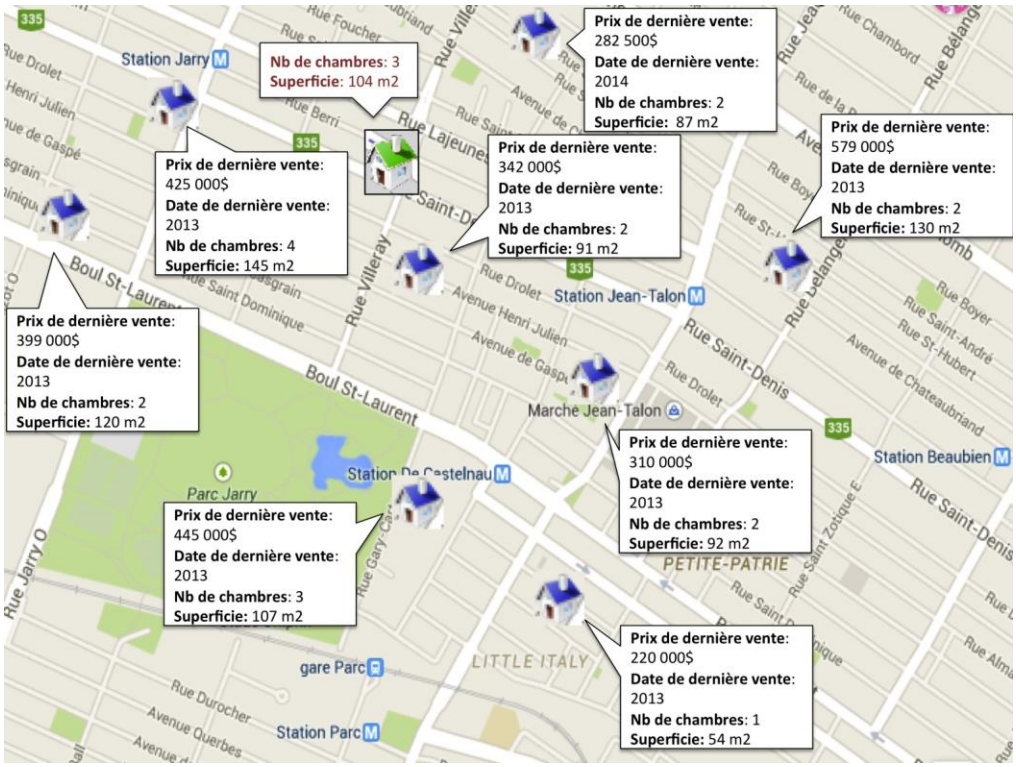
1.
2.
3.
….

B. En général, pensez-vous qu'il existe un (des) autre(s) critère(s) qui influe(nt) sur le choix de contrat de courtage?

1.
2.
…

ÉNONCÉ 6:

Estimez le prix de la maison verte que vous devez vendre. Justifiez votre réponse.



Prix estimé :
Justifications :

ÉNONCÉ 7:
Estimez le prix de la maison verte que vous devez vendre. Justifiez votre réponse.

Prix estimé :
Justifications :

ÉNONCÉ 8:

Estimez le prix de la maison verte que vous devez vendre. Justifiez votre réponse.

Prix estimé :

Justifications :

ÉNONCÉ 9:

A. Prenez le temps de revoir vos justifications données pour les énoncés 6, 7, et 8. Par ordre de priorité, sur quel(s) critère(s) vous êtes-vous basés pour estimer le prix de vente de la propriété verte?

(Continuez la liste au besoin. Veuillez fournir au minimum un critère).

1.

2.

3.

….

B. En général, pensez-vous qu'il existe un (des) autre(s) critère(s) qui influe(nt) sur l'estimation du prix de vente?

1.

2.

…

APPENDICE D

QUESTIONNAIRE DE MOTIVATION ET D'ENGAGEMENT

Tableau D.1 Version Auteur du questionnaire de motivation et d'engagement

Questions du questionnaire et les aspects motivationnels et d'engagement reliés	Question correspondante dans la version Participant
1. CHALLENGE	
1.1. Objectifs/Buts dans le jeu	
1.1.1. J'ai rapidement compris comment augmenter mon score dans le jeu.	1
1.1.2. Les objectifs du jeu étaient (score /3)	2
1.1.3. Lorsque j'atteignais les objectifs du jeu, j'étais satisfait(e).	31
1.1.4. J'étais frustré(e) lorsque je n'atteignais pas les objectifs du jeu.	33
1.1.5. J'ai rapidement compris les différentes étapes nécessaires afin d'atteindre les objectifs du jeu.	3
1.1.6. Afin d'accomplir les objectifs du jeu et d'augmenter mon score, les étapes nécessaires étaient les suivantes (score /5)	4
1.2. Niveaux de jeu et Difficulté	

1.2.1. Tout le long du jeu, j'ai eu la sensation que le niveau de difficulté variait.	5
1.2.2. Je trouve que le jeu était plus facile en début de partie qu'à la fin.	7
1.2.3. Les courtiers adversaires étaient de difficulté égale tout le long du jeu. (R)	21
1.2.4. J'ai eu l'impression que les courtiers adversaires étaient meilleurs à la fin qu'au début du jeu.	23
1.3. Adaptabilité	
1.3.1. J'ai eu l'impression que le jeu ajustait la difficulté en fonction de mon score.	8
1.3.2. J'ai eu l'impression que le jeu me fournissait des aides ou des consignes supplémentaires quand j'en avais besoin.	6
1.3.3. Tout le long du jeu, j'ai eu la sensation que la performance des courtiers adversaires variait.	9
1.3.4. Selon moi, le nombre de courtiers adversaires était toujours le même sur la carte. (R)	10
1.3.5. Selon moi, le nombre d'acheteurs (points rouges) était toujours le même sur la carte. (R)	11
1.3.6. Selon moi, le nombre de propriétés en vente (maisons vertes) était toujours le même sur la carte. (R)	13
1.3.7. Selon moi, il y avait des propriétaires (vendeurs) plus exigeants que d'autres.	15
1.3.8. Plus mon score était élevé, plus le jeu me paraissait difficile.	16
1.3.9. Plus mon score était bas, plus le jeu me paraissait facile.	18
1.3.10. J'ai eu l'impression que plus mon score augmentait et plus j'atteignais le (les) objectif(s) de jeu, plus les situations dans le jeu devenaient nouvelles.	19
1.3.11. J'ai eu l'impression que peu importe l'état de mon score (élevé ou bas), les situations dans le jeu étaient toujours exactement les mêmes. (R)	14
1.3.12. J'ai eu l'impression que plus mon score augmentait et plus j'atteignais le (les) objectif(s) de jeu, plus les situations dans le jeu devenaient complexes.	17
1.3.13. De manière plus concrète, je pense que les éléments suivants variaient dans le jeu : (score /6)	20
1.4. Estime de soi	
1.4.1. Lorsque je n'atteignais pas le (les) objectif(s), je ressentais un désintérêt pour le jeu.	34

1.4.2. Selon moi, le jeu a maintenu mon intérêt tout le long.	32
1.5. Tension/Pression	
1.5.1. Je me suis senti(e) nerveux(se) pendant que je jouais à ce jeu.	35
1.5.2. Je me sentais détendu(e) pendant que je jouais à ce jeu. (R)	38
1.5.3. Je sentais de la pression pendant que je jouais à ce jeu.	47
2. CURIOSITÉ	
2.1. Selon moi, le jeu m'a permis d'explorer facilement les différentes fonctionnalités disponibles.	22
2.2. J'ai pu tester facilement différentes stratégies de jeu.	50
2.3. Je me suis senti(e) créatif(e) en jouant à ce jeu.	51
2.4. En cas d'échec ou de difficulté, le jeu m'a fait comprendre les causes.	24
2.5. En cas d'échec ou de difficulté, le jeu m'a fait comprendre comment je pouvais mieux faire la prochaine fois.	27
2.6. Il y a des fonctionnalités du jeu que je n'utilisais pas au début et que j'ai utilisées par la suite.	52
2.7. J'ai exploré au début du jeu les différentes fonctionnalités nécessaires selon moi pour augmenter mon score.	53
2.8. La (Les) fonctionnalité(s) du jeu que j'utilisais le plus souvent était (étaient) :	54
2.9. La (Les) fonctionnalité(s) du jeu que j'utilisais le moins souvent était (étaient) :	55
2.10. J'ai découvert en cours de jeu des fonctionnalités qui m'ont aidé(e) à augmenter mon score, que je n'avais pas remarquées au début.	56
3. CONTRÔLE	
3.1. J'ai rapidement compris ce qu'il fallait faire pour que mon score augmente dans le jeu.	28
3.2. J'ai eu la sensation, en jouant à ce jeu, que mes actions avaient une réelle influence dans le jeu.	26
3.3. Je suis parvenu(e) à diriger mon personnage dans le jeu.	57
3.4. J'ai réussi à m'approprier les différentes fonctionnalités du jeu.	58

