



Master

2010

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

Se plonger dans un jeu pour mieux apprendre ? Théorie, conception et
expérimentation autour des jeux vidéo pédagogiques

Sutter Widmer, Denise

How to cite

SUTTER WIDMER, Denise. Se plonger dans un jeu pour mieux apprendre ? Théorie, conception et expérimentation autour des jeux vidéo pédagogiques. Master, 2010.

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:5285>



UNIVERSITÉ DE GENÈVE

**Se plonger dans un jeu pour mieux apprendre?
Théorie, conception et expérimentation autour
des jeux vidéo pédagogiques**

Denise Sutter Widmer

Mémoire présenté pour l'obtention du Master MALTT
Master of Science in Learning and Teaching Technologies

TECFA,
Faculté de Psychologie et de Sciences de l'Education
Université de Genève

Février 2010

Jury:

Nicolas Szilas	MER, TECFA	Directeur
Mireille Betrancourt	Professeur, TECFA	Examinatrice
Jean-Luc Dorier	Professeur, FAPSE	Examineur

Remerciements

J'aimerais remercier tout spécialement mon directeur de mémoire, Nicolas Szilas, qui m'a soutenue, encouragée, et dispensé des conseils judicieux tout au long de ce travail.

Je tiens à remercier Mireille Betrancourt pour sa disponibilité et ses suggestions.

Je remercie également tous les enfants et camarades de ma fille qui ont participé avec enthousiasme et néanmoins sérieux à mon expérience.

L'ambiance de travail à TECFA, l'amitié des étudiants de ma volée (Nestor) et de volées précédentes, je pense notamment à Sylviane et à Agustin, m'ont permis d'effectuer mon master et ce travail dans des conditions particulièrement stimulantes.

Enfin, un grand merci à mon conjoint Eric pour ses conseils et son soutien, ainsi qu'à mes enfants, Claire et Florian, qui ont fait preuve de beaucoup de patience et de compréhension durant ces derniers mois.

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	6
2. Cadre théorique.....	11
2.1. Définitions	11
2.1.1 Définitions du jeu	11
2.1.2 Jeux vidéo	15
2.2. Paradoxe des jeux pédagogiques	16
2.3. Engagement des joueurs	17
2.3.1 Théorie du Flow	17
2.3.2 Flow et apprentissage.....	19
2.3.3 Immersion.....	22
2.3.4 Motivation intrinsèque	23
2.4. Intégration jeu – apprentissage	27
2.4.1 L'intégration par la fiction	27
2.4.2 L'intégration par la mécanique du jeu	29
2.4.3 Autres dimensions de l'intégration	30
2.5. Réflexion et transfert	32
3. Conception et développement d'un jeu pédagogique: Equatointown	34
3.1. Contraintes.....	34
3.2. Le contenu d'apprentissage	35
3.3. Le jeu	36
3.3.1 Feed-back.....	37
3.3.2 Niveaux de difficulté.....	39
3.3.3 Aide et commentaires : un contremaître multifonctionnel	41
3.4. Les dimensions de l'intégration	42
3.5. Facteurs de motivation et d'engagement.....	42
3.6. Vidéos explicatives.....	43
3.7. Test préliminaires.....	44

4. Questions de recherche	45
4.1. Hypothèses générales.....	46
5. Méthode	48
5.1. Participants	48
5.2. Matériel	48
5.2.1 Tests, questionnaires et grille d'observation	50
5.3. Procédure.....	52
5.4. Analyse des données	53
5.5. Hypothèses opérationnelles	54
6. Résultat	55
6.1. Performance au post-test	55
6.2. Gain d'apprentissage	57
6.3. Facilité en mathématiques	58
6.4. Motivation.....	59
6.5. Immersion	60
7. Discussion.....	62
7.1. Limites et perspectives.....	65
8. Adaptations du jeu.....	67
9. Conclusion	68
10. Bibliographie.....	70
11. Annexes	74

Résumé

Comment récupérer au profit d'un apprentissage la capacité des jeux vidéo à engager fortement le joueur? Ajouter simplement un contenu d'apprentissage à un jeu ne suffit ni à garantir la qualité pédagogique ni à préserver l'expérience du jeu intacte. Les théories de la motivation, du flow et celles sur l'intégration des contenus d'apprentissage dans le jeu nous ont guidée dans la conception d'Equationtown, un jeu sur les équations linéaires. L'objectif a été de réaliser un jeu fortement intégré, immersif, motivant et efficace d'un point de vue pédagogique. Pour assurer une prise de conscience chez les apprenants de l'apprentissage en cours et un meilleur transfert des connaissances, des vidéos explicatives sur la formalisation d'un problème en équation ont été réalisées.

Une expérience a été menée afin de déterminer dans quelle mesure l'immersion dans un jeu intégré est compatible avec un apprentissage efficace et est source de motivation et d'engagement. Deux versions du jeu ont été développées, l'une se caractérisant par la diffusion de vidéos explicatives en cours de jeu, l'autre reléguant les explications à la fin du jeu. Les résultats de l'expérience montrent que les apprenants dont la séquence de jeu n'a pas été interrompue et qui ont bénéficié de vidéos explicatives à la suite du jeu, ont obtenu de meilleurs résultats aux tests sur les équations que les apprenants qui ont visionné les vidéos en cours de jeu. Leur gain d'apprentissage a été également plus élevé. Néanmoins, de manière surprenante, il s'avère que l'effet du jeu sur le score n'est lié ni à des facteurs motivationnels ni à des facteurs d'immersion. A noter que dans les deux versions de jeu, la motivation et l'immersion sont évaluées comme importantes par les joueurs. Une explication des différences de scores constatées entre les versions de jeu pourrait résider dans la moindre capacité d'écoute et d'attention aux explications lorsque celles-ci sont diffusées en cours de jeu car elles entrecouperont une séquence de jeu.

1. Introduction

La profusion actuelle de conférences¹, d'articles scientifiques et de livres portant sur les jeux vidéo et l'apprentissage témoigne de l'intérêt que suscite ce domaine depuis quelques années au sein de la communauté de l'ingénierie pédagogique. Avec le développement phénoménal des jeux vidéo durant la dernière décennie, et leur popularité grandissante au sein de la population, la question du potentiel éducatif des jeux électroniques suscite beaucoup d'enthousiasme mais aussi des réserves. Cet intérêt pour l'utilisation des jeux vidéo à des fins pédagogiques n'est cependant pas neuf, puisque dès le début des années 80, des chercheurs comme Malone (1981) se sont penchés sur les aspects motivationnels de ce type de jeux.

L'industrie des jeux vidéo, naissante dans les années 80, est aujourd'hui florissante. Fait marquant à relever, le jeu vidéo qui était au départ destiné principalement à un public initié, masculin et jeune, a connu, au cours des cinq dernières années, un élargissement considérable de la population des joueurs. Ce phénomène peut être lié à la généralisation de l'utilisation des TIC, à la diversification des supports (PC, console de salon, console portable, téléphone mobile) et systèmes de jeux (la Wii, par exemple), au développement massif des jeux en ligne², ainsi qu'à l'apparition de nouveaux types de jeux (jeux sur les interactions sociales, jeux en ligne multijoueurs) qui ont réussi à conquérir également une frange de la population féminine (Kirriemuir & McFarlane, 2004). Selon l'Entertainment Software Association, les jeux électroniques ne touchent pas uniquement des hommes jeunes. L'âge moyen des joueurs américains est de 35 ans et 25% d'entre eux ont, en 2009, 50 ans et plus. Par ailleurs, on compte 40% de femmes parmi les joueurs.

L'engouement pour les jeux vidéo a amené un ensemble de chercheurs à s'intéresser aux caractéristiques des jeux électroniques qui pourraient se révéler bénéfiques pour l'apprentissage. Les jeux de qualité se distinguent notamment par leur capacité à engager fortement le joueur. Ils sont intrinsèquement motivants (Malone, 1981; Mitchell & Savill-Smith, 2004) et permettent aux joueurs d'avoir un certain contrôle, qui fait souvent défaut dans l'environnement d'une classe d'école, sur les composantes du jeu, grâce aux choix que peut faire le joueur (Gunter, Kenny, & Vick, 2008). D'autres qualités sont relevées: les jeux vidéo ont des règles et buts, ils sont interactifs, ont une issue incertaine, fournissent un feedback immédiat, fixent au joueur une mission, permettent l'émergence de sentiments comme le sentiment de victoire et peuvent, pour certains d'entre eux contribuer à l'interaction sociale

¹ En Suisse, le dernier colloque organisé par le Centre suisse des technologies de l'information dans l'enseignement (CTIE) était consacré aux "Jeux vidéo, passions et apprentissages" (28 août 2009). Sur le plan européen, s'est tenue début octobre 2009 la 3ème conférence européenne sur l'apprentissage et l'utilisation des jeux (European Conference on Games Based Learning).

² Agence française pour le jeu vidéo (http://www.afjv.com/press0910/091005_etude_jeux_video_france_monde.htm)

et à la compétition. Ils incitent aussi à l'exploration et l'expérimentation, le risque d'échec est réduit et ils sont conçus de manière à ce que les joueurs puissent toujours évoluer dans des niveaux de difficulté où leurs compétences sont mises au défi sans jamais se sentir submergés (Jenkins, 2005; Gee, 2003). Ces caractéristiques rendraient les jeux tout particulièrement attrayants (Csikszentmihalyi, 1990), motivants (Malone, 1981; Malone & Lepper, 1987) et augmenteraient le degré d'immersion des joueurs (Fu, Su & Yu, 2009; Prensky, 2001).

Divers auteurs ont également mis en avant les principes d'apprentissage que les jeux électroniques peuvent contenir. Prensky (2003) cite notamment pour le joueur la possibilité d'agir, de prendre des décisions rapides sur la base d'informations provenant de sources différentes, de développer des stratégies pour surmonter les obstacles, et de comprendre des systèmes complexes à travers l'expérimentation. Les jeux sur ordinateur engageraient les joueurs dans un apprentissage actif, situé, qui obligerait le joueur à expérimenter différentes manières d'apprendre et de penser dans un contexte qui a du sens (Gee, 2003). Les jeux en réseau, notamment, seraient tout particulièrement appropriés pour la mise en œuvre d'une pédagogie moderne, de type socio-constructiviste, fondée sur la collaboration entre joueurs-apprenants (Frété, 2002). L'analyse des interactions sur le forum du jeu multijoueur *World of Warcraft* montre que ce type de jeu promeut un niveau élevé de raisonnement et développe des compétences argumentatives chez les joueurs (Steinkuehler & Duncan, 2008). Rieber (1996) met également l'accent sur la fonction cognitive du jeu, qui requiert une réflexion critique et des compétences dans la résolution de problèmes. Prensky (2001) va jusqu'à prétendre que l'utilisation régulière, à long terme, des jeux vidéo modifierait la manière de penser, d'apprendre, et de traiter l'information des enfants et jeunes d'aujourd'hui.

Plus spécifiquement, les jeux vidéo pédagogiques permettraient d'atteindre différents objectifs d'apprentissage. Les trois domaines d'apprentissage (cognitif, affectif et psychomoteur) issus de la taxonomie des objectifs éducationnels de Bloom servent le plus souvent de base aux taxonomies établies pour recenser les types d'apprentissages réalisables à travers les jeux pédagogiques (Wouters, van der Spek, & van Oostendorp, 2009; Boyle, 2009). Les objectifs pédagogiques les plus souvent mentionnés sont l'acquisition de connaissances déclaratives et procédurales, la compréhension d'un contenu, des capacités d'induction, le développement de la motricité, des facultés sensorielles et de compétences sociales (Kirriemuir & McFarlane, 2004) ainsi que des changements de comportement à travers un apprentissage implicite (Ciavarro, Dobson, & Goodman, 2008). Certains types de compétences relèveraient plus spécifiquement de certains genres de jeux (Frété, 2002) : les compétences spatiales, par exemple, s'affineraient tout particulièrement par la pratique des jeux d'action. Sur le plan affectif, la motivation, la confiance en soi et le changement

d'attitude par rapport à la matière enseignée (Ke, 2008) sont les effets bénéfiques les plus souvent évoqués lors de l'utilisation de jeux vidéo pédagogiques. Divers travaux de recherche, passés en revue par Egenfeldt-Nielsen (2005) mettent en évidence une meilleure rétention de l'apprentissage grâce au jeu vidéo pédagogique, en comparaison avec des méthodes traditionnelles d'enseignement. Enfin, selon Frété (2002), les jeux éducatifs pourraient favoriser l'acquisition des compétences de base que tout apprenant devrait idéalement maîtriser au sortir du système scolaire, telles que la maîtrise de contenus, de langages, de structures, de procédures, ainsi que l'aptitude à développer des attitudes, à communiquer et à prendre des décisions.

Les jeux vidéo pédagogiques permettent-ils réellement et toujours d'apprendre? Les affirmations quant à l'efficacité des jeux vidéo pour l'apprentissage ne sont souvent pas relayées par des études scientifiques. La recherche empirique demeure insuffisante et fragmentée (centrée sur des groupes d'âges, types de jeu, objectifs pédagogiques spécifiques) ce qui empêche toute généralisation des résultats (Hays, 2005). Des problèmes d'ordre méthodologique peuvent être relevés, notamment par rapport au flou qui règne dans la définition des termes utilisés (jeu versus simulation, par exemple), en lien aussi avec l'absence de groupes de contrôle ou l'influence de variables parasites (par exemple, le biais constitué par la présence de l'enseignant). Les résultats sont contrastés (Wouters et al., 2009; Hays, 2005): aucune étude ne démontre que les jeux sont la meilleure méthode pédagogique dans toutes les situations, ni qu'ils représentent véritablement un avantage du point de vue de la motivation, de l'apprentissage cognitif, des changements d'attitude à l'égard de l'apprentissage ou de la matière enseignée. Certaines caractéristiques du jeu peuvent même avoir un effet négatif sur l'apprentissage comme le niveau de stress, l'interactivité et le guidage (Wouters et al., 2009). Le but du jeu peut aussi conduire à des comportements contre-productifs par rapport à l'objectif d'apprentissage (Mitchell & Savill-Smith, 2004), les joueurs étant obsédés par leur score, la vitesse d'action, et l'envie de gagner. Par ailleurs, si l'efficacité du jeu pour l'apprentissage est relevée, la mise en évidence des caractéristiques du jeu ayant contribué à une meilleure performance au post-test fait souvent défaut (Hays, 2005).

Beaucoup de chercheurs s'accordent à dire que le manque d'efficacité pédagogique de nombreux jeux vidéo destinés à l'apprentissage s'explique par la faiblesse de leur conception. Le rôle essentiel de l'ingénierie pédagogique est souvent absente de la conception de ces jeux: les objectifs pédagogiques ne sont pas clairement définis; le debriefing, le feed-back, et le soutien pédagogique en cours de jeu sont absents, lacunaires ou mal pensés (Hays, 2005); la progression dans le jeu ne s'inspire pas des taxonomies classiques des objectifs éducationnels qui assurent un apprentissage effectif et progressif (Gunter et al., 2008). Les tâches à effectuer sont souvent répétitives, reposant sur le principe

d'exercices à répétition et ne ciblant qu'une seule compétence; elles paraissent trop simples par rapport à ce que proposent les jeux vidéo standards, et rendent ces jeux vite ennuyeux (Kirriemuir & McFarlane, 2004). Beaucoup de jeux pédagogiques sont des jeux de type quiz ou énigmes qui n'exploitent pas pleinement les potentialités des jeux fondés sur l'apprentissage (Boyle, 2009). Finalement, beaucoup de jeux pédagogiques ne peuvent pas être qualifiés véritablement de jeu, l'expérience ludique du jeu disparaissant lors de l'ajout d'un objectif pédagogique.

Une des principales difficultés dans la conception d'un jeu pédagogique réside dans l'articulation entre le jeu et l'apprentissage. Dans de nombreux cas, on constate un déséquilibre entre ces deux dimensions, qui entraîne des conséquences négatives soit sur l'apprentissage soit sur la motivation et l'engagement du joueur, soit sur ces deux composants à la fois. Les produits ludo-éducatifs (*edutainment*), par exemple, qui correspondent le plus souvent à des activités scolaires camouflées dans un environnement plaisant et ludique (Kellner, 2007), en privilégiant le contenu pédagogique au détriment du jeu, diminuent l'engagement du joueur et réduisent sa motivation tout en affectant aussi, dans certains cas, l'apprentissage (Moreno-Ger, Burgos, Martínez-Ortiz, Sierra, & Fernández-Manjón, 2008). A contrario, des jeux commerciaux comme ceux de la série de Civilization ont été utilisés avec succès en classe dans une optique pédagogique en instrumentalisant l'histoire et la géographie au service du jeu et en garantissant un fort engagement (Squire & Barab, 2004). Cependant, leur intégration en contexte scolaire ne s'est pas faite sans efforts et difficultés. Ce type de jeux conçus au départ comme des produits de divertissement, ne tiennent souvent pas compte de considérations pédagogiques et éducatives, et les concepts abordés y sont souvent simplifiés à outrance.

Combiner de manière optimale dans un même produit une double fonction *a priori* conflictuelle (Egenfeldt-Nielsen, 2005), à savoir divertir et motiver par le jeu tout en faisant apprendre, est une gageure. Même s'il est admis que le jeu peut promouvoir l'apprentissage, la nature exacte de l'articulation entre ces deux composantes n'est pas encore connue (Szilas & Accosta, 2009). Notre travail s'intéresse à l'intégration entre l'apprentissage et le jeu à la lumière des théories existantes. Nous nous attarderons aussi sur les composantes de la motivation intrinsèque et sur le concept de flow afin de mieux comprendre ce qui engage un joueur-apprenant dans le jeu. De même, nous nous pencherons sur ce qui peut maintenir sa motivation à un niveau optimal. Partant d'un objectif pédagogique donné, nous nous plaçons dans une démarche d'ingénierie pédagogique en cherchant à concevoir un jeu vidéo intrinsèquement motivant, permettant d'atteindre l'objectif d'apprentissage fixé au départ, tout en veillant lors de sa réalisation à ne sacrifier ni la jouabilité (*gameplay*) ni la qualité pédagogique.

Intégrer les éléments d'apprentissage dans le jeu de manière à ce qu'ils ne soient pas détachés de l'expérience de jeu et restent, du moins partiellement, indétectables, assure en principe un plus fort engagement des joueurs mais une telle démarche comporte aussi le risque que l'apprentissage, et notamment le transfert des connaissances, soit entravé (Egenfeldt-Nielsen, 2005). En adoptant, par ailleurs, une démarche expérimentale, nous avons décidé de tester auprès d'élèves le jeu que nous avons développé dans deux conditions d'immersion différentes. Notre objectif est de déterminer dans quelle mesure le degré d'immersion dans le jeu, au sens de Csikszentmihalyi (1990), a des répercussions sur l'acquisition des connaissances et leur transfert, ainsi que sur la motivation et l'engagement des joueurs. Précisons que nous ne faisons pas référence dans ce travail à l'immersion de la réalité virtuelle en 3D. A partir des résultats obtenus que nous analyserons et discuterons, nous serons également en mesure de faire quelques recommandations pour améliorer le jeu que nous avons développé.

2. Cadre théorique

La capacité des jeux vidéo à engager fortement le joueur constitue un de leurs principaux attraits aux yeux des pédagogues. Mais comment conserver cet engagement dans un jeu destiné à l'apprentissage? Dans la conception d'un jeu vidéo pédagogique, tout l'art consiste à articuler judicieusement les composantes ludique et pédagogique de manière à assurer un apprentissage efficace tout en préservant la motivation et l'engagement des joueurs. Nous partons de l'hypothèse qu'un jeu pédagogique bien intégré sera plus motivant et efficace du point de vue de l'acquisition des connaissances qu'un jeu moins intégré. Pourtant sur le terrain, peu de jeux vidéo pédagogiques réussissent à relever ce défi.

Mais qu'entend-on tout d'abord par *jeu* et *jeu vidéo pédagogique* ? Comment définir et mesurer la motivation et l'engagement d'un joueur doublé du statut d'apprenant ? Que signifie un jeu bien intégré? Comment s'effectuent la réflexion et le transfert des connaissances dans un jeu intégré? Nous nous attacherons, dans cette partie, à présenter les différentes théories en lien avec ces questions, puis, dans un deuxième temps, nous traduirons ces concepts dans la conception d'un jeu (*game design*) développé dans le cadre de cette recherche avant de tester expérimentalement, dans une troisième phase, nos hypothèses.

2.1. Définitions

2.1.1 Définitions du jeu

La notion de jeu peut paraître *a priori* facile à cerner. Pourtant, dès qu'on cherche à définir plus précisément ce concept, il apparaît dans toute sa complexité. De nombreux théoriciens du jeu, provenant de champs disciplinaires divers, notamment de la philosophie, de l'anthropologie, de la psycho-pédagogie, de la psychologie ou du monde de la conception des jeux, ont proposé des définitions du jeu qui se recoupent et divergent selon l'approche adoptée.

Notre but n'est pas de considérer la totalité des définitions proposées, mais de revenir brièvement sur certaines définitions et quelques théories du jeu pertinentes pour notre recherche, afin d'être en mesure de présenter les éléments d'une définition utiles à notre démarche.

Nous nous plaçons dans la perspective de la conception d'un jeu pédagogique. Nous n'entendons pas simplement mettre en place une activité ludique mais créer véritablement un jeu qui doit en revêtir les caractéristiques fondamentales. Pour cela, il nous paraît essentiel de définir clairement ce que nous entendons par *jeu*.

En français, le terme de jeu est polysémique. Dans son acception la plus courante, il "désigne non seulement l'activité spécifique qu'il nomme, mais encore la totalité des figures, des symboles ou des instruments nécessaires à cette activité ou au fonctionnement d'un ensemble complexe » (Caillois, 1958 : 9). Dans d'autres langues un ou plusieurs termes sont utilisés pour désigner ce que nous exprimons par le mot jeu. Toutes les langues ne conçoivent pas la notion de jeu de la même manière (Huizinga, 1951). En grec et en allemand, par exemple, une distinction est faite entre structure et attitude ludique qui s'exprime dans un cas par l'utilisation de termes différents (*athurô*, *agôn*) et dans l'autre cas par une formulation spécifique ("*man spielt ein Spiel*").

En anglais, les deux termes *game* et *play* renvoient à des aspects différents du jeu qui ne sont pas d'emblée évidentes à cerner. En effet, selon l'approche adoptée, *games* constituent un sous-ensemble de *play* (approche typologique) ou, au contraire, *play* est une composante de *game* (approche conceptuelle) (Salen & Zimmerman, 2004). Dans le premier cas, on met l'accent sur l'aspect structurel : *play* est considéré comme une activité plus libre et moins organisée que *game*. Cette distinction rejoint l'approche du psychanalyste Winnicott (cité dans Kellner, 2000) pour lequel il n'y a que deux grands types de jeux: les jeux libres (*playing*) avec leurs propres systèmes de règles, lieu de tous les possibles, et les jeux organisés (*game*), plus rassurants. Dans le deuxième cas, lorsque l'on se situe du point de vue de la conception des jeux, on considère le jeu en tant qu'expérience (*experience of play*), et dans ce cas-là, *play* est une composante fondamentale de tous les jeux (*games*).

Caillois (1958), dans sa typologie classique du jeu, s'est également intéressé aux aspects structurels du jeu. Il a tout d'abord distingué quatre catégories fondamentales de jeu: la compétition (*agôn*), la chance (*alea*), le simulacre (*mimicry*) et le vertige (*ilinx*), sachant que tout jeu peut contenir, à des degrés divers, un ou plusieurs de ces éléments. Dans les jeux vidéo ce sont les types *âgon* et *alea* qui sont principalement présents. Caillois (1958) a ajouté une distinction supplémentaire à sa classification en introduisant les concepts de *paidia* et *ludus*, qui amènent à une meilleure compréhension de la structure d'un jeu. *Paidia* fait référence aux jeux libres, improvisés, tandis que *ludus* représente le jeu formalisé, soumis à des règles relativement strictes. Dans le cadre de notre démarche, nous nous concentrerons sur le *ludus*, c'est-à-dire essentiellement sur des jeux structurés, réglés et finalisés.

Cette introduction nous aide à mieux définir ce que nous entendons par jeu ; elle ne nous en donne pas encore une définition précise pour notre travail.

Salen et Zimmerman (2004) ont repris les définitions du jeu de huit auteurs provenant de différentes disciplines, pour les comparer et mettre en avant les éléments communs et

propres à chacune des définitions. La table 1 propose un récapitulatif des éléments présents dans ces différentes définitions.

Table 1

Éléments d'une définition du jeu (Source: Salen & Zimmerman, 2004, p. 79)

	Parlett	Abt	Huizinga	Caillois	Suits	Crawford	Costikyan	Avedon Sutton-S.
Proceeds according to rules that limit players	v	v	v	v	v	v		v
Conflict or contest	v					v		v
Goal-oriented / outcome-oriented	v	v			v		v	v
activity, process or event		v			v			v
involves decision-making		v				v	v	
not serious and absorbing			v					
never associated with material gain			v	v				
artificial/safe/outside ordinary life			v	v		v		
creates special social groups			v					
voluntary				v	v			v
uncertain				v				
make-belief/ representational				v		v		
inefficient					v			
system of parts/ resources and tokens						v	v	
a form of art							v	

Ce tableau présente une vue simplifiée d'idées souvent complexes. Par ailleurs, ces définitions ont été produites dans des contextes particuliers et pour des raisons spécifiques. Celles de Huizinga (1951) et Caillois (1958) se rapportent au jeu de manière générale (*play*) et incluent des activités comme le théâtre ou des formes de jeux très informelles et libres

comme jouer à la balançoire, par exemple. Les autres définitions se centrent sur des activités plus formalisées (*games*), orientées vers un but mesurable, définissant un succès ou un échec. Néanmoins, ce tableau offre l'avantage de mettre en avant les points communs entre les définitions proposées ; il montre toute la complexité de ce concept et fait apparaître l'absence de consensus autour d'une définition commune du jeu. Le seul élément commun à toutes ces définitions du jeu, à part une exception, est la présence de règles.

A partir de ces différents apports, Salen et Zimmerman (2004) ont proposé une définition qui comporte des éléments-clés nous paraissant pertinents dans le cadre de la conception d'un jeu:

"A game is a system in which players engage in artificial conflict, defined by rules, that results in a quantifiable outcome."

Revenons sur les dimensions-clés de cette définition. Le jeu y est présenté comme un système. Un système est défini comme "a set of parts that interrelate to form a complex whole" (Salen & Zimmerman, 2004, p. 50). Il est constitué d'objets (par exemple, les pièces dans un jeu d'échec) qui interagissent entre eux dans un environnement donné. Mais la notion de système fait aussi référence aux signes auxquels les jeux recourent pour représenter les éléments constitutifs du monde ludique. Ainsi, l'univers du jeu *Mario* repose sur un système de signes représentant des étoiles, tuyaux, pièces magiques, plateformes cachées et autres éléments qui forment le paysage de ce jeu. Ces signes font référence à des objets qui existent dans le monde réel, mais ils prennent leur valeur symbolique ou leur signification dans les relations qu'entretiennent ces signes entre eux dans le contexte du jeu (Salen & Zimmerman, 2004, p. 42). Le signe représente autre chose que lui-même, il est interprété par le joueur en fonction du contexte du jeu, qui va lui donner son sens. Nous verrons dans le chapitre portant sur l'intégration de l'apprentissage et du jeu l'importance de cette approche sémiologique du système pour notre analyse. Celle-ci emprunte aussi à la définition du jeu proposée par Szilas et Accosta (2009) pour lesquels le jeu est un système dynamique de signes.

Le jeu est joué activement par un ou plusieurs joueurs, qui interagissent avec le système du jeu afin de vivre l'expérience du jeu. Autre notion clé de cette définition, la notion d'artificiel qui revient dans beaucoup de définitions du jeu. Le postulat est que le jeu est une action qui "se situe hors de la vie courante [...], qui s'accomplit en un temps et dans un espace expressément circonscrits" (Huizinga, 1951, p. 31). Cette séparation du jeu de la vie réelle, d'un point de vue spatial et temporel, a pour effet que les actions qui s'y déroulent se font sans subir les conséquences, physiques notamment, qui en découleraient dans le monde réel. Un bon jeu doit donner l'illusion d'accomplir, sans risque, des actions dangereuses

(Crawford, 1982). Tout jeu contient, par ailleurs, une part de conflit, qui peut prendre différentes formes, de la coopération à la compétition en passant par un combat individuel contre le système du jeu, ou un conflit social dans le cas des jeux multijoueurs. Les règles constituent une autre composante essentielle des jeux; elles apportent la structure de laquelle émerge le jeu (*play*) en spécifiant ce que le joueur peut ou ne peut pas faire. Enfin, le jeu débouche toujours sur un but donné ou sur un résultat quantifiable, qu'il s'agisse de l'obtention d'un score quelconque ou du fait d'avoir gagné ou perdu le jeu.

2.1.2 Jeux vidéo

La définition générale du jeu de Salen et Zimmerman (2004) s'applique également aux jeux vidéo. Bien que le support physique qu'implique le jeu vidéo (PC, console, téléphone portable, etc.) représente un élément important du jeu, il ne constitue pas le système dans sa globalité. Le jeu vidéo conserve les propriétés de base des jeux même s'il possède, par ailleurs, un certain nombre de spécificités (Salen & Zimmerman, 2004). On peut mettre en avant quatre caractéristiques des jeux vidéo: une interactivité immédiate, la manipulation d'informations multiples (textes, images, son, animations, etc.), l'automatisation de systèmes complexes, qui rend d'ailleurs difficile la modification des règles de jeu par le joueur et sa compréhension des mécaniques internes du jeu, et enfin, pour un certain nombre de jeux vidéo, la possibilité de constituer des réseaux de communication de très grande dimension. Ces spécificités, si elles sont judicieusement exploitées, peuvent servir à la conception de jeux pédagogiques de qualité.

La capacité qu'ont les jeux numériques d'offrir un feed-back immédiat, en continu, aux actions des joueurs, et ceci en fonction d'un ensemble de règles pré-programmées, les différencie des autres types de jeux.

2.2. Paradoxe des jeux pédagogiques

Le jeu est auto-télique (Kellner, 2007), autrement dit il comporte en soi sa propre finalité. Le jeu n'a d'autre but que le plaisir qu'il procure sans devoir se soucier de conséquences externes à son activité. Il engage le joueur dans un conflit artificiel, protégé du monde réel (Huizinga, 1951). Comment dans ce cas, le jeu peut-il être mis au service d'un apprentissage, qui est, quant à lui, hétéro-télique, autrement dit au service d'un objectif extérieur au jeu? Cela peut être une limite à l'efficacité des jeux pédagogiques, mais comme le relève Kellner (2000, 2007), le rôle de médiation que joue le jeu entre la réalité et le joueur peut aussi constituer un avantage dans le cadre d'un objectif d'apprentissage, puisque les actes des joueurs n'ont pas de conséquences néfastes sur leur propre vie. Cette caractéristique que l'on retrouve dans les jeux s'applique de manière plus générale aux simulations. L'apprenant sait qu'il peut expérimenter des possibles et assister aux effets de ses actions sans en craindre les conséquences négatives. Il est encouragé à prendre des risques. Par ailleurs, si les règles qu'il expérimente sont transférables dans la réalité, il pourra reproduire dans le monde réel les schémas de pensée, savoirs et savoir-faire qu'il aura acquis au cours du jeu.

Mais comment faire concrètement pour que le jeu pédagogique soit véritablement un jeu et ne ressemble pas à un exercice déguisé ? La gratuité du jeu est-elle conciliable avec l'intégration d'objectifs externes au jeu? Kellner (2007) recourt à la distinction que fait Jacques Henriot entre deux niveaux de gratuité pour tenter de dénouer ce paradoxe. Ce dernier (cité dans Kellner, 2007) distingue la gratuité "antécédente" (on décide de jouer au départ pour le seul plaisir de jouer) qui se situe en amont du jeu, de la gratuité "subséquente" (le jeu n'a pas d'autre but que lui-même) située en aval du jeu. Seul le premier niveau de gratuité serait absolument nécessaire à la mise en place d'un jeu. Ce qui signifie que le joueur peut tout à fait envisager comme conséquence au jeu des acquisitions en termes d'apprentissage, et continuer à considérer le jeu pédagogique qui lui est proposé comme un jeu. Par contre, si on annonce, au départ, que les activités menées dans le jeu entraîneront des conséquences à l'extérieur du monde ludique, par exemple que les scores obtenus en fin de jeu se transformeront en notes, le jeu ne sera plus perçu en tant que tel par les apprenants. Le contexte d'utilisation est donc un paramètre déterminant de l'attitude ludique ou non que vont adopter les utilisateurs du jeu.

Szilas et Accosta (2009) proposent une autre approche pour contourner ce problème. Pour qu'un jeu pédagogique reste avant tout un jeu aux yeux du joueur et conserve tout son intérêt pour celui-ci, le but principal du jeu doit rester celui du jeu, autrement dit un but que l'on peut qualifier d'artificiel puisqu'il est propre au jeu. Donc, tout en orientant l'activité principale vers le but du jeu, l'apprentissage s'effectuerait de manière plus ou moins inconsciente, et interviendrait comme un effet secondaire du jeu.

2.3. Engagement des joueurs

Le succès des jeux vidéo est lié étroitement au sentiment de plaisir qu'éprouvent les joueurs lorsqu'ils jouent. Les personnes qui fréquentent les sites de jeux vidéo ont envie de se lancer dans les jeux proposés, ils jouent et, si le jeu est bien conçu, ils restent dans le jeu et reviennent jouer une autre fois. Nous l'avons évoqué précédemment, le jeu est auto-télique. Les joueurs ne jouent que pour le plaisir de jouer, pour la stimulation intrinsèque qu'apporte le jeu. Un jeu réussi est, par définition, intrinsèquement motivant. C'est ce concept de motivation intrinsèque qui est au cœur de l'intérêt de l'utilisation des jeux numériques pour l'apprentissage.

Mais qu'est-ce qui rend un jeu intrinsèquement motivant et donne ce sentiment de plaisir aux joueurs? Qu'est-ce qui fait qu'un joueur ait envie de s'engager dans un jeu et, une fois le jeu commencé, ait de la peine à s'arrêter? Depuis une trentaine d'années, l'aspect motivationnel des jeux est étudié pour la conception d'environnements de jeux destinés à l'apprentissage. Cet intérêt est fondé sur l'hypothèse que le niveau de motivation va avoir un impact positif sur la manière dont l'apprenant apprend et sur l'acquisition de nouvelles connaissances.

Les théories élaborées à ce sujet puisent pour la plupart dans le concept de flow élaboré par Csikszentmihalyi (1990). Nous commencerons donc par introduire la théorie du flow avant d'aborder l'immersion et la motivation intrinsèque. Nous verrons également comment ces concepts ont été transposés dans la conception de jeux pédagogiques.

2.3.1 Théorie du Flow

Csikszentmihalyi (1990) s'est intéressé dès les années 70 aux personnes qui consacraient beaucoup de temps et d'énergie à des activités diverses, pour le simple plaisir de les faire, sans attendre en retour de gratifications sous forme d'argent ou de reconnaissance sociale. Il a interrogé des joueurs d'échecs, des alpinistes, des chirurgiens, des danseurs et compositeurs pour essayer de comprendre les raisons pour lesquelles ils investissaient tant de temps dans leurs activités professionnelles. Il est arrivé à la conclusion que ce qui les motivait était lié à une qualité d'expérience qui les poussait à vouloir revivre la même expérience. Les activités décrites requéraient en général des compétences particulières, étaient difficiles, et contenaient un élément de découverte ou de nouveauté. Csikszentmihalyi qualifie de *flow* ce type d'expérience optimale (*optimal experience*) parce qu'elle est décrite comme un état dans lequel les choses se font avec un sentiment de facilité mêlé à un état de conscience suraigu. Selon ce psychologue, l'expérience du flow peut être vécue par n'importe quel individu, quels que soient sa culture, son origine sociale, son sexe ou son âge, et se retrouve dans une multitude d'activités comme le travail, le sport et l'apprentissage. Le flow se caractérise par un état psychologique et émotionnel où prédominent les sentiments de joie, d'accomplissement, de compétence. L'individu a le sentiment de pouvoir contrôler ses actions, d'être maître de son destin.