3.5. J'ai eu l'impression de ne pas parvenir à récupérer de mes erreurs dans le jeu. (R)	59
3.6. À un moment donné, j'ai été complètement bloqué(e) dans le jeu. (R)	61
3.7. Globalement, j'ai senti que j'avais le contrôle sur le jeu.	64
3.8. Le jeu m'a permis d'utiliser différentes stratégies de jeu.	65
3.9. Les différentes stratégies de jeu que j'ai utilisées pour augmenter mon score et atteindre le (les) objectif(s) de jeu étaient :	66
4. FEEDBACK ET ÉVALUATION	
4.1. Le jeu me donnait immédiatement une rétroaction (feedback) sur mes actions.	25
4.2. Les rétroactions (feedback) que me donnait le jeu me semblaient pertinentes.	29
4.3. Le jeu me faisait comprendre quand j'atteignais le (les) objectif(s) du jeu.	30
4.4. J'ai régulièrement pris connaissance de mon score dans le jeu.	67
4.5. J'ai régulièrement pris connaissance de mon classement par rapport aux autres courtiers dans le jeu.	68
4.6. J'ai eu la sensation d'avoir une rétroaction (feedback) éducative dans le jeu.	69
4.7. J'ai pu avoir un retour sur ma performance dans le jeu.	70
4.8. De manière plus concrète, les rétroactions (feedback) et/ou moyens de présenter ma performance en cours dans le jeu qui m'ont semblé les plus pertinents et informatifs étaient les suivants :	71
4.9. De manière plus concrète, les rétroactions (feedback) et/ou moyens de présenter ma performance en cours dans le jeu qui m'ont semblé inutiles étaient les suivants :	72
5. CONCENTRATION	
5.1. Dans le jeu, j'ai trouvé qu'il y avait trop d'informations et de fonctionnalités, au point de me déconcentrer.	36
5.2. Le jeu a retenu mon attention dès le début de la session de jeu.	37
5.3. Le jeu a retenu mon attention tout le long de la session de jeu.	39
5.4. Il m'a semblé que tout ce qu'on me demandait de faire dans le jeu avait une importance.	12

5.5. Au cours du jeu, j'ai été souvent distrait(e) par des éléments du jeu. (R)	41
5.6. Au cours du jeu, j'ai surtout focalisé mon attention sur les éléments suivants :	43
5.7. Au cours du jeu, je trouve que les éléments suivants ont détourné mon attention des objectifs du jeu (m'ont distrait).	44
6. IMMERSION	
6.1. J'ai eu la sensation, pendant la session de jeu, d'avoir perdu la notion du temps.	45
6.2. La session de jeu a duré environ 1h30, et cela m'a semblé durer : (temps en minute)	49
6.3. J'ai eu la sensation de fournir beaucoup d'effort mental en jouant à ce jeu. (R)	73
6.4. Au courant de la session de jeu, j'ai souvent été distrait par ce qui se passait autour de moi. (R)	42
6.5. Au courant de la session de jeu, j'ai souvent pensé à d'autres choses sans rapport avec le jeu. (R)	46
6.6. Je me suis senti(e) émotionnellement impliqué dans le jeu.	48
7. COMPÉTENCES/UTILITÉ DU JEU	
7.1. J'ai eu la sensation, après avoir joué à ce jeu, d'avoir développé des compétences dans le domaine de la vente immobilière.	74
7.2. J'ai eu l'impression de m'améliorer dans l'accomplissement du (des) objectif(s) du jeu tout au long du jeu.	75
7.3. Si j'avais à vendre une propriété dans Montréal demain, je me sentirais avantagé maintenant que j'ai joué au jeu.	76
7.4. J'ai l'impression de ne pas en savoir plus sur le métier de courtier immobilier après avoir joué à ce jeu. (R)	78
7.5. Il m'a fallu consulter plusieurs fois (plus de 3-4 fois) la feuille de consignes du jeu durant le jeu. (R)	60
7.6. Il m'a fallu poser plusieurs fois (plus de 3-4 fois) des questions à l'expérimentateur. (R)	62
7.7. Je me suis approprié(e) le jeu et ses fonctionnalités tout de suite, je n'ai pas eu besoin de consulter la feuille de consigne ou de poser des questions (sauf au tout début).	63
7.8. J'ai eu la sensation d'apprendre quelque chose dans le jeu tout en m'amusant.	79
7.9. Je me suis beaucoup ennuyé pendant que je jouais à ce jeu. (R)	40

7.10. Au moment de débuter le jeu, le domaine de la vente immobilière était un domaine pour lequel je n'avais aucun intérêt.	77
7.11. J'ai la sensation de n'avoir rien appris dans ce jeu. (R)	80
7.12. Je pense que j'étais été vraiment performant(e) dans ce jeu.	81
7.13. Je crois que je pourrais attribuer une certaine valeur à ce jeu.	82
7.14. Je pense que ce jeu est utile pour :	83

Version Participant du questionnaire de motivation et d'engagement

Questionnaire destiné aux JA

NUMÉRO: ___

Date : _____

Titre de la recherche : Jouer au courtier immobilier avec *Game of Homes*

Coordonnées de la chercheuse : Sophie Callies (callies.sophie@courrier.uqam.ca)

Ce questionnaire vise à recueillir vos impressions à la suite de votre expérience du jeu sérieux *Game of Homes*. Il devrait vous prendre environ 30 minutes pour y répondre.

Pour chaque item mentionné, indiquez sur une échelle de **1 (tout à fait faux)** à **7 (tout à fait vrai)** dans quelle mesure vous estimez l'item faux ou vrai, en cochant la case correspond le mieux à votre perception.

Soyez assuré(e) que toutes vos réponses demeureront confidentielles.

	1	2	3	4	5	6	7
	FAUX						VRAI
Mes impressions sur le jeu							
J'ai rapidement compris comment augmenter mon score dans le jeu.							
Les objectifs du jeu étaient							
J'ai rapidement compris les différentes étapes nécessaires afin d'atteindre les objectifs du jeu.							
Afin d'accomplir les objectifs du jeu et d'augmenter mon score, les étapes nécessaires étaient les suivantes :							

Tout le long du jeu, j'ai eu la sensation que le niveau de difficulté variait.							
J'ai eu l'impression que le jeu me fournissait des aides ou des consignes supplémentaires quand j'en avais besoin.							
Je trouve que le jeu était plus facile en début de partie qu'à la fin.							
J'ai eu l'impression que le jeu ajustait la difficulté en fonction de mon score.							
Tout le long du jeu, j'ai eu la sensation que la performance des courtiers adversaires variait.							
Selon moi, le nombre de courtiers adversaires était toujours le même sur la carte.							
Selon moi, le nombre d'acheteurs (points rouges) était toujours le même sur la carte.							
Il m'a semblé que tout ce qu'on me demandait de faire dans le jeu avait une importance.							
Selon moi, le nombre de propriétés en vente (maisons vertes) était toujours le même sur la carte.							
J'ai eu l'impression que peu importe l'état de mon score (élevé ou bas), les situations dans le jeu étaient toujours exactement les mêmes.							
Selon moi, il y avait des propriétaires (vendeurs) plus exigeants que d'autres.							
Plus mon score était élevé, plus le jeu me paraissait difficile.							
J'ai eu l'impression que plus mon score augmentait et plus j'atteignais les objectifs de jeu, plus les situations dans le jeu devenaient complexes.							
Plus mon score était bas, plus le jeu me paraissait facile.							
J'ai eu l'impression que plus mon score augmentait et plus j'atteignais les objectifs de jeu, plus les situations dans le jeu devenaient nouvelles.							
De manière plus concrète, je pense que les éléments suivants variaient dans le jeu :							
Les courtiers adversaires étaient de difficulté égale tout le long du jeu.							

Selon moi, le jeu m'a permis d'explorer facilement les différentes fonctionnalités disponibles.							
J'ai eu l'impression que les courtiers adversaires étaient meilleurs à la fin qu'au début du jeu.							
En cas d'échec ou de difficulté, le jeu m'a fait comprendre les causes.							
Le jeu me donnait immédiatement une rétroaction (feedback) sur mes actions.							
J'ai eu la sensation, en jouant à ce jeu, que mes actions avaient une réelle influence dans le jeu.							
En cas d'échec ou de difficulté, le jeu m'a fait comprendre comment je pouvais mieux faire la prochaine fois.							
J'ai rapidement compris ce qu'il fallait faire pour que mon score augmente dans le jeu.							
Les rétroactions (feedback) que me donnait le jeu me semblaient pertinentes.							
Le jeu me faisait comprendre quand j'atteignais les objectifs du jeu.							
Comment je me sentais en jouant							
Lorsque j'atteignais les objectifs du jeu, j'étais satisfait(e).							
Selon moi, le jeu a maintenu mon intérêt tout le long.							
J'étais frustré(e) lorsque je n'atteignais pas les objectifs du jeu.							
Lorsque je n'atteignais pas les objectifs, je ressentais un désintérêt pour le jeu.							
Je me suis senti(e) nerveux(se) pendant que je jouais à ce jeu.							
Dans le jeu, j'ai trouvé qu'il y avait trop d'informations et de fonctionnalités, au point de me déconcentrer.							
Le jeu a retenu mon attention dès le début de la session de jeu.							
Je me sentais détendu(e) pendant que je jouais à ce jeu.							
Le jeu a retenu mon attention tout le long de la session de jeu.							
Je me suis beaucoup ennuyé(e) pendant que je jouais à ce jeu.							
Au cours du jeu, j'ai été souvent distrait(e) par des éléments du jeu.							