Csikszentmihalyi (1996) mentionne neuf éléments constitutifs de l'état de flow et qui en rendent l'émergence possible:

1. des buts clairement fixés à chaque étape du processus ;
2. chaque action est suivie d'une rétroaction immédiate ;
3. la difficulté de l'entreprise et les capacités de la mener à bien s'équilibrent (la tâche à accomplir ne paraît ni trop facile ni trop difficile) ;
4. conscience et action sont intimement mêlées (l'attention est entièrement fixée sur l'action en cours) ;
5. les distractions sont exclues de la conscience (intense concentration sur l'instant présent) ;
6. la crainte de l'échec disparaît (état décrit par certains sujets comme un contrôle absolu de la situation mais il s'agit plutôt d'une absence totale d'inquiétude en raison d'une conscience aigüe de ce qui doit être fait) ;
7. la conscience de soi disparaît et ressort paradoxalement renforcée une fois l'épisode de flow passé ;
8. la notion du temps se modifie (le temps écoulé durant l'activité peut paraître plus long ou plus court que ce qu'il n'est en réalité en fonction de l'activité menée) ;
9. l'activité devient auto-télique, c'est-à-dire que l'on s'engage dans une activité pour le seul plaisir qu'elle procure, lorsque la plupart des conditions précitées se trouvent réunies.

On peut relever que certains de ces éléments décrivent les effets de l'état de flow (points 4, 5, 7 et 8), tandis que d'autres peuvent être considérés comme des pré-requis à l'apparition du flow (points 1, 2, 3 et 6).

L'état de flow, par l'engagement et les sentiments de plaisir qu'il engendre, peut être comparé à ce que les concepteurs de jeux essaient de susciter chez les joueurs.

Flow is an experience "so gratifying that people are willing to do it for its own sake, with little concern for what they will get out of it, even when it is difficult or dangerous" (Csikszentmihalyi, 1990).

La théorie du flow est une manière d'appréhender le plaisir qu'éprouvent certains joueurs à s'engager dans un jeu et à y rester (Salen & Zimmerman, 2004). Même si tous les jeux n'amènent pas nécessairement à un état de flow, les caractéristiques des jeux (règles, buts, rétroaction, issue incertaine, etc.) en font un terrain privilégié pour l'émergence du flow. Un lien peut aussi être fait entre l'état de flow qui rend une activité auto-télique et le jeu qui est par définition auto-télique puisque les gens jouent pour le plaisir que procure l'expérience du jeu en elle-même. Le sentiment d'être transporté dans une nouvelle réalité, d'être

imperméable à toute distraction extérieure, que l'on peut ressentir en état de flow, est également familier chez les joueurs.

Différents auteurs ont cherché à déterminer les éléments du flow se manifestant dans les jeux vidéo. Sweetser et Wyeth (2005) ont construit un modèle intitulé "Gameflow" dont l'objectif est d'évaluer pour un jeu donné le niveau de plaisir des joueurs afin, dans un deuxième temps, de pouvoir proposer des améliorations dans la conception d'un jeu et dans son utilisation. Pour chacun des huit éléments du flow identifiés par Cziksentmilyi (1990), Sweetser et Wyeth (2005) ont défini des critères qui permettent d'évaluer l'expérience de l'utilisateur dans le jeu. Par exemple, ils traduisent l'importance d'une rétroaction immédiate après chaque action par trois critères: 1. la nécessité que les joueurs reçoivent des feedback par rapport à leur progression vers le but du jeu; 2. la nécessité que les joueurs reçoivent des feedback immédiatement après chaque action; 3. la nécessité pour les joueurs de toujours connaître leur statut ou leur score (cf. Annexe 11). L'ensemble des critères que Sweetser et Wyeth ont mis en évidence pour les jeux peuvent donc servir pour concevoir des jeux permettant de susciter des expériences de flow.

Pour Salen et Zimmerman (2004) c'est en réalisant un jeu réussi du point de vue de la conception, c'est-à-dire un jeu pleinement signifiant (*meaningful play*), que le concepteur va réussir à créer l'état de flow dans le jeu. En effet, les éléments considérés comme des pré-requis pour l'émergence du flow ressemblent de manière frappante aux composantes d'un *meaningful play*: "une rétroaction immédiate" correspond à la nécessité d'avoir pour chaque action des résultats discernables et intégrés. "Discernable signifie que le résultat de l'action dans le jeu est communiquée au joueur de façon perceptible. [...] La discernabilité dans un jeu fait savoir aux joueurs ce qui est arrivé quand ils ont effectué une action" (2004 : 34-35). Les buts, le défi et l'incertitude quant à l'issue du jeu correspondent au contexte plus large dans lequel les choix effectués par le joueur sont intégrés et deviennent signifiants. Par "intégré" et "signifiant", on entend notamment que le contexte va indiquer au joueur comment ses actions vont affecter le reste du jeu.

2.3.2. Flow et apprentissage

Plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'état de flow dans un contexte d'apprentissage. Rieber (1996) présente la théorie du flow dans le cadre de l'apprentissage auto-régulé des adultes. Il met l'accent sur un des éléments-clés de la théorie du flow qui est celui de l'optimisation du défi à relever. Dans l'état de flow, le problème proposé et l'habileté à le résoudre sont en équilibre. Ce point est fondamental pour assurer la motivation dans l'apprentissage. Si une personne a le sentiment que la tâche à accomplir est trop difficile par rapport à ses compétences, elle va éprouver un sentiment d'anxiété. Au contraire, si le défi à relever lui paraît trop facile, elle va rapidement s'ennuyer. Novak et Hoffman (1997) a

construit un questionnaire à l'intention d'utilisateurs du web permettant de mesurer spécifiquement le flow en termes d'adéquation entre des aptitudes élevées et un défi à la hauteur de ces aptitudes, qui met en évidence l'éventail de sentiments (ennui, excitation, apathie, inquiétude, contrôle, etc.) suscités lors d'un déséquilibre entre ces dimensions. Autre élément à relever qui offre un parallèle avec l'apprentissage: atteindre l'état de flow demande un effort et du travail. Ce n'est pas en étant passif que l'on peut espérer atteindre cet état. On peut, cependant, par un effort délibéré, améliorer notre capacité à vivre l'expérience optimale.

D'autres recherches se sont centrées sur les éléments de conception d'un environnement de travail engageant en se basant sur la théorie du flow. Pour Jones (1998), lorsque que les apprenants choisissent de travailler dans un environnement d'apprentissage informatisé (computer-based learning environments – CBLE) parce qu'ils sont intéressés par la matière à apprendre; ils sont mus par une motivation intrinsèque. L'environnement de travail n'a, dès lors, pas besoin d'être spécialement engageant, il suffit que le contenu d'apprentissage soit présenté de manière factuelle. Si, par contre, l'apprenant n'est pas motivé intrinsèquement, l'environnement doit comporter un certain nombre de caractéristiques particulièrement motivantes pour susciter et maintenir l'intérêt de l'apprenant. Le recours à la théorie du flow semble alors tout particulièrement pertinent pour concevoir un CBLE motivant. Jones postule qu'il est possible de fournir aux apprenants, dans un environnement de travail, les outils nécessaires pour atteindre un état de flow afin d'optimiser l'expérience d'apprentissage.

Partant des jeux vidéo, qui constituent des environnements interactifs tout particulièrement engageant pour les joueurs, Jones (1998) a cherché à identifier les composants des jeux qui renvoient à chacun des éléments constitutifs du flow. Puis, dans un deuxième temps, il a tenté de discerner dans les CBLE, les éléments qui peuvent prétendre à l'émergence du flow ou qui en sont la manifestation (Table 2). Certaines de ses propositions peuvent aider directement à la conception de CBLE stimulants et servir à l'élaboration de jeux pédagogiques motivants (par exemple, faire correspondre les tâches à accomplir avec un niveau de difficulté donné, ou proposer des exercices d'entraînement); d'autres sont trop imprécises et vagues (intégration continue des tâches, des outils et de l'information, par exemple).

Fu et al. (2009) ont développé une échelle pour mesurer le degré de plaisir des joueurs dans des jeux pédagogiques qu'ils ont appelée EgameFlow. Ils ont repris le modèle de Sweetser et Wyeth (2005) et l'ont adapté à un contexte d'apprentissage en changeant un des critères retenus par les deux auteurs: ils ont remplacé la mesure de l'amélioration des compétences du joueur dans le jeu (*player's skill*) par l'accroissement de ses connaissances (*knowledge*)

Table 2

Relationship between Flow, games, and design of CBLE's. (Jones, 1998)

Element of Flow	Manifestation in a game	Possible manifestation in a CBLE
1. Task that we can complete	The use of levels in a game provide small sections that lead to the completion of the entire task.	Exercices relevant to the content area that provide « drill and practice » types of activities might provide learners with areas of skill to focus on. Also aids in reinforcement.
2. Ability to concentrate on a task	Creation of convincing worlds that draw users in. The Dungeons and Labyrinths in Doom II help you suspend your belief systems for a time.	Creation fo seamless integration of tools, tasks, and presentation of information.
3. Task has clear goals	Survival, collection of points, gathering of objects and artifacts, solving the puzzle.	Provide problems within a learning environment. Despite the desire to have learners determine their own problems, it can help to have initial problems identified for them.
4. Task provide immediate feedback	Shoot people and they die. Find a clue, and you can put it in your bag.	Combining appropriate tools with the software can provide users with mechanisms for meeting goals and gaining feedback from the software.
5. Deep but effortless involvement (losing awareness of worry and frustration of everyday)	The creation of environments that are far removed from what we know to be real helps suspend belief systems and take away from the ordinary.	Keeping the visual appearance of the environment can maintain consistency which may help keep users focused on the task at hand. Less environmental juxtaposition may help keep users focused.
6. Exercising a sense of control over their actions	Mastering the controls of a game, such a mouse movement of keyboard combinations.	Providing for more direct control by the learner. More learner directed movement than designer determined paths.
7. Concern for self disappears during flow, but sense of self is stronger after flow activity	Many games provide for an environment that is simulation of life and death. One can cheat death and not really die. People stay up all night to play these games. It is the creation of an integration of presentation, problem, and control over the system that promotes this.	Tools that promote self confidence (achievable goals, taks that are level appropriate) can help strengthen sense of self and help generate greater self efficacy.
8. Sense of duration of time is altered	Years can be played out in hours. Battle scan be conducted in minutes.	Chunking of information can help keep people moving. Closure can keep users working.

grâce au jeu. Se fondant sur Tiger (cité dans Fu et al., 2009), ils affirment que le développement des connaissances fait partie des expériences plaisantes du jeu et peut donc être inclu dans les mesures permettant d'évaluer le plaisir des apprenants/joueurs dans les

jeux destinés à l'apprentissage. Ce postulat rejoint une des idées chères à Crawford (1982), qui prétend que la motivation fondamentale de tout jeu est d'apprendre.

Pour Kirriemuir & McFarlane (2004), il serait utile de mieux comprendre les structures profondes de l'expérience du *game play* qui contribuent au flow afin d'être en mesure de concevoir des environnements d'apprentissage optimisant l'engagement des apprenants. Habgood, Ainsworth et Benford (2005) considèrent que l'on peut parler d'apprentissage intrinsèque dans un jeu vidéo pédagogique à partir du moment où le contenu de l'apprentissage est intégré dans les parties du jeu qui permettent d'expérimenter l'état de flow.

Cependant, il faut relever qu'on ne sait pas vraiment dans quelle mesure un engagement fort dans le jeu a un lien avec l'apprentissage. Les recherches empiriques sont lacunaires à ce sujet ; elles n'ont pas permis pour l'instant de mettre clairement en évidence un lien entre le flow et une performance de l'apprenant plus élevée en termes d'apprentissage (Wouters et al., 2009).

2.3.3. Immersion

L'immersion est un aspect du flow qui nous intéresse tout particulièrement dans la mesure où l'intégration de l'apprentissage dans le jeu est susceptible de venir perturber l'immersion du joueur. Dans la théorie du flow, l'immersion fait référence à l'implication extrême du joueur durant le temps du jeu, et aux sentiments très plaisants engendrés par cette situation. Relevons que l'engagement du joueur au départ du jeu, n'implique pas forcément, au cours du jeu, une forte immersion (Gunter et al., 2008).

L'immersion est décrite par Csikszentmihalyi (1990) comme un engagement profond mais sans effort (*deep but effortless involvement*) dans le jeu qui débouche souvent sur la perte de la conscience de soi et de la vie quotidienne, ainsi que sur une perception altérée du temps. Les joueurs deviennent moins conscients de leur environnement, n'ont plus pleinement conscience, durant le jeu, du temps qu'ils y consacrent. Le jeu capture toute leur attention, et leurs émotions sont directement affectées par le jeu. Leur fort investissement émotionnel est lié aussi au temps et à l'effort dédiés au jeu. Ils se sentent viscéralement impliqués dans le jeu (Sweetser & Wyeth, 2005). Les éléments du jeu qui conduisent le joueur à une forte immersion et qui le maintiennent dans cet état sont, d'après Sweetser et Wyeth, principalement les éléments audio (bruitage, bandes sonores) et narratifs (introduction, scénario). L'élément narratif permet au joueur de se faire une idée précise des caractéristiques de ses personnages et de ce qui se passe dans l'histoire. Ceci donnerait le sentiment aux joueurs qu'ils font partie intégrante de l'histoire. Dans *Warcraft 3*, analysé par Sweetser et Wyeth, le joueur est facilement captivé: il se sent en étroite connexion avec ses héros; il doit s'occuper de tâches diverses, doit suivre et contrôler différentes choses. La

qualité des animations, graphiques et sons contribue également à la forte immersion des joueurs dans le jeu.

Selon nous (Szilas et Sutter Widmer, 2009), cependant, c'est avant tout la mécanique de jeu elle-même qui immerge le joueur dans le jeu. L'immersion graphique, même si elle joue un rôle important dans les jeux, n'est ni suffisante ni essentielle. On peut se sentir absorbé par un jeu qui n'a rien d'immersif d'un point de vue graphique. Il est vrai que le plus souvent l'immersion graphique soutient l'immersion par la mécanique. L'immersion par la mécanique joue un rôle crucial car elle permet au joueur d'être constamment en interaction avec le jeu. Les longs moments d'attente dans *Lords of EverQuest*, lors de la construction des unités par exemple, portent indubitablement préjudice à l'immersion (Sweetser & Wyeth, 2005). Dans le cas d'une immersion par la mécanique, le joueur est sans cesse sollicité à agir et doit adapter ses actions face à une configuration en permanence renouvelée étant donné que le système du jeu tient compte de la spécificité de toutes ses actions. Dans certains jeux pédagogiques comme *Jiji* du Mind Research Institute, seuls deux cas de figure sont envisagés: les actions du joueur vont entraîner soit la réinitialisation du système à son état précédent (en cas d'erreur) soit le passage à un exercice suivant (en cas de réussite), sans proposer des alternatives plus riches et diversifiées. L'immersion dans le jeu en pâtit alors irrémédiablement.

S'intéressant spécifiquement à l'immersion dans les jeux destinés à l'apprentissage, Gunter et al. (2008) prennent comme point de départ une définition de l'immersion de Murray pour l'adapter aux jeux pédagogiques. Murray (cité dans Gunter et al., 2008) qualifie l'immersion comme le fait de croire de manière active au contexte fictionnel du jeu. Gunter et al. (2008) ajoutent à cette définition que le joueur-apprenant est pleinement immergé dans un jeu pédagogique quand il est complètement engagé et concentré sur des objectifs d'apprentissage. L'engagement généré par une immersion totale dans ce type de jeu permettrait l'émergence d'un processus cognitif élaboré. Cependant, l'immersion couplée avec l'interaction et l'engagement, ne serait qu'une condition nécessaire mais insuffisante pour l'apprentissage dans un jeu. Gunter et al. (2008) retiennent les facteurs suivants comme mesure d'une forte immersion: le joueur-apprenant est impliqué cognitivement, physiquement, psychologiquement et émotionnellement dans le jeu; une forte interaction avec le jeu et une participation active des apprenants-joueurs est requise; l'environnement permet au sentiment de croyance dans la fiction du jeu d'émerger.

2.3.4 Motivation intrinsèque

Soucieux de rendre l'apprentissage à l'école moins ennuyant et plus agréable, Malone et Lepper (1987) ont cherché à concevoir des environnements de travail intrinsèquement motivants, c'est-à-dire des environnements au sein desquels les individus sont motivés à

apprendre en l'absence de toute récompense externe ou punition. L'hypothèse sous-jacente à cette démarche est que la motivation aurait un impact positif sur l'acquisition des connaissances par les élèves et sur leur manière d'apprendre.

A partir de différentes théories portant sur la motivation intrinsèque, Malone et Lepper (1987) ont élaboré une taxonomie des motivations intrinsèques à l'apprentissage. Ils ont identifié quatre catégories de motivations individuelles: le défi (*challenge*), la curiosité, le contrôle et le monde imaginaire (*fantasy*).

Le **défi** (*challenge*) s'inscrit dans la conviction que les gens préfèrent un niveau optimal de défi. Malone et Lepper se réfèrent notamment à la théorie du flow de Csikszentmihalyi (1990). Si l'activité est trop facile ou trop difficile, elle sera de peu d'intérêt pour l'apprenant. Pour qu'une activité ait le niveau de difficulté optimal, elle doit comporter des buts clairement fixés mais son issue doit rester incertaine. Dans le monde des jeux numériques, ce facteur d'incertitude est introduit et maintenu par la présence de niveaux de difficulté différents, de multiples niveaux de buts, d'informations cachées et par le recours au hasard. Enfin, d'autres éléments interviennent pour qu'une activité soit stimulante comme un feed-back fréquent, constructif et encourageant, qui permet à l'apprenant d'évaluer ses progrès par rapport aux buts à atteindre, et qui va renforcer son estime de soi.