Au courant de la session de jeu, j'ai souvent été distrait(e) par ce qui se passait autour de moi.							
Au cours du jeu, j'ai surtout focalisé mon attention sur les éléments suivants :							
Au cours du jeu, je trouve que les éléments suivants ont détourné mon attention des objectifs du jeu (m'ont distrait).							
J'ai eu la sensation, pendant la session de jeu, d'avoir perdu la notion du temps.							
Au courant de la session de jeu, j'ai souvent pensé à d'autres choses sans rapport avec le jeu.							
Je sentais de la pression pendant que je jouais à ce jeu.							
Je me suis senti(e) émotionnellement impliqué dans le jeu.							
La session de jeu a duré environ 1h30, et cela m'a semblé durer							
Mon comportement dans le jeu							
J'ai pu tester facilement différentes stratégies de jeu.							
Je me suis senti(e) créatif(ve) en jouant à ce jeu.							
Il y a des fonctionnalités du jeu que je n'utilisais pas au début et que j'ai utilisées par la suite.							
J'ai exploré au début du jeu les différentes fonctionnalités nécessaires selon moi pour augmenter mon score.							
La (Les) fonctionnalité(s) du jeu que j'utilisais le plus souvent était (étaient) :							
La (Les) fonctionnalité(s) du jeu que j'utilisais le moins souvent était (étaient):							

J'ai découvert en cours de jeu des fonctionnalités qui m'ont aidé(e) à augmenter mon score, que je n'avais pas remarquées au début.							
Je suis parvenu(e) à diriger mon personnage dans le jeu.							
J'ai réussi à m'approprier les différentes fonctionnalités du jeu.							
J'ai eu l'impression de ne pas parvenir à récupérer de mes erreurs dans le jeu.							
Il m'a fallu consulter plusieurs fois (plus de 3-4 fois) la feuille de consignes du jeu durant le jeu.							
À un moment donné, j'ai été complètement bloqué(e) dans le jeu.							
Il m'a fallu poser plusieurs fois (plus de 3-4 fois) des questions à l'expérimentateur.							
Je me suis approprié(e) le jeu et ses fonctionnalités tout de suite, je n'ai pas eu besoin de consulter la feuille de consigne ou de poser des questions à l'expérimentateur (sauf au tout début).							
Globalement, j'ai senti que j'avais le contrôle sur le jeu.							
Ma performance dans le jeu							
Le jeu m'a permis d'utiliser différentes stratégies de jeu.							
Les différentes stratégies de jeu que j'ai utilisées pour augmenter mon score et atteindre les objectifs de jeu étaient :							
J'ai régulièrement pris connaissance de mon score dans le jeu.							
J'ai régulièrement pris connaissance de mon classement par rapport aux autres courtiers dans le jeu.							
J'ai eu la sensation d'avoir une rétroaction (feedback) éducative dans le jeu.							
J'ai pu avoir un retour sur ma performance dans le jeu.							

De manière plus concrète, les rétroactions (feedback) et/ou moyens de présenter ma performance en cours dans le jeu qui m'ont semblé les plus pertinents et informatifs étaient les suivants :							
De manière plus concrète, les rétroactions (feedback) et/ou moyens de présenter ma performance en cours dans le jeu qui m'ont semblé les moins utiles étaient les suivants :							
J'ai eu la sensation de fournir beaucoup d'effort mental en jouant à ce jeu.							
J'ai eu la sensation, après avoir joué à ce jeu, d'avoir développé des compétences dans le domaine de la vente immobilière.							
J'ai eu l'impression de m'améliorer dans l'accomplissement des objectifs du jeu tout au long du jeu.							
Si j'avais à vendre une propriété dans Montréal demain, je me sentirais avantagé(e) maintenant que j'ai joué au jeu.							
Au moment de débuter le jeu, le domaine de la vente immobilière était un domaine pour lequel je n'avais aucun intérêt.							
J'ai l'impression de ne pas en savoir plus sur le métier de courtier immobilier après avoir joué à ce jeu.							
J'ai eu la sensation d'apprendre quelque chose dans le jeu tout en m'amusant.							
J'ai la sensation de n'avoir rien appris dans ce jeu.							
Je pense que j'étais été vraiment performant(e) dans ce jeu.							
Je crois que je pourrais attribuer une certaine valeur à ce jeu.							
Je pense que ce jeu est utile pour							

APPENDICE E

TRACES ISSUES DE L'EXPÉRIMENTATION 2

Tableau E.1 Détails des SPJ inclus dans les *logs* pour les participants inclus dans les analyses qualitatives de l'Expérimentation 2 pour les deux versions de *Game of Homes*

Légende :

- en vert: date à laquelle le module de contrôle interroge le RB
- en rouge: plan pédagogique généré ou action scripte activée
- en bleu : aides sur les stratégies et les tactiques générées

Abréviations : No = numéro de participant; « ContratBases » = Action 1 Enseigner les bases de la Compétence 1 « Sélectionner un contrat de courtage pertinent »; « ContratAvancé » = Action 3 Enseigner selon un niveau avancé la Compétence 1 « Sélectionner un contrat de courtage pertinent »; « ContratExpert » = Action 5 Enseigner selon un niveau expert la Compétence 1 « Sélectionner un contrat de courtage pertinent »; « PrixBases » = Action 2 Enseigner les bases de la Compétence 2 « Estimer le prix de vente de la propriété ».; « PrixAvancé » = Action 4 Enseigner selon un niveau avancé la Compétence 2 « Estimer le prix de vente de la propriété ».; « PrixExpert » = Action 6 Enseigner selon un niveau expert la Compétence 2 « Estimer le prix de vente de la propriété ».; « GestionVente » = Action 7 Vérifier le développement de la Compétence 1 et de la Compétence 2 dans la compréhension du processus de vente et la gestion de plusieurs contrats; « SituationCrise » = Action 8 Vérifier le développement de la Compétence 1 et de la Compétence 2 dans un contexte particulier de crise (rareté du marché).)

Version ‘SPJ Scriptés’	Version ‘SPJ Adaptés’
	No 2 1er février 2016 : p(C1)=0,60 et p(C2)=0,52 Actions du plan pédagogique généré : « ContratAvancé » « ContratExpert » « PrixAvancé » « PrixExpert » Aides : - stratégies de territoire, de gain de commission et de sous et sur estimation. *Fin de la partie – total de nombres de jours joués : 38*
No 3 1er février 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,50 Action 2 du script exécutée Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation, sur les comparables - aides sur la tactique de ne pas prendre trop de contrats, de ne pas rater de visites. 1er mars 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,99 Action 3 du script exécutée Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation, sur les comparables *Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 60*	No 4 1er février 2016 : p(C1)=0,47 et p(C2)=0,17 Actions du plan pédagogique généré : « ContratAvancé » « PrixBases » « PrixAvancé » « GestionVente » « ContratExpert » « ContratExpert » « PrixAvancé » « PrixExpert » Aides :

	- aides sur les stratégies de comparables 1er mars 2016 : p(C1)=0,83 et p(C2)=0,26 Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation, sur les comparables - aides sur la tactique de ne pas prendre trop de contrats, de ne pas rater de visites. *Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 68*
No 5 1er février 2016 : p(C1)=0,74 et p(C2)=0,28 Action 2 du script exécutée Aides : - aides sur les stratégies de l'état du marché, du territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation, sur les comparables - aides sur la tactique de ne pas rater de visites. 1er mars 2016 : p(C1)=0,96 et p(C2)=0,61 Action 3 du script exécutée Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation, sur les comparables - aides sur la tactique de ne pas prendre trop de contrats et de ne pas rater de visites. *Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 79*	No 6 1er février 2016 : p(C1)=0,86 et p(C2)=0,20 Actions du plan pédagogique généré : « ContratExpert » « PrixBases » « PrixAvancé » « PrixExpert » Aides : - aides sur les stratégies de comparables 1er mars 2016 : p(C1)=0,83 et p(C2)=0,26 Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation, sur les comparables - aides sur la tactique de ne pas prendre trop de contrats, de ne pas rater de visites. *Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 89*
No7	No 8

1er février 2016 : p(C1)=0,87 et p(C2)=0,15 Action 2 du script exécutée Aides : - aides sur les stratégies de l'état du marché, du territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation, sur les comparables 1er mars 2016 : p(C1)=0,94 et p(C2)=0,31 Action 3 du script exécutée Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation, sur les comparables 1er avril 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,28 Action 4 du script exécutée Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation, sur les comparables *Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 98*	1er février 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,57 Actions du plan pédagogique généré : « PrixAvancé » « SituationCrise » Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation - aides sur la tactique de ne pas prendre trop de contrats. *Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 35*
No9 1er février 2016 : p(C1)=0,98 et p(C2)=0,18 Action 2 du script exécutée Aides : - aides sur les stratégies de l'état du marché, de sous et sur estimation, sur les comparables 1er mars 2016 : p(C1)=0,98 et p(C2)=0,31 Action 3 du script exécutée Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation, sur les comparables 1er avril 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,55 Action 4 du script exécutée	No 10 1er février 2016 : p(C1)=0,68 et p(C2)=0,17 Actions du plan pédagogique généré : « PrixBases » « PrixAvancé » « GestionVente » « ContratExpert » « PrixAvancé » « PrixExpert » Aides : - aides sur l'état du marché 1er mars 2016 : p(C1)=0,97 et p(C2)=0,29

Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation - aides sur la tactique de ne pas rater de visites 1er mai 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,50 Action 5 du script exécutée - Aucune aide ne peut être exécutée dans cette action. 1er juin 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,47 Action 6 du script exécutée - Aucune aide ne peut être exécutée dans cette action. *Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 175*	Actions du plan pédagogique généré à nouveau : « PrixBases » « PrixAvancé » « PrixAvancé » « SituationCrise » Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation - aides sur la tactique de ne pas rater de visites. *Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 62*
No11 1er février 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,90 Action 2 du script exécutée Aides : - aides sur les stratégies de l'état du marché, de sous et sur estimation, sur les comparables - aides sur la tactique de ne pas rater de visites. 1er mars 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,98 Action 3 du script exécutée Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation, sur les comparables *Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 81*	No 13 1er février 2016 : p(C1)=0,79 et p(C2)=0,47 Actions du plan pédagogique généré : « ContratExpert » « PrixAvancé » « SituationCrise » *Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 41*

No15	No 16
1er février 2016 : p(C1)=0,96 et p(C2)=0,33 Action 2 du script exécutée Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation - aides sur la tactique de ne pas rater de visites. 1er mars 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,77 Action 3 du script exécutée Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation, sur les comparables - aides sur la tactique de ne prendre trop de contrats 1er avril 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,96 Action 4 du script exécutée Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation, sur les comparables - aides sur la tactique de ne pas rater de visites et de ne prendre trop de contrats 1er mai 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,98 Action 5 du script exécutée - Aucune aide ne peut être exécutée dans cette action. *Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 134*	1er février 2016 : p(C1)=0,79 et p(C2)=0,43 Actions du plan pédagogique généré : « PrixAvancé » « GestionVente » Aides : - Aucune aide n'a été générée 1er mars 2016 : p(C1)=0,88 et p(C2)=0,60 Actions du plan pédagogique généré à nouveau : « PrixAvancé » « SituationCrise » Aides : - aides sur les stratégies de territoire, de gain de commission, de sous et sur estimation - aides sur la tactique de ne pas rater de visites et de ne prendre trop de contrats 1er avril 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,73 Actions du plan pédagogique généré à nouveau : « PrixExpert » Aides : - aides sur les stratégies de comparables 1er mai 2016 : p(C1)=0,99 et p(C2)=0,92 *Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 139*

No 18 1er février 2016 : p(C1)=0,86 et p(C2)=0,20 Action 2 du script exécutée - Aucune aide n'a été générée 1er mars 2016 : p(C1)=0,98 et p(C2)=0,60 Action 3 du script exécutée *Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 70*	No 17 1er février 2016 : p(C1)=0,60 et p(C2)=0,20 Actions du plan pédagogique généré : « ContratAvancé » « ContratExpert » « PrixBases » « PrixAvancé » « PrixExpert » Aides : - aides sur les stratégies des comparables 1er mars 2016 : p(C1)=0,74 et p(C2)=0,26 *Fin de la partie - total de nombres de jours joués : 77*

APPENDICE F

ARTICLES PUBLIÉS ET PARTICIPATION À DES CONFÉRENCES DANS LE CADRE DE LA THÈSE

Basque, J., et Callies, S. (2012). Co-modéliser les connaisssances mobilisées dans la pratique professorale pour favoriser l'intégration de nouveaux professeurs dans les universités. *Actes du colloque de l'AIPU - Partie 2 (Association internationale de pédagogie universitaire)*, 493-500, Trois-Rivières, Québec.

Callies, S., Gravel, M., et Beaudry, E. (2016, accepté). Analysis of *Game of Homes*' logs: A comparison between scripted-based and automatically generated scenarios. *10th European Conference on Games Based Learning* (ECGBL 2016).

Callies, S., Sola, N., Beaudry, E., et Basque, J. (2015). An empirical evaluation of a serious simulation game architecture for automatic adaptation. Dans R. Munkvold et L. Kolas, *Proceedings of the 9th European Conference on Games Based Learning* (ECGBL 2015), 107-116.

Callies, S., Basque, J., et Beaudry, E. (2014). *Jouer au courtier immobilier avec le jeu sérieux Simmob* (Communication libre), 82e du Congrès de l'Acfas, Colloque 627 - Environnements numériques d'apprentissage, tuteurs intelligents et jeux sérieux, Montréal, Canada, Mai 2014.

Callies, S., et Basque, J., (2014). *Méthodes de design de jeux sérieux: une recension*. Conférencière invitée au Colloque CIRT@ à l'Université de Sherbrooke, Canada, 15-16 octobre 2014.

Callies, S., Basque, J., Beaudry, E. et Sola, N. (2013). Vers une architecture de génération automatique de scénarios pédagogiques pour les jeux sérieux éducatifs (JSÉ). *Atelier Serious games, jeux épistémiques numériques dans le cadre du colloque EIAH 2013*, Université Paul Sabatier, Toulouse, France.

Labranche, S., Sola, N., Callies, S., et Beaudry, E. (2014). Using Partial Satisfaction Planning to Automatically Select NPCs' Goals and Generate Plans in a Simulation Game. Dans *Proceedings of IEEE Conference on Computational Intelligence and Games*, Dortmund, Germany.

Léonard, M., Callies, S., et Basque, J. (2012). Modélisation semi-formelle et formelle des scénarios de travail et de formation. *Colloque Informatique Cognitive*, UQAM, Montréal.

BIBLIOGRAPHIE

Abt, C. (1987). *Serious Games*. Washington, D.C.: University Press of America.

Aleven, V., Myers, E., Easterday, M., et Ogan, A. (2010). Toward a framework for the analysis and design of educational games. Dans *Third IEEE international conference on digital game and intelligent toy enhanced learning*, 69-76.

Alvarez J., et Djaouti D. (2010). *Introduction au serious game*. Limoges : Questions théoriques.

Amory, A. (2007). Game object model version II: a theoretical framework for educational game development. *Educational Technology Research and Development, 55(1),* 51-77.

Arapi, P., Moumoutzis, N., Mylonakis, M., et Christodoulakis, S. (2007). A pedagogy-driven personalization framework to support adaptive learning experiences. Dans *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2007)*, Niigata, Japan.

Arroyo, I., et Woolf, B. (2005) Inferring learning and attitudes from a Bayesian Network of log file data. *Proceedings of the 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education*, 33-40.

Association for educational communications and technology (AECT). (1977). *The definition of educational technology*. Washington, DC: author.

Baker, R. S., Corbett, A. T., Koedinger, K. R., et Wagner, A. Z. (2004a). Off-task behavior in the cognitive tutor classroom: when students game the system. Dans *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, 383-390.

Baker, R. S., Corbett, A. T., et Koedinger, K. R. (2004b). Detecting student misuse of intelligent tutoring systems. *Intelligent tutoring systems*, 531-540.

Baker, R. S., Corbett, A., Koedinger, K., Evenson, S., Roll, I., Wagner, A., *et al*. (2006). Adapting to When Students Game an Intelligent Tutoring System. *Intelligent Tutoring Systems, 4053,* 392-401.

Baker, R. S., Corbett, A. T., Roll, I., et Koedinger, K. R. (2008). Developing a generalizable detector of when students game the system. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, *18(3),* 287-314.

Baker, R. S., de Carvalho, A. M. J. A., Raspat, J., Aleven, V., Corbett, A. T., et Koedinger, K. R. (2009). Educational software features that encourage and discourage "gaming the system". Dans *Proceedings of the 14th International Conference on Artificial Intelligence in Education*, 475-482.

Baker, R. S., D'Mello, S. K., Rodrigo, M. M. T., et Graesser, A. C. (2010). Better to be frustrated than bored: The incidence, persistence, and impact of learners' cognitive–affective states during interactions with three different computer-based learning environments. *International Journal of Human-Computer Studies*, *68(4),* 223-241.

Baker, R. S., Gowda, S. M., Corbett, A. T., et Ocumpaugh, J. (2012). Towards automatically detecting whether student learning is shallow. *Intelligent Tutoring Systems*, 444-453.

Bakkes, S. C. J., Spronck, P. H. M., et Van den Herik, H. J. (2009). Rapid and reliable adaptation of video game AI. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, *1(2)*, 93-104.

Bakkes, S. C., Spronck, P. H., et van Lankveld, G. (2012). Player behavioural modelling for video games. *Entertainment Computing*, *3(3*), 71-79.

Barab, S., Thomas, M., Dodge, T., Carteaux, R., et Tuzun, H. (2005). Making learning fun: Quest Atlantis, a game without guns. *Educational Technology Research and Development*, *53(1),* 86-107.

Barrows, H. S., et Tamblyn, R. M. (1980). *Problem-based learning: An approach to medical education*. New York: Springer.