La **curiosité**: des activités contenant un certain niveau de complexité informationnelle, de surprise, de nouveauté, d'incongruité ou présentant des contradictions par rapport à ses propres attentes et connaissances susciteraient de la curiosité, apporteraient du plaisir et de la motivation pour l'apprentissage. Malone et Lepper distinguent les théories portant sur la curiosité dite sensorielle (par exemple, l'effet de l'image, du son et de l'interaction dans le cadre des ordinateurs) de celles sur la curiosité cognitive, qui sont associées aux idées piagétienne sur l'assimilation et l'accommodation. Dans le monde des jeux vidéo, les concepteurs cherchent à engendrer de la curiosité et de la surprise chez les joueurs en suscitant des conflits cognitifs (Habgood, 2007). Ainsi, afin de maintenir leur curiosité éveillée, les joueurs sont continuellement invités à remettre en question les connaissances qu'ils croient avoir du monde dans lequel ils évoluent. En général, ils passent par une première phase d'assimilation en début du jeu quand ils prennent connaissance du fonctionnement du jeu, de ses règles, et qu'ils peuvent faire des liens avec d'autres jeux relevant du même genre puis, dans une deuxième phase, ils découvrent des spécificités propres au jeu (par exemple que certains ennemis sont invulnérables) qui les obligent à revoir leurs schèmes antérieurs et à les accommoder. En suscitant ces conflits cognitifs, ces jeux stimulent leur curiosité et leur désir d'en savoir toujours plus.

Le **contrôle** constitue le troisième pôle des théories traditionnelles sur la motivation intrinsèque. Le terme de contrôle a des résonances légèrement différentes selon les auteurs considérés. Malone et Lepper (1987) relèvent cependant deux idées qui sous-tendent toutes les théories sur le contrôle: le contrôle qu'un individu a sur un environnement spécifique

dépend, d'une part, du nombre d'options qui lui sont offertes et, d'autre part, de la probabilité que chacune de ces options dépend de ses réponses (principe de contingence). Une grande variété de choix au sein d'un ensemble d'alternatives augmente la motivation intrinsèque, de même qu'un environnement où les actions des apprenants ont des effets très variés et considérables. Le monde des jeux vidéo pédagogiques, qui se caractérise par un fort potentiel d'interactivité, offre un terrain idéal pour l'application de ces trois caractéristiques (contingence, choix et effets puissants). Pour Gee (2003), plus un joueur peut manipuler un personnage dans le jeu et prendre des décisions qui auront un impact sur ce dernier, plus il sera motivé et s'investira dans son personnage et dans le jeu.

Le monde imaginaire ou fictionnel (*fantasy*) : cette catégorie n'apparaît que rarement dans les débats sur la motivation intrinsèque ; elle est pourtant considérée par Malone et Lepper comme une catégorie qui joue un rôle important pour des activités intrinsèquement motivantes comme les jeux numériques, la télévision, la lecture et le jeu théâtral. Un environnement fictionnel est défini par ces deux auteurs comme un environnement « *that evokes mental images of physical or social situations not actually present* » (1987: 240), qui offre, par exemple, aussi bien la possibilité d'être le gouverneur d'une province que de jouer aux fléchettes. Le monde fictionnel doit notamment son attrait au fait qu'il répond à des besoins d'ordre émotionnel: il permet de vivre des expériences gratifiantes comme le pouvoir, le succès, la fortune ou la maîtrise de différentes situations. Cependant, ces besoins varient d'un individu à l'autre, d'où de fortes différences individuelles par rapport aux préférences exprimées pour l'un ou l'autre monde fictionnel. Difficile donc de concevoir un jeu pédagogique mettant en scène un monde fictionnel emportant l'adhésion de tous les apprenants.

Malone et Lepper font, par ailleurs, une distinction fondamentale entre fiction endogène et exogène, qui renvoie à l'intégration du contenu d'apprentissage dans le contexte fictionnel. Nous y reviendrons en détail dans le chapitre sur les différentes dimensions de l'intégration jeu-apprentissage. D'autres formes de motivation intrinsèque sont évoquées par Malone et Lepper: la compétition, la coopération et la reconnaissance. Elles relèvent de motivations interpersonnelles que nous n'étudierons pas dans le cadre de ce travail. De ce fait, nous ne nous attarderons pas sur ces dimensions.

Le modèle dynamique développé par Viau (1998) sur la motivation en contexte scolaire est une autre approche souvent citée. Viau a identifié trois composantes de la motivation, qui sont directement influencées par le contexte dans lequel l'élève se trouve: la perception de la valeur d'une activité, la perception de sa compétence à l'accomplir et la perception de la contrôlabilité du déroulement et des conséquences de l'activité. Ces perceptions vont avoir, selon Viau, une influence sur l'engagement cognitif de l'élève et sur sa persévérance, ce qui déterminera en fin de compte ses performances en termes d'apprentissage. Le principe de cette approche cognitive de la motivation est que l'engagement d'un sujet dans une tâche

est déterminé par les représentations qu'il se fait de lui-même et de la situation.

Que nous disent les études empiriques sur la relation existant entre motivation intrinsèque et efficacité pédagogique ? Dans une de leurs recherches, Malone et Lepper (1987) ont cherché à déterminer dans quelle mesure la motivation intrinsèque des élèves affectait leur apprentissage. Ils ont comparé deux groupes d'élèves auxquels était proposé le même contenu pédagogique (introduction aux fractions) sous la forme d'un jeu ou d'un exercice. Le jeu consistait en un jeu de fléchettes. Le format "exercice" reprenait la même activité que celle du jeu après en avoir enlevé toutes les caractéristiques ludiques (effets audiovisuels, musique, fiction, etc.). Les résultats de l'étude ont montré que le jeu avait un attrait motivationnel 50% plus important que l'exercice. Dans les deux cas une importante progression par rapport à l'apprentissage des fractions pouvait être constatée. Le jeu, pourtant considéré comme l'activité la plus motivante, n'a cependant pas conduit à de meilleurs résultats, en termes de gains d'apprentissage, comparativement aux exercices.

Selon Malone et Lepper (1987) l'ajout de caractéristiques ludiques à un contenu pédagogique peut avoir des effets opposés selon la perspective que l'on adopte. On peut considérer que l'insertion d'éléments ludiques va soit distraire l'apprenant et par conséquent réduire l'apprentissage soit, au contraire, accroître son attention et finalement améliorer l'apprentissage.

Diverses recherches mentionnées par Asgari et Kaufman (2004) montrent que l'intégration d'éléments ludiques dans le matériel scolaire peut amener à une plus grande motivation des élèves, qui va se manifester par une attention accrue de leur part et par une meilleure rétention du contenu d'apprentissage. L'aspect fictionnel du contexte d'apprentissage semble particulièrement jouer un rôle déterminant et positif dans la motivation des élèves et leur apprentissage.

Pour Hays (2005), qui fait une revue quasi exhaustive de la littérature sur l'efficacité des jeux pédagogiques, il manque cependant encore des études démontrant que les jeux augmentent la motivation et l'intérêt des apprenants. Le lien entre les mesures effectuées sur la motivation et des performances plus élevées n'est pas clairement établi. Même si Hays reconnaît l'effet motivationnel des jeux – les jeux donnent envie de jouer - il rappelle qu'un jeu n'est bénéfique d'un point de vue pédagogique que s'il est conçu pour atteindre des objectifs d'ordre pédagogique sinon le seul apprentissage effectué par l'apprenant se réduit à savoir comment gagner le jeu. La question est donc de savoir comment concrètement intégrer de manière efficace l'apprentissage dans le jeu. Nous aborderons ce point dans le chapitre qui suit.

2.4. Intégration jeu - apprentissage

Lors de la conception d'un jeu pédagogique se pose la question centrale de l'articulation entre le jeu et l'apprentissage. Comment intégrer de manière pertinente le contenu d'apprentissage dans la structure d'un jeu ? L'inefficacité de nombreux jeux pédagogiques d'un point de vue pédagogique et/ou ludique est attribuée à une intégration insuffisante de ces deux composantes. Dans un jeu qualifié de mal intégré, l'apprentissage n'est pas essentiel pour progresser dans le jeu et les objectifs pédagogiques ne coïncident pas avec les objectifs du jeu. Une dissociation spatiale et temporelle entre le jeu et l'apprentissage peut être alors observée (Szilas & Sutter Widmer, 2009).

Ce problème d'intégration est soulevé par plusieurs auteurs (Egenfeldt-Nielsen, 2006; Rieber, 1996; Hays, 2005; Kellner 2000; Habgood et al., 2005) qui défendent l'idée qu'un jeu bien intégré serait plus efficace sur le plan de l'apprentissage qu'un jeu mal intégré. Malone et Lepper (1981, 1987) ont été les premiers à essayer de définir quels étaient les éléments du jeu par lesquels pouvait s'effectuer une intégration réussie du contenu d'apprentissage.

2.4.1 L'intégration par la fiction

Pour Malone et Lepper (1987) l'efficacité pédagogique d'un jeu numérique dépend de la manière dont le contenu d'apprentissage est intégré dans le contexte fictionnel du jeu. Les deux chercheurs font une distinction entre "*intrinsic fantasy*" et "*extrinsic fantasy*" (1981), termes qu'ils remplaceront ensuite par ceux de "*endogenous*" et "*exogenous fantasy*" (1987). Par "*endogeneous fantasy*", les deux auteurs désignent une relation intégrale et continue entre un monde imaginaire et un contenu d'apprentissage (1987: 240). Par contraste, lorsque la fiction est exogène (*exogenous fantasy*) la relation entre la fiction et l'apprentissage est arbitraire et occasionnelle. Dans le premier cas, s'il s'agit d'un jeu, il n'est pas possible de dire où s'arrête le jeu et où commence le contenu d'apprentissage (Rieber, 1996).

Malone et Lepper font l'hypothèse que des mondes fictionnels endogènes sont plus intéressants et donnent de meilleurs résultats en termes d'apprentissage que ceux que l'on peut qualifier d'exogènes. Le recours à une fiction endogène comporterait différents avantages pour l'apprenant, d'un point de vue cognitif et émotionnel. Tout d'abord l'intégration intrinsèque entre fiction et apprentissage permettrait de mettre en place un feedback constructif, ciblé et approprié, donné par le monde imaginaire, et non pas simplement une réponse de type juste/faux. Elle offrirait également la possibilité d'utiliser des métaphores appropriées pour l'apprentissage (métaphores spatiales pour des concepts mathématiques, par exemple) qui permettent à l'apprenant de faire plus facilement un lien entre les nouvelles informations qui lui sont présentées et ses connaissances antérieures. Il semblerait aussi qu'une intégration endogène des fictions aurait une influence positive sur la

mémorisation du matériel pédagogique. Enfin, si l'apprenant est intéressé par le monde imaginaire qui lui est proposé, il sera automatiquement intéressé par le contenu d'apprentissage (Rieber, 1996). A ce sujet, Malone et Lepper conseillent de personnaliser le contexte fictionnel pour accroître la motivation intrinsèque de tous les apprenants.

Dans une de leurs études empiriques, Malone et Lepper (1987) ont exploré la notion d'un monde imaginaire endogène et exogène à travers un jeu destiné à l'apprentissage des fractions. Leur objectif était de mesurer l'effet de l'intégration endogène de la fiction sur la motivation des apprenants. Deux versions d'un jeu de fléchettes ont été testées (Figure 1). Dans la version intrinsèque, le joueur entre des nombres fractionnels qui doivent correspondre aux hauteurs respectives des trois ballons placés au hasard sur une ligne verticale numérotée. Si le nombre saisi est correct, une fléchette vient transpercer le ballon; si la réponse est fausse, la fléchette vient se planter sur la ligne numérotée et le joueur est invité à retenter sa chance. Les ballons et fléchettes constituent le monde imaginaire. La capacité chez l'apprenant d'estimer correctement les fractions est donc ici intimement liée au monde imaginaire. Dans la version extrinsèque, les cibles ont été remplacées par des rectangles noirs et les ballons ne servent qu'à établir le score obtenu par l'apprenant-joueur: le lien intrinsèquement établi entre le monde imaginaire et le contenu d'apprentissage qui prévalait dans la première version est rompu.

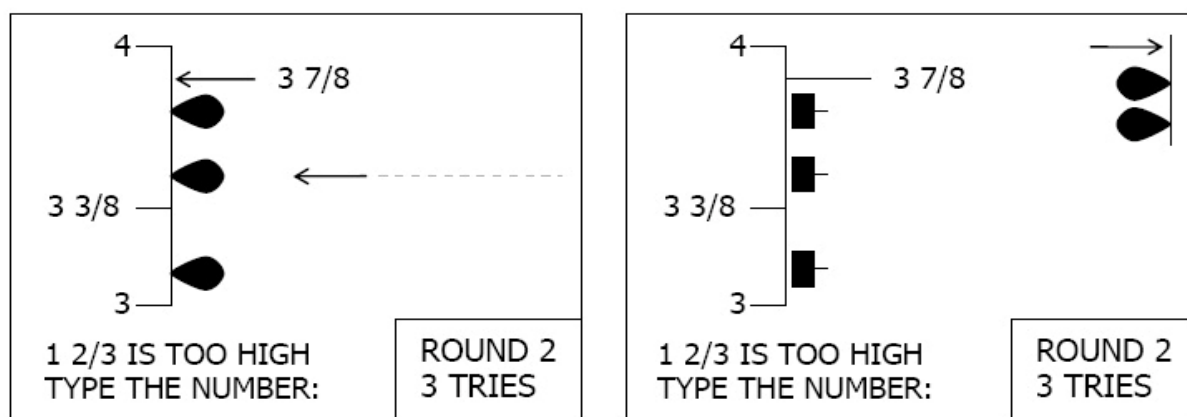


Figure 1. Versions intrinsèque et extrinsèque du Darts game de Malone et Lepper (1987)

Les résultats de l'étude ont montré que les filles avaient joué moins longtemps sur la version intrinsèque que sur la version extrinsèque, alors qu'aucune différence ne pouvait être relevée chez les garçons. Malone et Lepper en ont déduit que les garçons avaient apprécié le monde fictionnel de fléchettes et ballons, ce qui pouvait signifier que le monde imaginaire jouait un rôle prépondérant dans l'aspect motivationnel des jeux. Par contre, cette étude ne donne pas d'information sur l'impact, supposé différentiel, de l'une et l'autre version sur l'apprentissage réalisé par l'apprenant. Différentes recherches expérimentales, dans la lignée de Malone et Lepper, ont cependant montré qu'un contenu pédagogique intégré dans un contexte fictionnel suscitent chez les apprenants un intérêt plus fort pour la matière enseignée et

conduit à un gain d'apprentissage plus important. Par exemple, l'étude de Cordova (citée dans Asgari & Kaufman, 2004) a montré que l'intégration du matériel pédagogique dans un contexte fictionnel, en comparaison avec un environnement décontextualisé, promouvait l'apprentissage de manière plus efficace.

2.4.2 L'intégration par la mécanique du jeu

Dans l'approche de Malone et Lepper, l'intégration entre le jeu et l'apprentissage est considérée uniquement au niveau du monde fictionnel. Pourtant, un jeu comporte d'autres éléments et notamment une mécanique du jeu qui est au cœur de son fonctionnement. L'intégration du contenu d'apprentissage peut aussi être pensée au niveau de la mécanique même du jeu.

La mécanique du jeu (*core mechanic*) est définie par Salen et Zimmerman (2004, p. 316) comme "*the essential play activity players perform again and again in a game*". Elle peut parfois correspondre à un seul type d'action mais, le plus souvent, elle se réfère à un enchaînement d'actions diverses comme bouger, viser, tirer, gérer des ressources dans un jeu de tir subjectif (*First Player Shooter*). C'est à travers ce mécanisme, par lequel s'effectuent les interactions essentielles d'un jeu, que les joueurs vont faire tout au long du jeu des choix pleinement signifiants qui vont leur permettre de vivre une expérience de jeu ayant du sens (Salen & Zimmerman, 2004).

Le joueur est amené inévitablement à apprendre la mécanique d'un jeu lorsqu'il interagit avec le jeu (Szilas & Accosta, 2009). A la fin d'un jeu, il a acquis en principe une certaine connaissance du fonctionnement du système du jeu et des règles qui constituent la mécanique du jeu. Lorsque le jeu a été conçu de telle manière à intégrer l'objectif pédagogique dans sa mécanique, le simple fait de jouer permettra d'atteindre cet objectif.

Habgood (2005, 2007) utilise le terme d' "intégration intrinsèque" (*intrinsic integration*) pour désigner dans les jeux vidéo un contenu d'apprentissage intégré à travers la mécanique du jeu. Pour lui, le contenu d'apprentissage doit être représenté à l'intérieur des structures et des interactions du monde du jeu pour aboutir à des jeux pédagogiques plus efficaces. Il remet en question l'approche de Malone et Lepper (1987) en suggérant que dans le jeu de fléchettes développé par ces deux auteurs ce n'est pas tant à travers le monde imaginaire qu'à travers la mécanique du jeu que se produit véritablement l'intégration du contenu d'apprentissage, puisque la mécanique de ce jeu consiste précisément à entrer des valeurs fractionnelles qui vont amener un objet à en heurter un autre en fonction de sa position sur un troisième objet. Il y aurait donc confusion des termes. En réalité, selon Habgood (2007), le contexte fictionnel de ce jeu est en soi secondaire, les ballons et fléchette pouvant être remplacées par des éléphants et des petits pains aux raisins et avoir le même effet sur le plan des acquisitions de connaissances. Le monde fictionnel joue ici un rôle essentiellement

émotionnel mais qui est crucial pour l'engagement des joueurs dans le jeu.