Basque, J., Dao, K. et Contamines, J. (2005). L'apprentissage "situé" dans les cours en ligne : le cas du colloque scientifique virtuel (CSV). Dans P. Tchounikine, M. Joab et L. Trouche, *Actes de la conférence EIAH 2005 (Apprentissages informatiques pour l'Apprentissage Humain), Montpellier 25, 26 et 27 mai 2005* (pp. 177-188). Lyon, France : Institut National de Recherche Pédagogique.

Basque, J. (2006). *Introduction au design pédagogique*. Texte rédigé pour le cours à distance EDU 1030 Design pédagogique en formation d'adultes. Montréal, Canada : TÉLUQ.

Basque, J., Contamines, J. et Maina, M. (2010). Approches de design des environnements d'apprentissage. Dans Charlier, B. et Henri, F. (dir.), *Apprendre avec les technologies*, 109-119. Paris, France : Presses universitaires de France

Beaudry, E., Bisson, F., Chamberland, S., et Kabanza, F. (2010). Using markov decision theory to provide a fair challenge in a roll-and-move board game. Dans *IEEE Computational Intelligence and Games (CIG*), 1-8.

Beck, J. (2005). Engagement tracing: using response times to model student disengagement. Dans *Proceedings of the 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED 2005),* 88-95.

Béguin, P., et Pastré P. (2002). Working, learning, interacting through simulation. Dans *Proceedings of the 11th European Conference on Cognitive Ergonomics: cognition, culture and design*, 5-13.

Bertoli, P., Cimatti, A., et Traverso, P. (2004). Interleaving execution and planning for nondeterministic, partially observable domains. Dans *Proceedings of the 16th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2004), 16*, 657-661.

Blöte, A. W., Van der Burg, E., et Klein, A. S. (2001). Students' flexibility in solving two-digit addition and subtraction problems: Instruction effects. *Journal of Educational Psychology, 93*, 627-638.

Bottino, R. M., Ferlino, L., Ott, M., et Tavella, M. (2007). Developing strategic and reasoning abilities with computer games at primary school level. *Computers and Education, 49(4)*, 1272-1286.

Botturi, L. et Stubbs, T. (eds.) (2007). *Handbook of visual Languages in instructional design: Theories and Pratices*. Hershey, PA: Idea Group.

Bouvier, P., Sehaba, K., Lavoué, E., et George, S. (2013). Approche qualitative pour identifier et qualifier l'engagement des joueurs à partir de leurs traces d'interaction. Dans *Conférence en Ingénierie des Connaissances (IC 2013).*

Bransford, J, D., Brown, A. L., et Cocking, R, R. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. Washington DC: National Academy Press.

Brown, J. S., Collins, A. et Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher, 18(1),* 32-42.

Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review 31(1),* 21–32.

Brusilovsky, P., et Millán, E. (2007). User models for adaptive hypermedia and adaptive educational systems. Dans *The adaptive web*, 3-53.

Burgos, D., Moreno-Ger, P., Sierra, J. L., Fernandez-Manjon, B., et Koper, R. (2007). Authoring game-based adaptive units of learning with IMS Learning Design and e-Adventure. *International Journal of Learning Technology*, *3(3),* 252-268.

Callies, S., Gravel, M., et Beaudry, E. (2016, accepté). Analysis of *Game of Homes*' logs: A comparison between scripted-based and automatically generated scenarios. *10th European Conference on Games Based Learning* (ECGBL 2016).

Callies, S., Sola, N., Beaudry, E., et Basque, J. (2015). An empirical evaluation of a serious simulation game architecture for automatic adaptation. Dans R. Munkvold et L. Kolas, *Proceedings of the 9th European Conference on Games Based Learning* (ECGBL 2015), 107-116.

Catalano, C. E., Luccini, A. M., et Mortara, M. (2014). Best practices for effective design and evaluation of serious games. *International Journal of Serious Games*, *1(1),* 1-13.

Chamberlin, B., Trespalacios, J., et Gallagher, R. (2012). The learning games design model: immersion, collaboration, and outcomes-driven development. *International Journal of Game-Based Learning (IJGBL), 2(3)*, 87-110.

Charij, S., et Oikonomou, A. (2013). Using Biometric Measurement in Real-Time as a Sympathetic System in Computer Games. *International Journal of Game-Based Learning (IJGBL), 3(3),* 21-42.

Chen, S., et Michael, D. (2005). Proof of learning: Assessment in serious games. *GamasutraMag*. 2005 [En ligne].
Disponible: http://www.gamasutra.com/features/20051019/chen_01.shtml

Conati, C. (2002). Probabilistic assessment of user's emotions in educational games. *Applied Artificial Intelligence*, *16(7-8)*, 555-575.

Conati, C., Gertner, A., et Vanlehn, K. (2002). Using Bayesian networks to manage uncertainty in student modeling. *User modeling and user-adapted interaction*, *12(4),* 371-417.

Conati, C., et Zhou, X. (2002). Modeling students' emotions from cognitive appraisal in educational games. *Intelligent tutoring systems*, 944-954.

Conati, C., et Zhao, X. (2004). Building and evaluating an intelligent pedagogical agent to improve the effectiveness of an educational game. Dans *Proceedings of the 9th international conference on Intelligent user interfaces*, 6-13.

Conati, C., et Manske, M. (2009). Evaluating Adaptive Feedback in an Educational Computer Game. *Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent Virtual Agents*, Amsterdam, The Netherlands.

Conlan, O., Hampson, C., Peirce, N., et Kickmeier-Rust, M. (2009). Realtime Knowledge Space Skill Assessment for Personalized Digital Educational Games. Dans *Advanced Conference Learning Technologies, ICALT,* Riga, Lettonie, 538-542.

Corti, K. (2006). Games-based Learning; a serious business application. *Computer and Information Science, 34(6)*, 1-20.

Cowley, B., Moutinho, J. L., Bateman, C., et Oliveira, A. (2011). Learning principles and interaction design for 'Green My Place': A massively multiplayer serious game. *Entertainment Computing, 2(2),* 103-113.

Cram, A., Hedberg, J. G., Gosper, M., et Dick, G. (2011) Situated, embodied and social problem-solving in virtual worlds. *Research in Learning Technology, 19(3),* 259-271.

Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow : the psychology of optimal experience*. Paris, Robert Laffont.

De Freitas, S., et Oliver, M. (2006). How can exploratory learning with games and simulations within the curriculum be most effectively evaluated? *Computers and Education, 46(3),* 249-264.

De Freitas, S., et Jarvis, S. (2007). Serious games-engaging training solutions: A research and development project for supporting training needs. *British Journal ofEducational Technology, 38(3),* 523-525.

De Jong, T., Weinberger, A., Girault, I., Kluge, A., Lazonder, A.W., Pedaste, M., Ludvigsen, S., Ney, M., Wasson, B., Wichmann, A., Geraedts, C., Giemza, A., Hovardas, T., Julien, R., van Joolingen, W. R., Lejeune, A., Manoli, C. C., Matterman, Y., Sarapuu, T., Verkade, A., Vold, V., et Zacharia, Z. C. (2012). Using scenarios to design complex technology-enhanced learning environments. *Educational technology research and development, 60(5),* 883-901.

Denis, G. (2006). *Jeux vidéo éducatifs et motivation: application à l'enseignement du jazz*. Thèse de doctorat de l'École des mines.

Despotović-Zrakić M., Marković A., Bogdanović Z., Barać D., et Krčo S. (2012). Providing adaptivity in Moodle LMS courses. *Educational Technology and Society, 15(1),* 326-338.

De Vicente, A., et Pain, H. (2002). Informing the detection of the students' motivational state: an empirical study. *Intelligent tutoring systems*, 933-943.

Dickey, M. D. (2005). Engaging by design: How engagement strategies in popular computer and video games can inform instructional design. *Educational Technology Research and Development*, *53*(2), 67-83.

D'Mello, S. K., Dowell, N., et Graesser, A. C. (2009). Cohesion Relationships in Tutorial Dialogue as Predictors of Affective States. Dans *Artificial Intelligence In Education*, 9-16.

Dormans, J., et Bakkes, S. (2011). Generating missions and spaces for adaptable play experiences. *Computational Intelligence and AI in Games, 3(3),* 216-228.

Du Boulay, B., Avramides, K., Luckin, R., Martínez-Mirón, E., Méndez, G. R., et Carr, A. (2010). Towards systems that care: a conceptual framework based on motivation, metacognition and affect. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, *20(3),* 197-229.

Fenouillet, F., Kaplan, J., et Yennek, N. (2009). Serious games et motivation. Dans *4eme Conférence francophone sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH), vol. Actes de l'Atelier" Jeux Serieux: conception et usages*.

Fredricks, J. A., et McColskey, W. (2012). The measurement of student engagement: A comparative analysis of various methods and student self-report instruments. Dans *Handbook of research on student engagement*, 763-782.

Galarneau, L. (2005). Authentic learning experiences through play: Games, simulations and the construction of knowledge. *Digital Games Research Association (DiGRA),* Vancouver [En ligne].
Disponible: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=810065

Garrido, A., Morales, L., et Serina, I. (2012). Using AI Planning to Enhance E-Learning Processes. Dans *International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS),* 47-55

Garris, R., Ahlers, R., et Driskell, J. E. (2002). Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation and Gaming, 33(4),* 441-467.

Gee, J. P. (2003). What video games have to teach us about learning and literacy. *Computers in Entertainment (CIE), 1(1),* 20-20.

Gee, J. P. (2005). Learning by design: Good video games as learning machines. *E-Learning and Digital Media, 2(1),* 5-16.

Gee, J. P., Shaffer, D. W., Squire, K. R., et Halverson, R. (2005). Video Games and the future of Learning. *Phi Delta Kappan*, *67(2)*.

Gentile, M., La Guardia, D., Dal Grande, V., Ottaviano, S., et Allegra, M. (2014). An Agent Based Approach to designing Serious Game: the PNPV case study. *International Journal of Serious Games*, *2(1)*.

Gertner, A. S., Conati, C., et VanLehn, K. (1998). Procedural help in Andes: Generating hints using a Bayesian network student model. Dans *Proceedings of the 15th National Conference on Artificial Intelligence*, 106-111.

Gervás, P. (2014). Metrics for desired structural features for narrative renderings of game logs. *Entertainment Computing, 5(4),* 245-250.

Ghallab, M., Lau, D., et Traverso, P. (2004). *Automated Planning - theory and practice*: Morgan Kaufmann.

Ghergulescu, I., et Muntean, C. H. (2010). Assessment of motivation in gaming based e-learning. Dans *Proceedings of the IADIS International Conference on WWW/Internet*.

Göbel, S., Mehm, F., Radke, S., et Steinmetz, R. (2009). 80days: Adaptive digital storytelling for digital educational games. Dans *Proceedings of the 2nd International Workshop on Story-Telling and Educational Games (STEG'09), 498*.

Grappiolo, C., Cheong, Y.-G., Togelius, J., Khaled, R.; et Yannakakis, G. N. (2011). Towards player adaptivity in a serious game for conflict resolution. Dans *Third International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES),* 192–198.

Gredler, M. E. (2004). Games and simulations and their relationships to learning. *Handbook of research on educational communications and technology, 2,* 571-581.

Gros, B. (2007). Digital games in education: The design of games-based learning environments. *Journal of Research on Technology in Education*, *40*(1), 23-38.

Gunter, G., Kenny, R., et Vick, E. (2006). A case for a formal design paradigm for serious games. *The Journal of the International Digital Media and Arts Association, 3(1),* 93-105.

Gunter, G. A., Kenny, R. F., et Vick, E. H. (2008). Taking educational games seriously: using the RETAIN model to design endogenous fantasy into standalone educational games. *Educational Technology Research and Development, 56 (5-6),* 511-537.

Harrison, B. E., et Roberts, D. (2014). Analytics-Driven Dynamic Game Adaption for Player Retention in a 2-Dimensional Adventure Game. Dans *Tenth Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference*.

Hartley, T., et Mehdi, Q. (2009). Online action adaptation in interactive computer games. *Computers in Entertainment (CIE), 7(2),* 28-31.

Hastings, E. J., Guha, R. K., et Stanley, K. O. (2009). Demonstrating Automatic Content Generation in the Galactic Arms Race Video Game. Dans *Artificial Intelligence for Interactive Digital Entertainment Conference (AIIDE)*.

Hausmann, R. G., Vuong, A., Towle, B., Fraundorf, S. H., Murray, R. C., et Connelly, J. (2013). An Evaluation of the Effectiveness of Just-In-Time Hints. Dans *Artificial Intelligence in Education (AIED),* 791-794.

Hawes, G. R., et Hawes, L. S. (1982). *The concise dictionary of education*. New York : Van Nostrand Reinhold.

Heraz, A., et Frasson, C. (2009). Predicting Learner Ansers Correctness through Brainwaves Assessment and Emotional Dimensions. Dans *Artificial Intelligence in Education (AIED). Building Learning Systems that Care: from Knowledge Representation to Affective Modelling, Vol. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications 200*, 49-56.

Hirumi, A., Appelman, B., Rieber, L., et Van Eck, R. (2010). Preparing instructional designers for game-based learning: Part 1. *TechTrends*, *54(3),* 27-37.

Hocine, N., Gouaîch, A., Di Loreto, I., et Abrouk, L. (2011). État de l'art des techniques d'adaptation dans les jeux ludiques et sérieux. *Revue d'intelligence arficielle, 25(2),* 253-280.

Hodhod R., Kudenko D., et Cairns P. (2009). Serious Games to Teach Ethics. Dans *Proceedings of AISB'09: Artificial and Ambient Intelligence.* Edinburgh, Scotland, UK.

Horstman, T., et Kerr, S. (2010). An analysis of design strategies for creating educational experiences in virtual environments. Dans *New Science of Learning*, 183-203.

Hudlicka, E. (2009). Affective game engines: motivation and requirements. Dans *Proceedings of the 4th international conference on foundations of digital games*, 299-306.

Hull, A., et Du Boulay, B. (2011). Motivational and metacognitive feedback: linking the past to the present. Dans *Artificial Intelligence in Education (AIED)*, 600-602.

Hung, W., et Van Eck, R. (2010). Aligning problem solving and gameplay: A model for future research and design. *Interdisciplinary models and tools for serious games: Emerging concepts and future directions*, 227-263.

Hwang, G. J., Sung, H. Y., Hung, C. M., Huang, I., et Tsai, C. C. (2012). Development of a personalized educational computer game based on students' learning styles. *Educational Technology Research and Development, 60(4)*, 623-638.

Jennings-Teats, M., Smith, G., et Wardrip-Fruin, N. (2010). Polymorph: dynamic difficulty adjustment through level generation. Dans *Proceedings of the 2010 Workshop on Procedural Content Generation in Games*, 11:1–11:4

Jonassen, D. (1997). Instructional design models for well-structured and ill-structured problem-solving learning outcomes. *Educational Technology Research and Development, 45(1),* 65-94.

Kapp, K., Blair, L., et Mesch, R. (Eds.) (2014). *The gamification of learning and instruction fieldbook: Ideas into practice*. San Francisco, CA: Wiley.

Karpinskyj, S., Zambetta, F., et Cavedon, L. (2014). Video game personalisation techniques: A comprehensive survey. *Entertainment Computing, 5(4),* 211-218.

Kazmi, S., et Palmer, I. J. (2010). Action recognition for support of adaptive gameplay: A case study of a first person shooter. *International Journal of Computer Games Technology*.

Keller, J. M. (1983). Motivational design of instruction. Dans C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models: An overview of their current status*, 383-432. London/Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.

Keller, J. M. (1999). Using the ARCS motivational process in computer-based instruction and distance education. *New directions for teaching and learning, 78*, 37-47.

Kenny, R. F., et Gunter, G. A. (2007). Endogenous fantasy-based serious games: Intrinsic motivation and learning. *International Journal of Social Sciences, 2(1),* 8-13.

Kickmeier-Rust, M. D., Augustin, T., et Albert, D. (2011). Personalized storytelling for educational computer games. Dans *Serious Games Development and Applications*, 13-22.

Kiili, K. (2005). Digital game-based learning: Towards an experiential gaming model. *The Internet and Higher Education, 8(1)*, 13-24.

Kiili, K., de Freitas, S., Arnab, S., et Lainema, T. (2012). The design principles for flow experience in educational games. *Procedia Computer Science*, *15*, 78-91.

Kiili, K., Lainema, T., de Freitas, S., et Arnab, S. (2014). Flow framework for analyzing the quality of educational games. *Entertainment Computing, 5(4),* 367-377.

Kivikangas, J. M., Chanel, G., Cowley, B., Ekman, I., Salminen, M., Järvelä, S., et Ravaja, N. (2011). A review of the use of psychophysiological methods in game research. *Journal of Gaming and Virtual Worlds, 3(3),* 181–199.

Kok, A. (2014). A conceptual design model for CBT development: A NATO case study. *Education and Information Technologies, 19(1),* 193-207.

Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. New Jersey: Prentice-Hall.

Koster, R. (2013). *Theory of fun for game design*. Paraglyph Press.

Lafrenière, M. A. K., Verner-Filion, J., et Vallerand, R. J. (2012). Development and validation of the Gaming Motivation Scale (GAMS). *Personality and Individual Differences, 53(7),* 827-831.

Lavergne-Boudier, V., et Dambach, Y. (2010). *Serious Game : Révolution pédagogique*. Paris : Lavoisier.

Law, E. L. C., et Sun, X. (2012). Evaluating user experience of adaptive digital educational games with Activity Theory. *International Journal of Human-Computer Studies, 70(7),* 478-497.

Lemaire, P., et Callies, S. (2009). Children's strategies in complex arithmetic. *Journal of Experimental Child Psychology, 103(1),* 49-65.

Li, B., et Riedl, M. (2010). An offline planning approach to game plotline adaptation. Dans *Proceedings of the 6th Annual AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment (AIIDE)*.

Lopes, R., et Bidarra, R. (2011). Adaptivity challenges in games and simulations: A survey. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games 3(2)*, 85-99.

Lukosch, H., Van Bussel, R., et Meijer, S. (2012). A Game Design Framework for vocational education. *International Journal of Social and Human Sciences, 6(1)*.