Néanmoins, comme le relève Habgood (2007), le lien entre monde et imaginaire et la mécanique du jeu peut être également considéré sous un autre angle, comme un moyen d'incorporer un système logique de règles dans une représentation visuelle. Il est admis que la représentation visuelle d'informations et de connaissances peut améliorer les stratégies métacognitives des apprenants et les encourager à appréhender des sujets complexes de manière plus complète (Ainsworth & Loizou cités dans Habgood, 2007). Le recours à la métaphore dans les jeux vidéo pédagogiques, dans la mesure où elle sert à comprendre et à explorer le contenu d'apprentissage, peut dès lors s'avérer judicieux et entrer dans la définition d'un jeu intrinsèquement intégré.

Zombie Division est un jeu développé par Habgood (2005, 2007) pour étudier empiriquement le concept d'intégration intrinsèque. Il s'agit d'un jeu d'action et d'aventure qui intègre des mathématiques dans la mécanique du jeu. Le joueur doit se défendre contre des adversaires qu'il doit vaincre dans un combat au corps à corps en les divisant mathématiquement à l'aide d'armes de valeurs différentes. Il choisit ses armes en fonction du nombre qui figure sur les dossards de ses attaquants. Parallèlement à cette première version de jeu qualifiée d'intrinsèque, Habgood a développé deux autres versions, l'une extrinsèque, où les mathématiques ne sont pas présents dans le combat mais apparaissent entre chaque niveau du jeu, et une version de contrôle ne contenant aucune référence mathématique. Une première étude a montré que, pour un temps identique de jeu, la version intrinsèque du jeu était la plus efficace sur le plan de l'apprentissage. Dans une deuxième étude, qui ne mettait pas de limite au temps consacré au jeu, les enfants ont passé sept fois plus de temps sur la version intrinsèque que sur la version extrinsèque, prouvant l'attrait motivationnel plus marqué de la première version.

2.4.3 Autres dimensions de l'intégration

Nous avons fait l'hypothèse que l'intégration de l'apprentissage dans le jeu ne peut se mesurer à une seule échelle, en ne retenant que l'intégration par la fiction ou l'intégration par la mécanique (Szilas et Sutter Widmer, 2009). Pour concevoir un jeu pédagogique, plusieurs sous-dimensions de l'intégration doivent être considérées. En mettant l'accent sur une seule dimension, le jeu ne sera que partiellement intégré. Aux deux sous-dimensions de l'intégration décrites précédemment, il faut ajouter l'intégration des temporalités qui fait référence à la synchronisation de l'apprentissage avec le jeu proprement dit. Pour appréhender ce concept une autre analyse peut être privilégiée. Si nous revenons à la définition du jeu comme un système, défini par des règles, au sein duquel les joueurs s'engagent dans un conflit artificiel et qui débouche sur un résultat quantifiable (chapitre 1), rappelons que nous avons mis l'accent sur la dimension du jeu en tant que système de

signes, autrement dit comme un système de représentations. Dans un jeu pédagogique s'affrontent deux systèmes de signes: un système de signes correspondant au domaine d'apprentissage et un autre système de signes s'appliquant au jeu lui-même (Szilas & Sutter Widmer, 2009). L'intégration des temporalités consiste à faire fonctionner les deux systèmes de signes simultanément ou à des instants très rapprochés. Si l'on prend pour exemple le jeu *Zombie Division*, on constate que la notion de division (système de signes du domaine d'apprentissage) intervient à chaque rencontre avec l'ennemi (système de signes d'un jeu de tir subjectif). Les deux coïncident donc d'un point de vue temporel ce qui n'est pas le cas dans la version extrinsèque du jeu où le système de signes du domaine d'apprentissage (un quiz sur les divisions) se manifeste entre chaque changement de niveau de jeu, et non pas en même temps que le système de signes du jeu.

2. 5. Réflexion et transfert

On considère que la réflexion joue un rôle essentiel dans le développement des compétences métacognitives, qui sont essentielles pour un apprentissage efficace (Bransford, Brown, & Cocking, 2000). Pourtant, le plus souvent, les jeux vidéo sont perçus comme des environnements qui ne sont pas forcément propices à un apprentissage réflexif. Les jeux d'action, notamment, n'offrent pas suffisamment de temps pour la réflexion alors que l'on associe en général celle-ci à un processus qui se déroule à un rythme lent (Habgood, 2007). Il faut donc imaginer des moyens pour prévoir des temps ou des activités de réflexion durant le jeu, ou concevoir un jeu pédagogique qui n'appartient pas au genre "jeu d'action et d'aventure", dont le rythme serait plus approprié pour la réflexion en cours de jeu.

De plus, se pose la question du transfert des connaissances, que l'on peut définir comme la capacité d'appliquer dans un autre contexte ce qui a été appris dans un contexte particulier (Bransford et al., 2000). Pour certains, le problème du transfert dans les jeux pédagogiques est un paradoxe quasi insoluble (Egenfeldt-Nielsen, 2005). En effet, en postulant que le jeu pédagogique doit ressembler à un jeu vidéo traditionnel, on signifie par là que l'apprentissage doit rester indécélable pour les enfants. Le contenu d'apprentissage doit être intégré dans l'expérience du jeu sans s'en détacher. Par exemple, en demandant aux apprenants de sortir du monde du jeu pour répondre à des questions mathématiques, comme ce fut le cas dans une étude pour un jeu de type Tic Tac Toe, on brisa l'expérience du jeu (Ke, 2008). Cependant, il apparaît tout aussi clairement que si les joueurs n'ont pas conscience des éléments pédagogiques contenus dans le jeu, l'apprentissage et tout particulièrement le transfert des connaissances, en pâtira (Bransford et al., 2000). Dans une autre étude mentionnée par Egenfeldt-Nielsen (2005), la forte immersion dans un jeu vidéo pédagogique a amené à une prise de conscience insuffisante chez les élèves des structures et concepts mathématiques, ce qui a eu pour conséquence de réduire le transfert de l'expérience du jeu dans d'autres contextes.

Pour faciliter le transfert, le contexte d'origine doit partager un certain nombre d'éléments en commun avec les autres contextes vers lesquels s'effectuera le transfert (Bransford et al., 2000); la représentation abstraite des connaissances à acquérir peut aussi promouvoir le transfert. Par contre, des connaissances trop contextualisées risquent de le réduire. Dans le cadre d'un jeu pédagogique, le transfert peut être amélioré en prévoyant durant le jeu l'intervention de l'enseignant, qui mettra l'accent sur ce qui est pertinent d'un point de vue pédagogique dans le jeu (Egenfeldt-Nielsen, 2005).

Enfin, si l'on se place dans une démarche constructiviste, le simple transfert d'information n'est pas suffisant. Ce qui est essentiel, c'est que le joueur soit engagé activement dans le

jeu et construisent ses connaissances à travers les objets du monde ludique (Egenfeldt-Nielsen, 2005). Quand le joueur peut incorporer les nouvelles connaissances à ses cadres personnels, il y a assimilation et le transfert entre des contextes différents est naturellement facilité.

Pour Brousseau également, à l'origine de la théorie des situations en didactique des mathématiques, faire des mathématiques ne consiste pas seulement à recevoir des informations en langage mathématique, même si l'apprenant les comprend. L'enfant doit prendre vis-à-vis des modèles mathématiques qu'il a construits une attitude critique. Il pourra le faire notamment en explicitant ses démarches et par des situations de débats (dialectique de la validation) au cours desquelles les stratégies opératoires des élèves sont validées.

3. Conception et développement d'un jeu pédagogique: Equationtown

Au coeur de la conception d'Equationtown se trouvent les concepts théoriques abordés dans les chapitres précédents: l'intégration de l'apprentissage dans le jeu selon les trois axes définis précédemment (intégration des mécaniques, des fictions et des temporalités) ainsi que les éléments du jeu qui stimulent la motivation des joueurs et sont propices à l'émergence du flow nous ont servi de fil rouge tout au long du développement de ce jeu. Notre préoccupation était aussi d'assurer un bon transfert des connaissances en prévoyant des explications sur le contenu d'apprentissage qui aideraient les apprenants à passer du concret à l'acquisition de notions abstraites applicables dans d'autres contextes tout en préservant l'engagement et l'immersion des joueurs. Pour cela nous avons développé deux versions du jeu, en fonction de l'emplacement des explications dans le jeu, qui ont ensuite été testées expérimentalement.

Nous commencerons par mentionner les contraintes d'utilisation du jeu auxquelles nous étions soumise dans le cadre de ce travail, puis nous décrirons le contenu d'apprentissage et le jeu avant d'expliquer comment nous avons tenté d'opérationnaliser les concepts dans le jeu. Nous présenterons aussi les différences fondamentales entre les deux versions du jeu. Enfin, nous conclurons ce chapitre en évoquant brièvement les tests préliminaires que nous avons effectués sur le jeu avant de décrire et d'analyser la phase d'expérimentation des deux versions du jeu dans le chapitre suivant.

3.1. Contraintes

Le jeu que nous avons développé a été conçu pour être testé dans le cadre d'une expérimentation. Il devait dès le départ répondre à un certain nombre de contraintes: le jeu n'allait être testé qu'une seule fois, pour une durée limitée à 20-40 minutes, ce qui signifiait que l'acquisition des règles devait être très rapide et que les apprenants-joueurs devaient passer par tous les niveaux du jeu en moins de 40 minutes. Les problèmes auxquels étaient soumis les apprenants-joueurs devaient être identiques pour tous, afin de pouvoir plus facilement comparer les résultats.

Le jeu a été aussi conçu pour une utilisation autonome, sans assistance extérieure, et hors du contexte scolaire. Le degré scolaire visé par le jeu était celui de la sixième primaire, en raison de facilités de l'auteur pour le recrutement dans cette tranche d'âge. Le contenu d'apprentissage devait porter sur une matière encore inconnue des élèves mais située dans leur zone proximale de développement. Il nous semblait préférable que tous les enfants aient le même niveau au départ de (mé-)connaissance du domaine d'apprentissage contenu dans le jeu, pour pouvoir plus facilement comparer les résultats au post-test. Le jeu devait donc servir à initier à une nouvelle matière et non pas à entraîner des notions déjà connues: la démarche pédagogique n'est pas la

même dans les deux cas. Enfin, nous avons d'emblée pris le parti de nous situer du côté du *ludus*, jeu finalisé et réglé, plutôt que du *paidia*, jeu libre et exploratoire.

3.2. Le contenu d'apprentissage

Nous avons choisi comme champs d'apprentissage les mathématiques, et ce pour différentes raisons. Il existe tout d'abord toute une tradition de jeux pédagogiques en mathématiques qui remonte aux années 70. De nombreuses études et recherches leur ont été consacrées (Habgood, 2007). Dans l'enseignement des mathématiques, les jeux font partie des types d'activités, avec les situations-problèmes et les problèmes ouverts, qui permettent de mettre sur pied des situations didactiques riches et signifiantes (Brousseau, 1998). Il semblerait, par ailleurs, que les mathématiques sont une discipline où l'efficacité des jeux par rapport à un enseignement traditionnel en classe est supérieure à celle d'autres disciplines comme les sciences sociales, les langues, la physique et la biologie. La rétention de l'information y serait supérieure selon une revue de la littérature effectuée par Randel, Morris, Wetzell et Whitehill (citée dans Hays, 2005). Le succès des jeux en mathématique est également attribué au fait que c'est une discipline qui enseigne des compétences très spécifiques, plus faciles à enseigner à travers un jeu, et à en mesurer l'acquisition, que des connaissances plus complexes et générales (Egenfeldt-Nielsen, 2005). Les concepts mathématiques sont aussi plus faciles à intégrer dans la mécanique d'un jeu que les concepts issus d'autres disciplines car la structure d'un jeu, la logique de ses règles constitutives, offrent des parallèles avec le monde des mathématiques.

Nous avons circonscrit notre sujet à l'algèbre linéaire, qui n'est abordé sous sa forme symbolique qu'à partir de la septième année du Cycle d'orientation à Genève. L'objectif d'apprentissage d'Equationtown est d'initier les sujets à l'équation linéaire simple à partir de la manipulation d'éléments. Les apprenants abordent les notions sous-jacentes à une équation (notion d'inconnue, de variables, signification des lettres, recherche de l'inconnue) à travers la reconstruction d'une maison. Sa finalité n'est pas que les élèves apprennent à résoudre une équation formellement mais qu'ils comprennent, à travers des explications supplémentaires qui leur sont données, qu'un problème peut s'écrire sous la forme d'une équation et qu'on peut la résoudre par tâtonnement, ce qui correspond à une première étape dans l'initiation aux équations linéaires simples³. Nous visons une compétence spécifique, bien délimitée. Des contraintes d'ordre temporel et technique nous ont poussé en partie à faire ce choix.

Notre démarche privilégie une approche contextualisée qui incite à un raisonnement algébrique sans recourir directement à l'écriture algébrique. Elle permet de visualiser le problème, de montrer

³ cf. Curriculum de mathématiques, 7e-8e-9e du Cycle d'orientation, Genève, juin 2003

aux apprenants que l'algèbre peut servir à résoudre des problèmes et que celle-ci s'applique aussi bien aux divers domaines des mathématiques qu'à des contextes extérieurs aux mathématiques sachant que la dimension d'abstraction de l'algèbre fait difficulté aux élèves (Breiteig & Grevholm, 2006).

3.3. Le jeu

Equationtown est un jeu de construction virtuelle développé avec Game Maker, un logiciel de développement de jeux vidéo. Sa mécanique s'inspire au départ d'une série de jeux mathématiques développés par le Mind Research Institute⁴ qui privilégient une approche de type spatiale et temporelle des mathématiques dans le but d'en développer une compréhension conceptuelle. Les symboles et nombres ne sont introduits que progressivement dans les jeux. Dans le jeu consacré aux équations linéaires, l'élève aborde la notion d'inconnue à travers la construction d'un pont qu'un pingouin doit franchir. Le joueur construit le pont en substituant à une ou plusieurs variables x le nombre qui correspond à la longueur du pont. Si le nombre choisi est correct, le pingouin peut franchir le pont sans encombre, s'il est incorrect il doit rebrousser chemin car le pont devient infranchissable : il est alors soit surélevé soit inachevé en fonction de la réponse donnée.

Cette approche nous a paru très prometteuse car l'apprentissage est intégré dans une mécanique du jeu spécifique et pertinente. Le jeu manque cependant de continuité car le pingouin revient finalement toujours au début du chemin, qu'il arrive ou non à franchir le pont, soit pour répéter l'exercice en cas d'erreur soit pour en commencer un nouveau. Nous nous sommes donc inspirée de la conception de ce jeu en adoptant une approche similaire des mathématiques et de l'intégration de l'apprentissage dans la mécanique du jeu, tout en veillant à pallier cette absence de continuité qui nuit au rythme du jeu et qui donne le sentiment d'avoir affaire à une séquence d'exercices plutôt que véritablement à un système de jeu riche en interactions diversifiées.

Dans Equationtown, le but du jeu est de réparer progressivement les éléments de différentes maisons (fenêtre, porte, tuiles, etc.) qui ont été détruits par une tempête. Le joueur incarne un ouvrier travaillant pour une entreprise mandatée par la ville pour rénover les maisons ravagées. Son entreprise dispose d'un budget de Frs 45'000 pour effectuer les réparations (Figure 2). Chaque réparation a un coût équivalent au prix du matériel utilisé, le but pour le joueur étant de ne pas passer en dessous de zéro francs, ce qui peut se produire s'il fait trop d'erreurs.

⁴ <http://www.mindinst.org/>

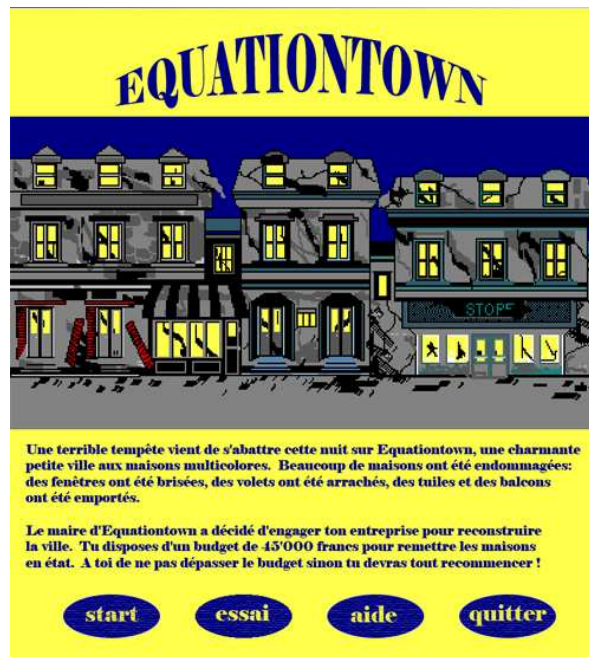


Figure 2. Ecran d'introduction au jeu

Au total cinq maisons doivent être remises en état. Pour chaque partie manquante d'une maison (Figure 3), le joueur doit choisir, parmi une série d'éléments qui lui est proposée (dans l'exemple ci-contre: 2, 4, 6 ou 8 lamelles de volets) celui qui correspond au nombre adéquat de pièces nécessaires à la réparation. Il doit tenir compte d'un certain nombre de paramètres, qui varient d'une réparation à l'autre, pour effectuer le bon choix: il doit être attentif au nombre de pièces requises pour la réparation (8 lamelles dans l'exemple), au nombre de grues à disposition (1) ainsi qu'au nombre de crochets (2) fixés sur la grue qui vont saisir l'élément sur lequel il aura cliqué pour le placer dans l'espace vide correspondant.

Dans cet exemple, la bonne réponse équivaut à 4.