Magerko, B., Heeter, C., Fitzgerald, J., et Medler, B. (2008). Intelligent adaptation of digital game-based learning. Dans *Proceedings of the 2008 Conference on Future Play: Research, Play, Share*, 200-203.

Malone, T. W. (1981). Toward a theory of intrinsically motivating instruction. *Cognitive science*, *5(4)*, 333-369.

Malone, T. W., et Lepper, M. R. (1987). Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations for learning. Dans R. E. Snow et M. J. Farr (Eds.), *Aptitude, Learning and Instruction III: Conative and affective process analyses*, 223-253. Hilsdale, NJ: Erlbaum.

Manske, M., et Conati, C. (2005). Modelling Learning in an Educational Game. Dans *Artificial Intelligence in Education (AIED)*, 411-418.

Marne, B., Huynh-Kim-Bang, B., et Labat, J. M. (2011). Articuler motivation et apprentissage grâce aux facettes du jeu sérieux. Dans *Actes de la conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH),* 69-80.

Marne, B., et Labat, J. M. (2012). Implémentation de patrons de conception pour l'adaptation des parcours pédago-ludiques dans les jeux sérieux. Dans *8ème Colloque Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement (TICE)*, 69-79.

Marfisi-Schottman, I., George, S., et Tarpin-Bernard, F. (2010). Tools and methods for efficiently designing serious games. Dans *Proceedings of the 4th Europeen Conference on Games Based Learning (ECGBL)*, 226-234.

Martín, M., Álvarez, A., Fernández-Castro, I., et Urretavizcaya, M. (2011). Adapted feedback supported by interactions of blended-learning actors: a proposal. Dans *Artificial Intelligence in Education (AIED)*, 205-212.

Mayer, R. E. (2011). Towards a science of motivated learning in technology-supported environments. *Educational Technology Research and Development, 59(2),* 301-308.

McNamara, D., Jackson, G., et Graesser, A. (2009). Intelligent tutoring and games (ITaG). Dans *Workshop on Intelligent Educational Games at the 14th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED),* 1-10.

McQuiggan, S. W., et Lester, J. C. (2007). Modeling and evaluating empathy in embodied companion agents. *International Journal of Human-Computer Studies*, *65(4),* 348-360.

Merrill, M. D. (2002). First principles of instruction. *Educational Technology Research and Development, 50(3),* 43–59.

Millington, I., et Funge, J. (2009). *Artificial intelligence for games*. Morgan Kaufmann.

Mills, C., et Dalgarno, B. (2007). A conceptual model for game-based intelligent tutoring systems. Dans *Proceedings of ASCILITE*, 692–701.

Mitgutsch, K., et Alvarado, N. (2012). Purposeful by design?: a serious game design assessment framework. In *Proceedings of the International Conference on the foundations of digital games*, 121-128.

Moreno-Ger, P., Burgos, D., Martinez-Ortiz, I. n., Sierra, J. L., et Fernandez-Manjon, B. (2008). Educational game design for online education. *Computers in Human Behavior, 24(6)*, 2530-2540.

Muñoz, K., Noguez, J., Kevitt, P. M., Neri, L., Robledo-Rella, V., et Lunney, T. (2009). Adding features of educational games for teaching Physics. Dans *Frontiers in Education Conference, 2009. FIE'09. 39th IEEE*, 1-6.

Muñoz K., Kevitt P.M., Lunney T., Noguez J., et Neri L. (2011). An emotional student model for game-play adaptation. *Entertainment Computing, 2(2),* 133-141.

Muratet, M., Viallet, F., Torguet, P., et Jessel, J. P. (2009). Une ingénierie pour jeux sérieux. *Conférence francophone sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH), Atelier Jeux Sérieux,* LIUM, Université du Maine.

Muratet, M., Delozanne, E., Torguet, P., et Viallet, F. (2012). Serious game and students' learning motivation: effect of context using prog&play. *Intelligent Tutoring Systems*, 123-128.

Murray, T., et Arroyo, I. (2002). Toward measuring and maintaining the zone of proximal development in adaptive instructional systems. Dans *Intelligent Tutoring Systems*, 749-758.

Nadolski, R. J., Hummel, H. G. K., van den Brink, H. J., Hoefakker, R. E., Slootmaker, A., Kurvers, H. J., *et al*. (2008). EMERGO: A methodology and toolkit for developing serious games in higher education. *Simulation and Gaming*, *39(3),* 338-352.

Negnevitsky, M. (2002). *Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems*. Addison-Wesley/Pearson Education.

Niehaus, J. et Riedl, M. (2009a). Toward scenario adaptation for learning. Dans *Proceedings of the Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED): Building Learning Systems that Care : From Knowledge Representation to Affective Modelling*, *3*, 686–688.

Niehaus, J. et Riedl, M. O. (2009b). Scenario adaptation: An approach to customizing computer-based training games and simulations. Dans *Proceedings of the Artificial Intelligence in Education (AIED) 2009 Workshop on Intelligent Educational Games*.

Nkambou, R. (2006). Managing Student Emotions in Intelligent Tutoring Systems. Dans *FLAIRS Conference*, 389-394.

Nkambou, R., Bourdeau, J., et Mizoguchi, R. (2010). *Advances in Intelligent Tutoring Systems*. Berlin / Heidelberg.: Springer.

Ocio, S. (2012). Adapting AI Behaviors To Players in Driver San Francisco: Hinted-Execution Behavior Trees. Dans *Eighth Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference (AIIDE)*.

O'Keeffe, I., Brady, A., Conlan, O., et Wade, V. (2006). Just-in-time generation of pedagogically sound, context sensitive personalized learning experiences. *International Journal on E-learning*, *5(1),* 113-127.

Paquette, G. (2002a). *L'ingénierie pédagogique: Pour construire l'apprentissage en réseaux*. Sainte-Foy, Canada: Presses de l'Université du Québec.

Paquette, G. (2002b). *Modélisation des connaissances et des compétences, pour concevoir et apprendre*. Québec : Presses de l'Université du Québec.

Paquette, G. (2003). L'ingénierie cognitive des systèmes de téléapprentissage. *Pédagogies.net: l'essor des communautés virtuelles* d'apprentissage. Sainte-Foy: Presses de l'Université du Québec.

Paquette, L., Lebeau, J. F., Beaulieu, G., et Mayers, A. (2012). Automating next-step hints generation using ASTUS. *Intelligent Tutoring Systems*, 201-211.

Panzoli, D., Qureshi, A., Dunwell, I., Petridis, P., de Freitas, S., et Rebolledo-Mendez, G. (2010). Levels of interaction (loi): a model for scaffolding learner engagement in an immersive environment. *Intelligent Tutoring Systems*, 393-395.

Paraskeva, F., Mysirlaki, S., et Papagianni, A. (2010). Multiplayer online games as educational tools: Facing new challenges in learning. *Computers and Education*, *54(2)*, 498-505.

Pedersen, C., Togelius, J., et Yannakakis, G. N. (2009). Modeling player experience in super mario bros. Dans *Computational Intelligence and Game (CIG)*, 132-139.

Pedersen, C., Togelius, J., et Yannakakis, G. N. (2010). Modeling player experience for content creation. *Computational Intelligence and AI in Games*, *2(1)*, 54-67.

Peirce, N., Conlan, O., et Wade, V. (2008). Adaptive educational games: Providing non-invasive personalised learning experiences. Dans *Second IEEE International Conference on Digital Games and Intelligent Toys Based Education*, 28-35.

Pernin, J.-P. et Lejeune, A. (2004). Dispositifs d'apprentissage instrumentés par les technologies : vers une ingénierie centrée sur les scénarios. Dans *Actes du colloque TICE*, 407–414.

Perron, Y. (2012). *Vocabulaire du jeu vidéo*. Montréal, Canada : Office québécois de la langue française. Récupéré du site de l'OQLF : http://www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/bibliotheque/dictionnaires/20120701_jeu_video.pdf

Prensky, M. (2001). Digital natives, digital immigrants part 1. *On the horizon*, *9(5)*, 1-6.

Protopsaltis, A., Auneau, L., Dunwell, I., Freitas, S. d., Petridis, P., Arnab, S., *et al*. (2011). Scenario-based serious games repurposing. Dans *Proceedings of the 29th ACM International Conference on Design of Communication*, *11*, 87-110.

Quinn, C. (2005). *Engaging learning: Designing e-learning simulation games*. San Francisco: Pfeiffer.

Rafferty, A., Brunskill, E., Griffiths, T., et Shafto, P. (2011). Faster Teaching by POMDP Planning. Dans *Artificial Intelligence in Education (AIED), 6738*, 280–287.

Raybourn, E. M. (2007). Applying simulation experience design methods to creating serious game-based adaptive training systems. *Interacting with Computers*, *19(2),* 206-214.

Reeves, T. C., Herrington, J., et Oliver, R. (2002). Authentic activities and online learning. *Annual Conference Proceedings of Higher Education Research and Development Society of Australasia*. Perth, Australia.

Rieber, L. P., et Noah, D. (2008). Games, simulations, and visual metaphors in education: antagonism between enjoyment and learning. *Educational Media International*, *45(2),* 77-92.

Riedl, M. O., et Sugandh, N. (2008). Story planning with vignettes: Toward overcoming the content production bottleneck. Dans *Interactive Storytelling*, 168-179.