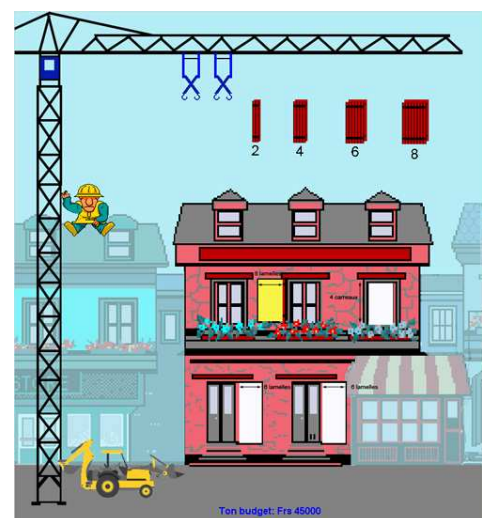


Figure 3. Reconstruction d'une maison

Lorsque le joueur clique sur les 4 lamelles, elles vont se dédoubler, puisque les deux crochets vont chacun prendre un volet composé de 4 lamelles pour les placer à l'endroit (en jaune sur la Figure 3) où font défaut 8 lamelles de volet.

3.3.1 Feed-back

Dans la théorie des situations, issue de la didactique des mathématiques, on appelle « milieu »,

tout ce qui agit sur l'élève ou/et ce sur quoi l'élève agit (Brousseau, 2003). Selon Szilas et Accosta (2009), la notion du « milieu » correspond, dans les jeux, à la mécanique du jeu. Les règles et la mécanique du jeu sont conçues de telle manière à ce que toute action produit des conséquences. A chaque action va correspondre un feed-back du milieu. Selon la théorie des situations, le milieu n'a pas d'intention pédagogique. L'apprenant va adapter ses réactions en fonction des réponses naturelles du jeu. Conformément à cette théorie, le feed-back ne devrait donc pas prendre la forme d'un jugement (juste/faux ou correct/incorrect) mais s'apparenter aux conséquences naturelles des actions des joueurs.

Dans Equationtown, lorsque le joueur fait le bon choix, l'élément cliqué viendra s'insérer correctement dans l'espace prévu à cet effet. Par contre, si la pièce choisie est trop grande, elle viendra s'asseoir une fraction de seconde sur la partie supérieure du rectangle jaune, indiquant par là-même que la pièce est trop grande pour se glisser dans l'espace vide, avant de s'écraser et de se briser sur le sol. Si la pièce est trop petite, elle s'insèrera dans le rectangle jaune mais déséquilibrée en raison d'un espace trop grand, elle viendra également éclater en morceaux sur le trottoir. Le feed-back, donné par le milieu, est donc immédiat et indique précisément si le choix effectué par le joueur permet d'effectuer la réparation ou bien si l'élément choisi est trop petit ou trop grand. C'est un feed-back qui prend la forme d'une conséquence naturelle à l'action entreprise par le joueur. Elle donne aussi un indice permettant à l'apprenant de réajuster son hypothèse. Lorsque le joueur a fait une erreur, il doit choisir une autre pièce parmi celles qui restent à sa disposition. Cela permet à l'apprenant de tester différentes hypothèses, ce qui n'est pas le cas lorsqu'un logiciel n'admet qu'une réponse et qu'à chaque réponse erronée une autre situation est présentée (Kellner, 2007). Par ailleurs, il n'est pas non plus incité à procéder par essais systématiques sans réfléchir à la solution de l'opération, en se disant qu'il finirait par bien trouver la bonne pièce, car chaque essai entraîne des coûts, liés au prix du matériel, qui font diminuer plus rapidement son budget.

Le feed-back est aussi cohérent avec la représentation du monde fictionnel donnée par le jeu: une vitre trop grande ne pourra pas s'insérer dans le cadre d'une fenêtre. Kellner (2007) insiste sur l'importance d'une homologie de structure entre les règles du jeu et celles du monde réel afin que le jeu puisse donner lieu à des schémas cognitifs applicables ensuite dans le monde réel.

Enfin, il faut relever le fait que l'apprenant n'a pas besoin d'attendre que la casse se produise pour se rendre compte de son erreur. Il peut anticiper la justesse de son choix dès que le ou les crochets viennent saisir l'élément cliqué et commencent à les descendre vers l'endroit requis (Figure 4): il lui suffit de comparer visuellement la taille des éléments accrochés avec l'espace d'insertion.



Figure 4. Anticipation de l'erreur

Nous avons pu le constater lors de la phase d'expérimentation, les apprenants se rendaient souvent compte de leur erreur dès la saisie des éléments et la descente des crochets, et l'exprimaient en s'exclamant ("mince !", "ah non!").

3.3.2 Niveaux de difficultés

Le jeu comporte quatre niveaux distincts de difficultés, auquel il faut ajouter un niveau d'entraînement qui permet aux joueurs en début de jeu de se familiariser avec le jeu (Table 3). Les différents niveaux ont une double fonction : ils permettent, d'une part, un apprentissage progressif en introduisant graduellement, à travers les problèmes proposés, les différentes composantes d'une équation (x , $ax=b$, $ax+b=c$) et ils sont un facteur d'engagement et de motivation en maintenant un niveau de défi suffisamment élevé à travers tout le jeu.

L'apprenant doit passer par les différents niveaux de difficulté. Il n'est pas autorisé à sauter un niveau. Il doit avoir achevé totalement la reconstruction d'une maison avant de pouvoir passer à la suivante. Son parcours est donc minutieusement balisé. C'est un des paradoxes des jeux pédagogiques, puisque, d'une part, on sait qu'il est important de guider l'apprenant à travers son apprentissage (Egenfeldt-Nielsen, 2005), mais, d'autre part, on sait que du point de vue de l'expérience du jeu, il est important que le joueur ait le sentiment d'avoir un contrôle sur le jeu pour maintenir sa motivation et son engagement (Malone & Lepper, 1987). Dans le cadre d'Equationtown, le joueur-apprenant dispose cependant d'une certaine liberté pour décider de l'ordre dans lequel il va remplacer les différents éléments endommagés d'une maison.

D'un point de vue pédagogique, le recours à différents niveaux de difficulté dans un jeu engage le joueur dans un processus d'assimilation et d'accommodation (Ke, 2008). A chaque niveau de jeu, de nouvelles compétences sont requises du joueur-apprenant, qu'il va exercer jusqu'à ce qu'il arrive à la fin du niveau. Le joueur va d'abord essayer de réutiliser ses compétences antérieures dans le nouveau niveau auquel il a accédé (assimilation) pour faire face aux nouveaux défis qu'il doit relever, mais si elles ne suffisent pas pour avancer dans le jeu et résoudre les problèmes, il va

devoir modifier son ancien modèle pour accommoder les nouvelles informations. Le passage des niveaux 1 à 2 ($x=b \rightarrow ax=b$), et surtout des niveaux 3 à 4 ($ax=b \rightarrow ax+b=c$) marquent une véritable rupture et devraient provoquer ce type de processus.

Table 3

Transposition en écriture algébrique de l'apprentissage visé pour chaque niveau de jeu

Niveau d'entraînement	Niveau 1	Niveau 2
		
1 crochet X	1 crochet X	2 à 3 crochets, 1 grue, symboles numériques
$\rightarrow x=c$	$\rightarrow x=c$	$\rightarrow ax=b$
Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5
		
4 à 5 crochets, 1 grue, symboles numériques (chiffres)	2 à 6 crochets, 2 grues, symboles numériques (chiffres)	2 à 5 crochets, 2 grues, symboles numériques (chiffres)
$\rightarrow ax=b$	$\rightarrow ax+b=c$	$\rightarrow ax+b=c$

Par ailleurs, en prévoyant différents niveaux, nous avons également cherché à obliger les apprenants à devoir recourir progressivement à des stratégies de calcul. Ainsi, si l'apprenant peut se débrouiller dans les tout premiers niveaux pour trouver la réponse correcte par une simple

estimation d'ordre visuelle, dès le niveau 3, le nombre de crochets et d'éléments à remplacer (par exemple: 4 crochets et 12 montants de barrière) est trop important pour se passer de raisonnements plus complexes et de calculs. Dès le niveau 2, des symboles numériques s'affichent sous chaque élément à cliquer ainsi que dans les espaces blancs et l'espace jaune (zone sélectionnée) à combler. De cette manière, la lecture des informations à l'écran est facilitée et les apprenants s'habituent progressivement à intégrer l'utilisation de symboles numériques dans la résolution de problèmes. Pour finir, la présence des nombres les prépare à l'écriture algébrique qu'ils découvriront dans les explications qui leur seront données hors du jeu à proprement parler.

Quant au niveau 5, il est une réplique du niveau 4. Le degré de difficulté est similaire. L'objectif visé est d'entraîner, dans le cadre des travaux de réfection d'une nouvelle maison, les notions précédemment vues afin de mieux les ancrer chez les apprenants et d'en assurer une meilleure compréhension et rétention. Il est admis qu'apprendre prend du temps (Breiteig & Grevholm, 2006) et demande un entraînement.

Enfin, pour passer d'un niveau à l'autre, le joueur doit avoir nettoyé la place publique de tous les débris qu'il a pu occasionner. Pour cela, il doit cliquer sur une pelleuse qui vient nettoyer la rue. La pelleuse a une fonction ludique mais elle contribue aussi à donner du sens aux décisions des joueurs en prévoyant des conséquences à leurs actions.

3.3.3 Aide et commentaires: un contremaître multifonctionnel

C'est à travers le personnage du contremaître accroché à la grue que transitent différentes



Figure 5. Directives durant la phase d'entraînement

informations, explications et commentaires portant sur le jeu et son déroulement. Au départ, dans la phase d'entraînement, le contremaître donne des directives sur la manière de procéder pour démarrer dans le jeu (Figure 5) et des explications sur le fonctionnement de certaines fonctionnalités (le déblayeur, par exemple). Durant le jeu, il fait des commentaires sur le déroulement du jeu (par exemple, en cas de baisse trop rapide du budget), adresse des félicitations chaque fois qu'une maison est entièrement réparée, et donne des indications, au début de chaque niveau, sur les éléments auxquels les apprenants doivent

accorder leur attention. En principe ces compléments d'informations portent sur un élément ajouté au jeu qui est lié avec le contenu d'apprentissage. Elles sont intégrées dans la fiction. Par exemple au début du niveau 4, le contremaître spécifie: "on demande à une autre entreprise de

t'aider. Avec une deuxième grue chargée, la reconstruction sera plus rapidement achevée", la deuxième grue faisant implicitement référence au b dans l'équation $ax+b=c$.

3.4. Les dimensions de l'intégration

Le jeu que nous avons développé a pour objectif d'appliquer autant que possible le principe d'une intégration optimale de l'apprentissage dans le jeu selon les trois approches présentées dans la partie théorique (section 2.4.):

- **Intégration des mécaniques:** l'apprentissage est intégré dans la mécanique du jeu. Dans Equationtown, lorsque l'apprenant clique sur un élément (valeur de l'inconnue), celui-ci vient s'insérer ou non dans l'espace prévu à cet effet (qui correspond au c dans l'équation $ax+b=c$). C'est donc un environnement qui fait "jouer" et travailler les équations comme dans une simulation; le feed-back est assuré par l'environnement ce qui garantit le flow et l'engagement de l'apprenant.
- **Intégration fictionnelle:** elle consiste à avoir la même fiction pour la mécanique du jeu et pour le domaine d'apprentissage. Dans Equationtown, les x sont des crochets fixés sur une première grue, le crochet de la deuxième grue est une lettre qui correspond au b de l'équation $ax+b=c$ (bien que nous ayons utilisé la lettre « a » pour le crochet de la deuxième grue pour une question de visibilité), et les éléments à disposition pour effectuer les travaux de reconstruction font référence à la valeur de l'inconnue.
- **Intégration des temporalités:** les systèmes de signes de l'apprentissage et de la mécanique du jeu fonctionnent au même moment. A chaque fois que le joueur, dans Equationtown, doit choisir un élément parmi tous ceux qui lui sont proposés pour avancer dans ses travaux, intervient la notion d'inconnue. A chaque réparation, il doit essayer de deviner la valeur que prend x dans le problème qui lui est soumis. Apprentissage et jeu se déroulent simultanément.

3.5. Facteurs de motivation et d'engagement

Les principaux facteurs contribuant à l'engagement du joueur dans Equationtown sont les suivants: un but clairement fixé (remplacer les parties manquantes des maisons par l'élément adéquat), un monde fictionnel (reconstruction d'une ville par le joueur/ouvrier suite à une tempête), une rétroaction immédiate (feed-back par l'environnement), la curiosité (approche originale des mathématiques), un équilibre entre défi et compétences (différents niveaux de difficulté, un budget). La forte intégration du jeu et de l'apprentissage devrait également contribuer à un plus fort engagement des joueurs-apprenants (Habgood, 2007).

Nous avons choisi d'inclure un budget dans la fiction du jeu pour augmenter l'engagement des joueurs. Il est fixé au départ du jeu à Frs 45'000. Chaque élément cliqué fait diminuer le budget de Frs 1100, quel que soit le matériau utilisé (vitres, tuiles, etc) et qu'il convienne à la réparation ou non. Le budget diminue donc inévitablement au cours du jeu mais l'objectif du joueur est de rester jusqu'à la fin du jeu dans les limites du budget dont il dispose. Le jeu compte au total 23 éléments, ce qui signifie que si le joueur ne commet aucune faute tout au long de son parcours, son budget final sera de Frs 19'700. Si son budget tombe à Frs 10'900, le contremaître lui fait savoir qu'il fait un peu trop de casse. S'il descend en dessous de la barre de Frs 100, un nouveau message d'alerte s'affiche, le prévenant qu'il va devoir s'endetter pour finir les travaux. Nous n'avons finalement pas retenu l'option de faire recommencer le jeu, comme annoncé dans la page d'accueil en cas de dépassement du budget, de crainte de trop modifier les conditions expérimentales d'un sujet à l'autre et également pour ne pas décourager les joueurs les plus faibles. Le budget est en fin de compte un facteur motivationnel destiné avant tout aux joueurs les plus à l'aise avec le jeu qui ne sont pas complètement absorbés par les tâches à accomplir. L'idée était d'augmenter à leur intention le niveau de défi afin qu'ils restent motivés durant le jeu si celui-ci leur paraissait trop facile.

3.6. Vidéos explicatives

Nous avons adopté une démarche "bottom up" pour initier les apprenants aux équations linéaires en commençant d'abord, au sein d'un jeu, par la manipulation d'éléments puis en introduisant progressivement des symboles numériques.

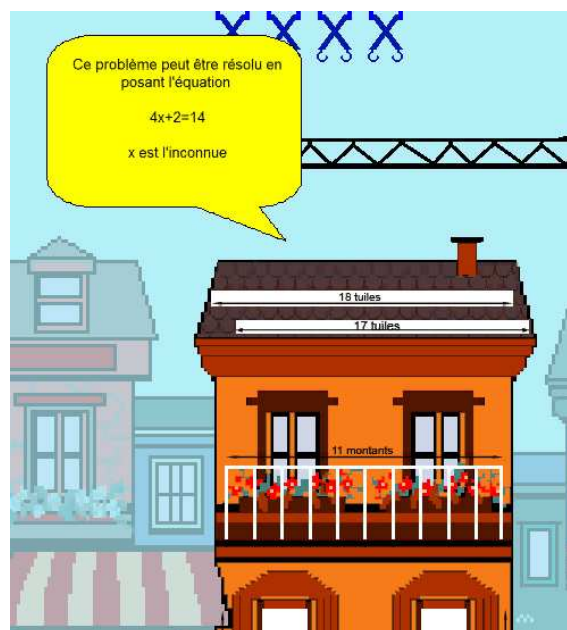


Figure 6. Vidéo explicative sur les équations

Pour aborder la formalisation des problèmes sous forme d'équations, nous avons choisi de créer cinq vidéos explicatives. Elles reprennent chacune une réparation effectuée par le joueur (par exemple: remplacement de 14 tuiles au moyen de 4 crochets et de deux grues) et expliquent, à travers une explication audio et textuelle, comment le problème qui a été résolu par l'apprenant en manipulant des éléments peut s'écrire sous une forme algébrique (Figure 6). Les cinq vidéos se rapportent respectivement aux niveaux de difficulté 2 à 5, le dernier niveau faisant l'objet de deux explications vidéo.

Ces explications permettent de faire le passage du concret (manipulation des objets) à l'abstrait (formulation symbolique), de décontextualiser l'apprentissage, et de faire pleinement prendre conscience aux apprenants ce qu'ils sont en train d'apprendre. Elles sont une aide à la réflexion et devraient contribuer à un meilleur transfert des connaissances acquises par le jeu.

La question qui se pose est de savoir quel est le moment le plus approprié pour l'apprenant pour les regarder : en cours de jeu, directement après que l'apprenant ait résolu le problème ou tout à la fin du jeu pour préserver l'immersion du joueur ? Nous avons conçu deux versions de jeu, l'une que l'on peut qualifier d'immersive, où les vidéos explicatives viennent à la fin du jeu à proprement parler, l'autre moins immersive car entrecoupée de vidéos explicatives suivant directement le problème auquel l'apprenant vient d'être confronté. Nous reviendrons en détail dans le chapitre suivant sur ces vidéos et sur les deux conditions expérimentales que nous avons testées.

3. 7. Tests préliminaires

Nous avons conçu ce jeu en partie selon un processus itératif. En effet, au cours de sa conception, nous l'avons testé deux fois auprès d'une élève de sixième primaire. Ces tests préliminaires nous ont permis de faire diverses corrections et adaptations. Il a, par exemple, paru nécessaire d'avoir des directives claires en début de jeu sur le fonctionnement du jeu. Ceci a été à l'origine de la création du personnage du contremaître. Des problèmes de visibilité des zones sélectionnées ont été aussi évoqués, blanches à l'origine, que nous avons résolus en modifiant la couleur de la zone cliquée.

Avant d'entreprendre la phase expérimentale de cette recherche, nous avons testé tout le matériel auprès d'une autre élève de sixième primaire qui n'avait pas encore eu connaissance du jeu. Il est apparu notamment que le nombre de vidéos était trop important (sept au départ) entraînant une certaine lassitude de la part du sujet, et que le budget n'apparaissait pas de manière assez visible à l'écran. Ce test préliminaire nous a permis aussi d'évaluer la compréhension des questions aux pré-tests et post-tests, et le degré de difficulté des questions mathématiques, ainsi que d'avoir une idée du temps requis pour répondre aux tests mathématiques.

4. Questions de recherche

Le jeu pédagogique en mathématique que nous avons conçu se veut fortement intégré du point de vue de la mécanique de jeu, de la fiction et de la temporalité. L'objectif était de créer un jeu pédagogique sans sacrifier la jouabilité ou la qualité pédagogique. Une forte intégration entre le jeu et l'apprentissage devait rendre ce jeu plus engageant, motivant, et contribuer à l'immersion des joueurs, tout en visant à assurer un apprentissage de qualité.

Pourtant, nous l'avons déjà évoqué, différents auteurs s'interrogent sur la conciliation possible d'un jeu fortement intégré et immersif avec l'apprentissage. Des études empiriques établissant un lien entre un engagement fort dans le jeu et de meilleurs résultats en termes de gain d'apprentissage font encore largement défaut. Un intense état de flow ne risque-t-il pas d'empêcher la réflexion requise pour la métacognition et l'acquisition d'un savoir déclaratif? Habgood et al. (2005) se demandent par exemple, si, dans le cadre de jeux intrinsèques, leur véritable potentiel ne réside pas dans l'acquisition de connaissances procédurales plutôt que dans celle d'un savoir initial, en raison de la difficulté à instaurer cette mise à distance nécessaire pour la réflexion. Pour Bransford et al. (2000), il ne fait pas de doute que les joueurs doivent avoir clairement conscience du contenu d'apprentissage pour que s'effectue l'acquisition de nouvelles connaissances et tout particulièrement leur transfert.

Pour éviter que l'apprentissage soit moins efficace dans un jeu fortement intégré, différentes solutions ont été proposées. D'aucuns prônent, si le jeu est utilisé dans un cadre scolaire, de faire intervenir l'enseignant à des moments-clés du jeu pour mettre en avant les aspects pédagogiques que le joueur est en train d'explorer sans en avoir forcément pleinement conscience (Egenfeldt-Nielsen, 2005). Pour Clark & Mayer (2008), il est essentiel d'encourager la réflexion dans un jeu qui se doit cependant d'être fortement intégré, en demandant, par exemple, aux apprenants d'expliquer leurs bonnes réponses. Une telle démarche devrait aider à l'abstraction des notions apprises pour in fine en assurer un meilleur transfert. Il s'ensuivrait une diminution du degré d'immersion des joueurs dans le jeu qui se révélerait bénéfique pour l'apprentissage.

Pour d'autres chercheurs, le jeu pédagogique se doit de rester avant tout un jeu, et un fort engagement n'est pas inconciliable avec un apprentissage de qualité. Un jeu fortement intrinsèque peut même conduire à de meilleurs résultats en termes d'apprentissage qu'un jeu extrinsèque (Habgood, 2009). L'explication avancée à ce sujet est qu'un jeu fortement intégré crée un niveau d'engagement plus élevé et une connexion plus grande avec le contenu d'apprentissage. Ce qui ne signifie pas pour autant que l'on aboutisse dans un jeu intrinsèque à un apprentissage plus en

profondeur (*deep learning*) mesuré à travers des questions d'ordre conceptuel, que dans un jeu extrinsèque. Pour les tenants de cette approche, le risque que l'on encourt en demandant aux apprenants de sortir du monde du jeu pour répondre à des questions liées au contenu d'apprentissage, comme c'est le cas dans maints jeux pédagogiques, est de briser l'expérience du jeu en interrompant le flow. L'engagement des joueurs et par conséquent leur motivation en subissent inévitablement le contrecoup.

4.1 Hypothèses générales

Pour que les apprenants prennent conscience de ce qu'ils sont en train d'apprendre ou de ce qu'ils ont appris, et pour leur permettre de passer du concret (remplacement d'éléments détériorés dans le jeu) à des notions abstraites (équations linéaires), une solution consiste à prévoir des explications portant sur l'écriture algébrique, similaires à celles que les élèves recevraient en classe, qui les aideraient à faire ce transfert. Mais à quel moment est-il le plus judicieux d'intervenir? Deux alternatives s'offrent à nous: donner les explications une fois le jeu terminé ou les insérer dans le jeu.

Dans le premier cas, en plaçant les explications à la fin du jeu, l'immersion des joueurs dans le jeu est préservée. De cette manière nous maintenons, tout au long du jeu, la motivation des joueurs et leur engagement dans un jeu intégré, sans interrompre le flow de l'activité. L'attention n'est pas détournée vers une autre activité, non productrice de flow. L'hypothèse que nous formulons est qu'un fort degré d'immersion est compatible avec l'apprentissage. Le passage du concret à l'abstrait est soutenu par l'ajout d'explications qui viennent à la suite du jeu, qu'il s'agisse de vidéos explicatives ou, en contexte scolaire, d'un debriefing organisé par l'enseignant. Par ailleurs, nous postulons qu'un jeu qui maintient en continu un état de flow aura pour conséquence une plus grande concentration des joueurs-apprenants, une plus grande connexion avec le jeu et son contenu d'apprentissage, et l'envie, pour ces derniers, de passer plus de temps sur le jeu que sur un simple exercice de math ou sur une version de jeu moins immersive. Ces différents effets cumulés pourraient se traduire par de meilleurs résultats au post-test que dans une version de jeu moins immersive.

Dans le deuxième cas, les explications surgissent en cours de jeu. A différents moments du jeu, suite à la manipulation d'éléments que le joueur vient d'effectuer, une explication lui est proposée sur la formulation en termes algébriques du problème qu'il vient de résoudre. L'explication se substitue à l'enseignant qui pointe les apprentissages que les élèves sont en train de réaliser au moment où ils se produisent. Dans cette hypothèse alternative, nous postulons qu'une intervention en cours de jeu pourrait permettre à l'apprenant de prendre conscience de ce qu'il est en train d'apprendre et de faire un lien direct avec le problème qu'il vient de résoudre, et ceci en adéquation avec le niveau de difficulté dans lequel il se trouve. Les explications ne sont pas

déconnectées des actions qui viennent de s'accomplir. Il en résulte une plus faible immersion et une rupture dans le rythme du jeu, mais qui se fait au profit d'une prise de conscience plus aiguë du contenu d'apprentissage au moment même où celui-ci est abordé. Cette approche pourrait promouvoir une réflexion en cours de jeu, qui aurait plus de peine à émerger dans un contexte plus immersif. Elle contribuerait au développement de stratégies de calcul qui pourraient être utiles à l'apprenant pour la résolution des problèmes qui lui restent à traiter, faciliter le transfert des connaissances en mettant immédiatement en évidence les éléments communs entre le jeu et l'explication, et avoir des répercussions favorables sur les résultats au post-test.

5. Méthode

Le but de l'expérience est de mesurer l'effet du degré d'immersion du jeu sur la motivation et l'engagement des joueurs-apprenants ainsi que sur l'apprentissage visé par le jeu.

5.1. Participants

Les participants sont des élèves de sixième primaire, âgés pour la plupart de 11 à 12 ans⁵. Ils fréquentent des établissements scolaires publics du canton de Genève. La majorité des sujets (73%) habitent les quartiers des Grottes, Cropettes et Trembley, situés sur la rive droite de la ville de Genève. Ce sont des zones où règne une certaine mixité sociale. Le reste des participants proviennent d'écoles en zone périphérique du canton (Veyrier, Collex et Troinex), ancrées dans des quartiers plus homogènes et privilégiés d'un point de vue social. Sur les 30 élèves ayant participé à l'expérience, 14 étaient des garçons et 16 des filles.

Quelques temps après la fin de l'expérience, nous avons appris qu'un des garçons était dyslexique et souffrait de dyscalculie. Ne connaissant pas l'impact que peut avoir ce type de troubles sur l'acquisition de connaissances en mathématique, nous avons préféré l'éliminer de notre échantillon. Les analyses effectuées dans le cadre de ce mémoire portent finalement sur un échantillon composé de 29 enfants.

La plupart des élèves me connaissaient à travers ma fille⁶ ou étaient des enfants d'amis. D'autres participants (5) ont été recrutés par un des sujets dont je connaissais la mère. Il s'agit donc d'un échantillon d'opportunité. La participation de tous les enfants a été volontaire. Ils avaient été avertis que l'expérience, d'une durée totale d'environ 45 minutes, portait sur un jeu en mathématiques, sans recevoir de précision sur le thème, qui serait suivi et précédé d'un questionnaire.

5.2. Matériel

Equationtown est un jeu pédagogique sur les équations linéaires simples, développé dans le cadre de ce travail de mémoire. Sa conception est décrite en détail dans le chapitre 3. Le jeu original ainsi que les deux versions développées pour l'expérience peuvent être téléchargées sur le web (<http://tecfa.unige.ch/perso/mal/t/sutterw5/Equationtown/>). Rappelons qu'il s'agit d'un jeu dans lequel les joueurs doivent remettre en état des maisons qui ont été en partie détruites par une tempête. Ils avancent dans le jeu en sélectionnant le nombre d'éléments qui convient pour chaque réparation. Pour effectuer le bon choix, les joueurs doivent tenir compte d'un certain nombre de paramètres issus de la fiction, qui correspondent aux différents éléments d'une équation. Les

⁵ Une élève qui avait sauté une année, était âgée de 10 ans et demi, tandis qu'une autre, ayant doublé sa 5^{ème} année, avait déjà 12 ans et demi.

⁶ Tous les élèves de la classe de ma fille ont participé à l'expérience à part ma fille et une élève non francophone arrivée récemment dans sa classe.

travaux s'étalent sur cinq maisons, et pour chaque maison entre trois à six réparations doivent être entreprises. Les joueurs disposent d'un budget de Frs 45'000 pour mener à bien l'ensemble des travaux qui sont facturés au coût des éléments utilisés.

Ce jeu permet d'appréhender les équations linéaires simples par la manipulation d'éléments. Pour permettre aux étudiants de prendre conscience du contenu d'apprentissage sous sa forme symbolique et abstraite, des vidéos explicatives ont été créées. Elles sont au nombre de cinq et donnent des explications textuelles et audio sous forme d'animations. Chacune se rapporte à l'un des travaux de réparation que le joueur est amené à réaliser au cours du jeu dans l'un ou l'autre niveau de jeu.

Une animation présente d'abord les différentes données du problème en attirant l'attention de l'apprenant sur les crochets et le nombre de grues en présence, montre comment fonctionne le système du jeu une fois un élément cliqué, puis explique à l'apprenant comment le problème présenté peut s'écrire sous forme d'une équation linéaire simple (Table 4). Enfin, la solution de l'équation est donnée en fin de séquence vidéo. La durée totale de diffusion pour l'ensemble des vidéos est de 4 minutes et 8 secondes tandis que le jeu dure entre 10 et 16 minutes.

Table 4

Informations sur les vidéos explicatives

	Vidéo n°1	Vidéo n°2	Vidéo n°3	Vidéo n°4	Vidéo n°5
Éléments à remplacer	8 lamelles de volets avec 2 crochets	12 montants de barrière avec 4 crochets	15 tuiles avec 3 crochets et une 2ème grue déjà chargée de 3 tuiles	14 tuiles avec 4 crochets et une 2ème grue déjà chargée de 2 tuiles	11 barreaux avec 3 crochets et une 2ème grue déjà chargée de 2 barreaux
Niveau de jeu	2	3	4	5	5
Sous forme d'équation	$2x=8$	$4x=12$	$3x+3=15$	$4x+2=14$	$3x+2 = 11$

Nous avons testé deux conditions expérimentales. Le jeu à proprement parler ainsi que le contenu des vidéos était identique dans les deux conditions mais dans l'une les vidéos explicatives étaient regroupées en fin de jeu tandis que dans l'autre condition, les vidéos étaient diffusées séparément en cours de jeu.

Dans la première condition, dès que le joueur arrivait à la fin du jeu, un bouton Explications s'affichait à l'écran. Une fois que le joueur avait cliqué sur le bouton, les cinq vidéos étaient diffusées à la suite, sans transition et sans qu'aucune interruption ne se produise entre les vidéos. A la fin de la diffusion, un bouton Fin apparaissait sur l'écran de jeu.

Dans la deuxième condition, les vidéos apparaissaient immédiatement après le problème auquel elles se référaient directement. Cela signifie que pour un niveau donné de jeu, leur ordre d'apparition dépendait de l'ordre dans lequel le joueur avait effectué ses réparations. Si, par exemple, un joueur situé dans la deuxième condition, avait commencé ses travaux de réparation en sélectionnant la zone des 15 tuiles manquantes du niveau 4, il avait une explication d'entrée de jeu pour ce niveau de jeu. Au contraire, s'il finissait ses réparations du niveau 4 par cette rangée de tuiles, ce n'est qu'après avoir effectué les cinq travaux précédents qu'il bénéficiait d'une vidéo explicative. Par ailleurs, dans le niveau 5 qui contenait deux vidéos explicatives, selon l'ordre de réparation qu'il avait choisi, le joueur était amené à visionner de manière très rapprochée, ou au contraire distante, les deux animations.

Toutes les parties de jeu de même que les voix des joueurs-apprenants ont été enregistrées avec Camstudio.

5.2.1 Tests, questionnaires et grille d'observation

Juste avant et après le jeu, les apprenants ont passé un test portant sur le contenu d'apprentissage (cf. Annexes 3 et 7). Chaque test contenait dix équations linéaires simples à résoudre par tâtonnement. Cinq questions se rapportaient à des expressions algébriques de type $ax=b$ et cinq autres à des expressions de type $ax+b=c$. Les apprenants devaient indiquer pour chaque équation la valeur de x . Les deux types de questions étaient mélangés dans le pré-test et le post-test, selon une logique similaire, afin d'éviter que les tests ne servent de support à l'apprentissage. Les questions ne suivaient pas un ordre de difficulté croissant.

En introduction aux pré-test et post-test sur les équations linéaires, un test en arithmétique comprenant cinq questions de calculs relativement complexes a été proposé aux apprenants afin d'évaluer leur aisance en mathématique. Les questions faisaient partie du champ d'apprentissage de la sixième primaire (cf. Annexe 2 et 6) mais il n'en demeure pas moins que certaines d'entre elles demandaient de bonnes compétences en calcul mental. Les élèves devaient compléter des calculs dont le résultat était déjà donné (par exemple: $15 + \dots = 94$). En complément à ce test, nous avons demandé aux apprenants, à travers un questionnaire auto-administré à remplir avant de commencer le jeu, s'ils aimaient les mathématiques et si c'était une branche difficile pour eux (cf. Annexe 1).

Deux questions posées avant le début du jeu portaient sur la fréquence d'utilisation des jeux électroniques ainsi que des jeux pédagogiques (cf. Annexe 1). Selon Boyle (2009) qui a fait une revue de la littérature sur l'efficacité des jeux pédagogiques, les personnes qui ont une expérience préalable des jeux électroniques obtiennent de meilleurs résultats dans les jeux pédagogiques.

Pour étudier la motivation des joueurs-apprenants, différentes questions ont été élaborées à leur intention. En amont de l'expérience du jeu (cf. Annexe 1), nous avons posé trois questions en

relation avec leur perception de la valeur de l'activité et leur perception de leur compétence à l'accomplir en référence au modèle dynamique de Viau (1998): nous avons demandé aux apprenants, si pour eux le jeu constituait un bon moyen pour apprendre les mathématiques, si ce jeu représentait un défi pour eux et s'ils se sentaient en général doué pour ce type de jeu pédagogique.

À l'issue du jeu, les apprenants ont répondu à sept questions destinées à mesurer leur perception du niveau de défi du jeu (cf. Annexe 5). Le concept de niveau optimal de défi, qui fait notamment référence à la théorie du flow de Csikszentmihalyi (1990) et à la taxonomie des motivations intrinsèques à l'apprentissage de Malone et Lepper (1987), renvoie à l'adéquation entre les aptitudes des apprenants et le niveau de difficulté de l'activité. Nous nous sommes inspirée pour nos questions de l'échelle de mesure du plaisir dans des jeux pédagogiques de Fu et al. (2009) ainsi que de l'échelle de mesure du flow de Novak et Hoffman (1997). Cette dernière met en évidence les sentiments éprouvés en cas d'équilibre ou de déséquilibre entre le niveau de défi et les aptitudes comme les sentiments de joie, d'accomplissement, de compétence (flow) ou d'ennui, d'inquiétude, de calme, d'anxiété, d'apathie (déséquilibre). Le questionnaire auto-administré rempli à la suite du jeu comportait aussi une question sur l'envie de reprendre le jeu à une autre occasion, le désir de continuer de jouer étant considéré comme un autre indicateur important de la motivation (Habgood, 2009; Boyle, 2009).

Une forte immersion dans le jeu se traduit notamment par une perte de la conscience de soi et une perception altérée du temps ; le jeu capture alors complètement l'attention du joueur. Ces éléments peuvent être mesurés par différents critères (Sweetser & Wyeth, 2005; Fu et al., 2009). Quatre questions posées après le jeu s'inspiraient de ces critères (cf. Annexe 5). Elles se référaient à l'oubli du lieu dans lequel se trouvait le joueur, au sentiment d'être pleinement plongé dans le jeu et de ne pas avoir vu le temps passer, ainsi qu'à l'absence de dissipation. Une question supplémentaire, susceptible d'expliquer la plus faible immersion de certains joueurs, portait sur le sentiment que le jeu contenait trop de vidéos explicatives.

Pour la grande majorité des questions posées en auto-administré, les échelles de réponses étaient élaborées en quatre points (1 signifiant « pas du tout d'accord » et 4 « tout à fait d'accord »). Les échelles de réponse des questions portant sur la fréquence d'utilisation des jeux vidéo ou pédagogiques étaient conçues en 6 points (de 6 = tous les jours à 1 = jamais).