Rosas, R., Nussbaum, M., Cumsille, P., Marianov, V., Correa, M., Flores, P., ... et Rodriguez, P. (2003). Beyond Nintendo: design and assessment of educational video games for first and second grade students. *Computers and Education*, *40(1),* 71-94.

Russell, S. J., et Norvig, P. (2010). *Intelligence artificielle: Avec plus de 500 exercices*. Pearson Education France.

Sailer, M., Hense, J., Mandl, H., et Klevers, M. (2013). Psychological Perspectives on Motivation through Gamification. *Interaction Design and Architecture(s) Journal*, *19*, 28-37.

Sauvé, L. et Chamberland, G. (2006*). Jeux, jeux de simulation et jeux de rôle : une analyse exploratoire et pédagogique*. Cours TEC 1280 : Environnement d'apprentissage multimédia sur l'inforoute. Québec, Télé-université.

Sauvé, L., et Kaufman, D. (2010). *Jeux et simulations éducatifs*. Presses de l'Université du Québec.

Sauvé, L. (2014). Des dispositifs en ligne pour personnaliser l'apprentissage tout au long de la vie: quelques recommandations. *Distances et médiations des savoirs*. *Distance and Mediation of Knowledge*, *(5)*.

Schell, J. (2008). *The Art of Game Design : A book of lenses (1st éd.)*. Morgan Kaufmann Publishers Inc.

Sina, S., Rosenfeld, A., et Kraus, S. (2014). Generating content for scenario-based serious games using CrowdSourcing. Dans *The 28th AAAI Conference on Artificial Intelligence*.

Shaker, N., Yannakakis, G. N., et Togelius, J. (2010). Towards Automatic Personalized Content Generation for Platform Games. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment (AIIDE)*.

Shute, V. J. (2011). Stealth assessment in computer-based games to support learning. *Computer games and instruction*, *55(2)*, 503-524.

Shute, V. J., Ventura, M., Bauer, M. I., et Zapata-Rivera, D. (2011). Melding the power of serious games and embedded assessment to monitor and foster learning: Flow and grow. Dans U. Ritterfeld, M. J. Cody et P. Vorderer (Eds.), *The social science of serious games: Theories and applications*. Philadelphia, PA: Routledge/LEA.

Snowdon, J., et Oikonomou, A. (2011). Creating more entertaining and re-playable games by dynamically introducing and manipulating, static gameplay elements and events. Dans *16th International Conference on Computer Games (CGAMES)*, 94-100.

Sola, N. (2015). *Estimation des connaissances d'un joueur-apprenant et génération de scénarios adaptés dans un jeu sérieux de simulation immobilière*. (Mémoire de maîtrise inédit). Université du Québec à Montréal.

Spiro, R. J. (1988). Cognitive Flexibility Theory: Advanced Knowledge Acquisition in Ill-Structured Domains. *Technical Report n°441*.

Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Coulson, R. L., Jacobson, M., Durgunoglu, A., Ravlin, S., et Jehng, J. C. (1992). *Knowledge Acquisition for Application: Cognitive Flexibility and Transfer of Training in III-Structured Domains*. (Research Note 92-21). Alexandria VA: U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.

Spronck, P., Sprinkhuizen-Kuyper, I., et Postma, E. (2004). Difficulty scaling of game AI. Dans *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Games and Simulation (GAME-ON 2004)*, 33-37.

Squire, K. (2003). Video Games in Education. *International Journal of Intelligent Simulations and Gaming*, *2(1)*, 49-62.

Squire, K. (2005). Game-Based Learning: Present and Future State of the Field. *Masie Center E-learning Consortium*, *31*.

Staalduinen, J. P. V., et de Freitas, S. (2011). A game-based learning framework: Linking game design and learning outcomes. Dans M. S. Khyne (ed.), *Learning to Play: Exploring the Future of Education with Video Games*, 29–54. Peter Lang, New York.

Steiner, C. M., Kickmeier-Rust, M. D., Mattheiss, E., et Albert, D. (2009). Undercover: Non-invasive, adaptive interventions in educational games. Dans *Proceedings of 80Days' 1st International Open Workshop on Intelligent Personalisation and Adaptation in Digital Educational Games*, 55-65.

Sweetser, P., et Wyeth, P. (2005). *GameFlow: a model for evaluating player enjoyment in games*. *Computers in Entertainment, 3(3),* 3-3.

Tamir, P. (1994). Discovery learning and teaching. Dans T. Husen, et T. N. Postlethwaite (Eds.), *The International Encyclopedia of Education* (2e ed., 1538-1544). Oxford : Elsevier Science Ltd.

Tchounikine, P. (2009). *Précis de recherche en Ingénierie des EIAH*. [En ligne]. Disponible : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00413694/

Theocharous, G., Beckwith, R., Butko, N., et Philipose, M. (2009). Tractable POMDP Planning Algorithms for Optimal Teaching in 'SPAIS'. Dans *Proceedings of the 21st International Joint Conferences on Artificial Intelligence (IJCAI) Workshop on Plan, Activity, and Intent Recognition*.

Thomas, P., Labat, J. M., Muratet, M., et Yessad, A. (2012). How to evaluate competencies in game-based learning systems automatically?. *Intelligent Tutoring Systems*, 168-173.

Togelius, J., De Nardi, R., et Lucas, S. M. (2007). Towards automatic personalised content creation for racing games. Dans *Computational Intelligence and Games (CIG),* 252-259.

Togelius, J., Yannakakis, G. N., Stanley, K. O., et Browne, C. (2011). Search-based procedural content generation: A taxonomy and survey. *Computational Intelligence and AI in Games*, *3(3),* 172-186.

Torrente, J., Moreno-Ger, P., et Fernandez-Manjon, B. (2008). Learning Models for the Integration of Adaptive Educational Games in Virtual Learning Environments Technologies for E-Learning and Digital Entertainment. *Lecture Notes in Computer Science, 5093*, 463-474.

Vachiratamporn, V., Moriyama, K., Fukui, K. I., et Numao, M. (2014). An implementation of affective adaptation in survival horror games. Dans *Computational Intelligence and Games (CIG)*, 1-8.

Vallerand, R. J., et Hess, U. (2000). *Méthodes de recherche en psychologie*. G. Morin.

ValveCorporation, *Left4Dead*, 2008. [En ligne]. Disponible sur internet: http://www.l4d.com/game.html

Van Der Spek, E. D. (2012). Towards designing for competence and engagement in serious games. Dans *Serious Games Development and Applications*, 98-109.

VanDeventer, S. S., et White, J. A. (2002). Expert Behavior in Children's Video Game Play. *Simulation and Gaming*, *33(1)*, 28-48.

Vandewaetere, M., Vandercruysse, S., et Clarebout, G. (2012). Learners' perceptions and illusions of adaptivity in computer-based learning environments. *Educational Technology Research and Development*, *60(2)*, 307-324.

Van Staalduinen, J. P., et de Freitas, S. (2011). A Game-Based Learning Framework: Linking Game Design and Learning. *Learning to play: exploring the future of education with video games*, *53*, 29-54.

Vosniadou, S., et Brewer, W. F. (1987). Theories of knowledge restructuring in development. *Review of Educational Research*, *57(1*), 51-67.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.

Waalkens, M., Aleven, V., et Taatgen, N. (2011). Does supporting multiple student strategies in intelligent tutoring systems lead to better learning? Dans *Artificial Intelligence in Education (AIED)*, 572-574.

Westera, W., Nadolski, R. J., Hummel, H. G. K., et Wopereis, I. G. J. H. (2008). Serious games for higher education: a framework for reducing design complexity. *Journal of Computer Assisted Learning*, *24(5)*, 420-432.

Westera, W., Nadolski, R., et Hummel, H. (2014). Serious Gaming Analytics: What Students Log Files Tell Us about Gaming and Learning. *International Journal of Serious Games*, *1(2)*, 35-50.

Wouters, P., Van Nimwegen, C., Van Oostendorp, H., et Van Der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, *105(2)*, 249.

Yannakakis, G. N. (2008). How to model and augment player satisfaction: a review. Dans *Proceedings of the 1st Workshop on Child, Computer and Interaction*, Chania, Crete.

Yannakakis, G. N., et Hallam, J. (2009). Real-time game adaptation for optimizing player satisfaction. Dans *Computational Intelligence and AI in Games, 1(2),* 121-133.

Yannakakis, G. N., Martínez, H. P., et Jhala, A. (2010). Towards affective camera control in games. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, *20(4),* 313-340.

Yu, H., et Trawick, T. (2011). Personalized Procedural Content Generation to Minimize Frustration and Boredom Based on Ranking Algorithm. Dans *Artificial Intelligence for Interactive Digital Entertainment Conference (AIIDE)*.

Yusoff, A., Crowder, R., Gilbert, L., et Wills, G. (2009). A conceptual framework for serious games. *Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT),* 21-23.

Zook, A., Lee-Urban, S., Riedl, M. O., Holden, H. K., Sottilare, R. A. et Brawner, K. W. (2012). Automated scenario generation: Toward tailored and optimized military training in virtual environments. Dans *Proceedings of the Foundations of Digital Games (FDG),* 164–171, Raleigh, North Carolina.