Nous avons également établi une grille d'observation (cf. Annexe 4) qui nous a permis de relever un certain nombre d'éléments durant le jeu notamment par rapport aux postures, attitudes et réactions des joueurs-apprenants. Nous n'avons finalement pas exploité ces données en raison de difficultés liées à l'interprétation de ces dimensions.

5.3. Procédure

Lors du premier contact avec l'enfant, une lettre destinée aux parents (cf. Annexe 8) lui était remise pour expliquer la démarche entreprise. Ce contact était suivi d'un échange téléphonique avec les parents pour fixer, ou confirmer, la date et l'heure du rendez-vous ainsi que le lieu de passation de l'expérience.

Les passations ont eu lieu pour la plupart au domicile de l'auteur, sur un ordinateur portable sauf pour six expérimentations qui ont eu lieu à l'extérieur, au domicile d'un parent qui a accueilli des camarades de son enfant, ainsi qu'une autre expérimentation qui s'est déroulée au domicile d'un enfant. Elles se déroulaient dans une pièce silencieuse et fermée (cuisine ou chambre d'enfant), à l'abri de toute distraction. Elles se sont étendues sur une période de trois semaines environ, en fin d'après-midi, à la sortie de l'école, ou pendant les jours de congé scolaires.

Des explications étaient données au début de l'expérience à chaque participant sur le déroulement de l'expérience et le contexte dans lequel celle-ci s'inscrivait (cf. Annexe 9). Chaque sujet recevait également pour consigne de ne pas dévoiler à ses camarades le contenu des questions et du jeu.

L'expérience peut être décomposée en différentes étapes bien distinctes:

1. une phase au cours de laquelle les sujets ont passé un pré-test pour déterminer leurs usages en matière de jeux électroniques et pédagogiques, leur degré de facilité en mathématique, leur motivation à découvrir le jeu ainsi que leur éventuelle connaissance préalable du contenu de l'apprentissage. Le pré-test était constitué de deux parties distinctes: un questionnaire à remplir par les apprenants eux-mêmes (cf. Annexe 1) suivi d'un test en mathématiques composé de questions en arithmétique (cf. Annexe 2) et de questions en algèbre (cf. Annexe 3). Le temps était limité pour les tests en mathématique (1 min.15 pour la première partie, 2 min. 30 pour la deuxième partie).
2. une phase d'entraînement au jeu proposé à tous les élèves pour qu'ils comprennent la logique et le fonctionnement du jeu.
3. une phase de jeu destinée à leur apprendre à résoudre, par la manipulation d'éléments, des problèmes pouvant être formulés algébriquement
4. une phase d'explications permettant le passage du concret à l'abstrait, sous forme d'animations, apparaissant en cours ou en fin de jeu
5. une phase de test post-apprentissage comprenant un questionnaire permettant de mesurer l'état d'engagement des élèves durant le jeu et leur degré d'immersion (cf. Annexe 5) ainsi que deux tests en mathématiques construits sur le même principe que pour le pré-test : l'un portant sur des calculs en arithmétique (cf. Annexe 6), l'autre centré sur l'apprentissage ciblé (cf. Annexe 7).

5.4. Analyse des données

La performance au test sur les équations linéaires, effectué à la suite du jeu, constitue la mesure principale d'évaluation de l'apprentissage réalisé à travers le jeu et les vidéos explicatives. Nous avons également retenu le gain d'apprentissage entre le pré-test et le post-test comme mesure de l'évolution des connaissances des apprenants durant le temps de l'expérience. Le pré-test a été prévu, par ailleurs, pour s'assurer que les apprenants n'avaient encore jamais abordé l'écriture algébrique avant le début du jeu ou qu'ils ne parvenaient pas intuitivement à résoudre par tâtonnement les expressions algébriques. Comme variable modératrice de la performance au post-test, nous avons retenu d'abord l'aisance en mathématiques que nous avons évaluée, comme nous l'avons déjà mentionné, selon deux axes: à travers un test en arithmétique et par des questions d'auto-évaluation. Nous avons considéré comme autres variables modératrices la fréquence d'utilisation des jeux électroniques et des jeux pédagogiques sur ordinateur.

Nous avons retenu sept indicateurs destinés à mesurer un éventuel déséquilibre ou au contraire équilibre entre le niveau de défi et les aptitudes durant le jeu. Les apprenants devaient se prononcer sur leur perception du niveau de difficulté du jeu en début et en fin de partie, sur leur degré d'activité et leur état mental durant le jeu (niveaux d'ennui, de calme et d'énervement) ainsi que sur leur sentiment d'aisance (avaient-ils l'impression de s'être bien débrouillés?). Nous avons évalué l'homogénéité des items de cette échelle en calculant l'alpha de Cronbach. Au niveau global l'alpha de Cronbach était très faible ce qui démontre que les items ne faisaient pas référence à une unique dimension. Dès lors, nous n'avons pas pu les additionner dans une seule et unique échelle.

Table 5

Analyse factorielle en composantes principales sur le niveau de défi

	Composantes		
	Stress	Facilité	Inactivité
Degré d'inactivité	-.032	.047	.914
Difficulté en début de jeu	.698	.030	-.309
Difficulté en fin de jeu	-.357	-.591	-.259
Niveau d'ennui	-.104	.791	-.293
Niveau d'énervement	.816	.150	.218
Niveau d'aisance	-.109	.772	.166
Degré de calme	-.686	.212	.001

Ce constat a été confirmé par une analyse factorielle en composantes principales de laquelle se dégagent trois axes (Table 5): un premier axe que nous avons nommé «stress» rassemblant les items *difficulté en début de jeu*, *niveau d'énervement* et *degré de calme* (corrélé négativement), un

second axe qualifié de «facilité» comprenant les items *difficulté en fin de jeu* (corrélé négativement), *niveau d'ennui* et *niveau d'aisance*, et un troisième axe intitulé «inactivité» qui se réfère au sentiment d'une absence d'activité et de manipulations à effectuer durant le jeu. Relevons que pour les items *niveau énervement*, *degré de calme* et *niveau d'ennui*, les réponses des apprenants se concentrent uniquement sur une moitié de l'échelle des réponses (« pas du tout d'accord » et « plutôt pas d'accord » pour l'énervement et l'ennui; « tout à fait d'accord » et « plutôt d'accord » pour le sentiment d'être calme). Nous utiliserons les scores factoriels relatifs à ces trois axes pour estimer l'effet du niveau de défi perçu sur la performance.

Nous avons aussi mesuré l'alpha de Cronbach pour les trois items se référant à la perception de la valeur d'une activité et la perception de sa compétence à l'accomplir. Le faible alpha (.16) interdit là aussi d'inclure les trois items dans une seule échelle. Nous les traiterons donc chacun de manière indépendante. Même constatation pour les quatre items destinés à mesurer le degré d'immersion des joueurs, traduit par la perte de la conscience de soi et la perception altérée du temps: l'alpha de Cronbach est ici également très faible. Ce qui signifie que les quatre items n'ont pas pu non plus être inclus dans une seule et unique échelle. Nous les avons donc analysés séparément.

5.5. Hypothèses opérationnelles

En référence à la littérature sur la question, nous faisons une hypothèse principale, portant sur la condition d'immersion, et quatre hypothèses secondaires, portant sur le niveau de l'immersion pour la motivation, sur l'effet de la motivation et de l'aisance en mathématiques sur l'apprentissage ainsi que sur l'évaluation par les apprenants de leur degré d'immersion.

Hypothèse principale

Les sujets apprennent mieux dans la condition d'immersion la plus forte, leur performance dans les post-tests est supérieure et leur gain d'apprentissage plus important par rapport à ceux qui se trouvent dans la condition d'immersion la plus faible.

alternativement

La condition d'immersion la plus faible est propice à la réflexion et engendre de ce fait de meilleurs résultats aux post-tests et un gain d'apprentissage plus important.

Hypothèses secondaires

- Les apprenants se sentent plus motivés par le jeu dans la condition d'immersion forte
- Une plus grande motivation entraîne un meilleur apprentissage
- L'état d'immersion tel qu'il est rapporté par les apprenants est plus prononcé dans la version de jeu dite immersive que dans l'autre version
- Les élèves ayant le plus de facilité en mathématiques obtiennent de meilleurs résultats au post-test (variables médiatrices)

6. Résultats

6.1. Performance au post-test

Quelques remarques préliminaires s'imposent sur la distribution des données avant de présenter les résultats sur la performance au post-test. On remarque que la distribution n'est pas normale (Figure 7). Elle est en forme de J et est bimodale.

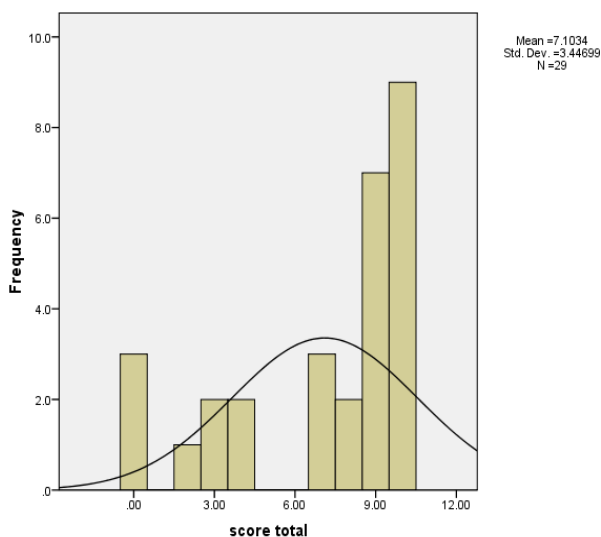


Figure 7. Distribution des sujets selon le score total au post-test

Deux groupes bien distincts se dégagent: nous avons, d'une part, les apprenants qui ont obtenu entre 0 et 4 points comme score total, et, d'autre part, ceux dont la performance se situe entre 7 et 10 points, 10 correspondant au maximum de points que l'apprenant pouvait obtenir.

Notre hypothèse principale est que la version du jeu (immersif *versus* non immersif) a un effet sur le score total au post-test. La performance au post-test a été mesurée sur la base des réponses données au test sur les équations linéaires simples. On constate que la condition expérimentale a un effet significatif ($F(1,27) = 5.09, p < .05$) sur le score au post-test. Les apprenants qui se situent dans la version de jeu immersive (condition 1) ont obtenu des scores supérieurs aux autres apprenants (Figure 8). Les différences entre les deux groupes sont importantes du point de vue des moyennes (2.7 points d'écart sur une échelle de 0 à 10 points), des médianes (2,5 points d'écart) et des écarts-types (Table 6). Le d de Cohen confirme l'importance de l'effet ($d = .85$). Il nous indique que plus de 50% des apprenants des deux groupes ont des scores qui ne se recourent pas.

Dans la version immersive, la distribution est très centrée autour de la médiane alors que dans la version moins immersive, l'indice de kurtosis est beaucoup plus faible indiquant une distribution plus plate, plus étendue. Il y a donc une plus grande variabilité dans les résultats de la condition 2

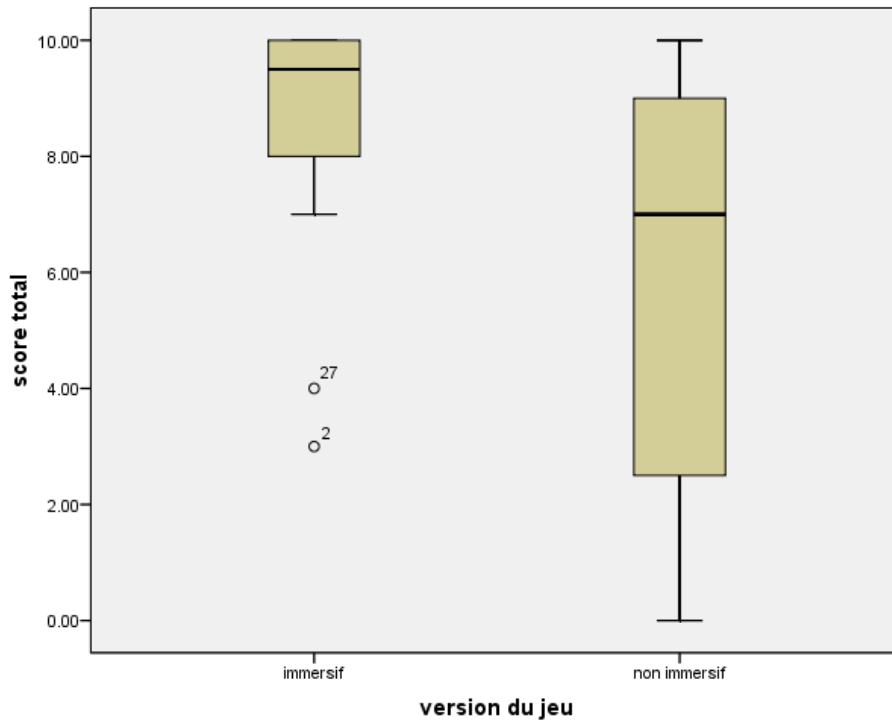


Figure 8. Score total au post-test selon la version du jeu

que dans ceux de la condition 1.

Table 6

Résultats au post-test selon la version du jeu.

	Version du jeu	
	immersive	non immersive
Moyenne	8.50	5.80
Médiane	9.50	7.00
Variance	5.35	15.03
Ecart-types	2.31	3.88
Kurtosis	2.01	-1.46
Skewness	-1.72	-.53

Les deux distributions sont asymétriques mais la première distribution, qui se rapporte à la version de jeu immersive, l'est cependant plus ($S = -1.72$) que la deuxième ($S = .53$). On notera que la variabilité est, dans les deux cas, plus marquée en dessous de la moyenne qu'en dessus.

Compte-tenu de la forme non normale de la distribution, nous avons complété l'analyse de variance par une analyse non paramétrique (Mann-Whitney, $U = 53.50$ et Wilcoxon, $W = 173.50$ ($z = -2.3$, $p < .05$)) qui confirment un effet significatif de la version du jeu sur le score total au post-

test.

6.2. Gain d'apprentissage

Nous avons également postulé que le gain d'apprentissage entre le pré-test et le post-test serait plus important dans la condition immersive. Pour chaque apprenant, nous avons calculé le gain d'apprentissage en soustrayant du score total au post-test le score total au pré-test. La différence entre les deux groupes d'apprenants quant au gain d'apprentissage est significative ($F(1,27) = 6.51, p < .05$). La figure 9 met en évidence des différences importantes entre les deux conditions d'immersion: les médianes se situent dans la version immersive à 9 points contre 4 pour la version non immersive; pour les moyennes on obtient respectivement 7.8 et 4.5 points selon la version considérée. Les différences entre les deux versions de jeu sont donc encore plus marquées pour le gain d'apprentissage que pour la performance au post-test.

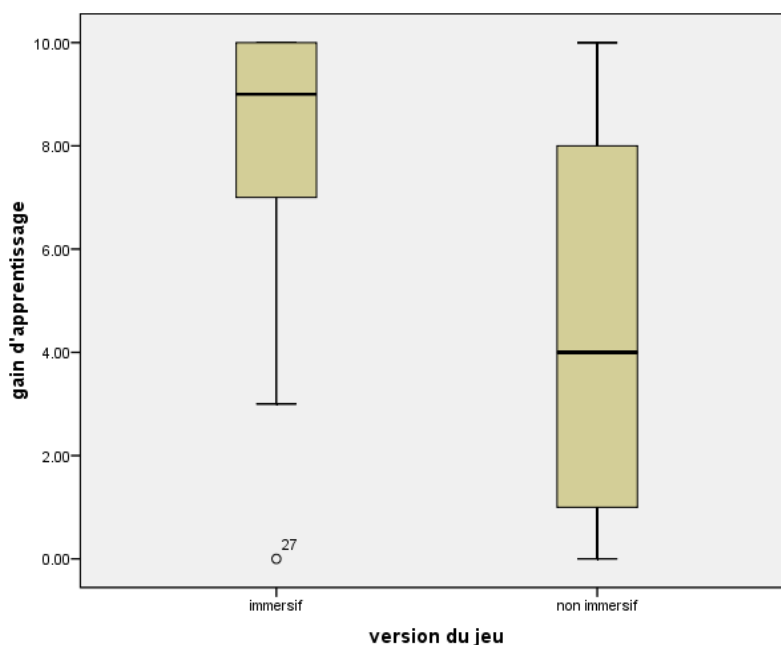


Figure 9. Gain d'apprentissage selon la version du jeu

Nous avons vérifié par une analyse du pré-test que les apprenants ont bien été distribués aléatoirement dans les deux conditions : c'est effectivement le cas, leur niveau au pré-test n'est pas associé avec la condition expérimentale ($F(1,27) = .41$ et $p = .53$). On peut relever que, conformément à notre attente, la grande majorité des élèves (23 sur 29) n'ont pas réussi à répondre aux questions du pré-test portant sur les équations linéaires simples, cinq élèves ont réussi à résoudre de 2 à 5 expressions algébriques de type $ax=b$ et seule une élève a su répondre correctement à la totalité des questions du pré-test.

6.3. Facilité en mathématiques

Rappelons que la facilité en mathématiques a été mesurée à travers un pré-test en calculs arithmétiques et deux questions portant respectivement sur l'appréciation des mathématiques par les apprenants et l'auto-évaluation de leur niveau difficulté dans cette branche. Les élèves ayant le plus d'aisance en mathématiques n'ont pas obtenu des résultats significativement meilleurs au post-test que les autres élèves. Une série de régressions considérant chaque variable indépendante séparément, en contrôlant pour la version du jeu, montre que les variables sur l'appréciation des mathématiques et sur l'auto-évaluation de ses compétences en mathématiques, ainsi que le score en arithmétique au pré-test n'ont pas eu d'influence sur le score final, alors que la version du jeu conserve toujours sa significativité ($p < .05$). Nous avons obtenu, par cette série de régressions, respectivement les valeurs suivantes: pour le score en arithmétique, $t = .76$ ($p = .45$), pour l'appréciation des mathématiques, $t = -.88$ ($p = .39$) tandis que pour la facilité en mathématiques, $t = 1.3$ ($p = .19$). Des analyses de corrélations et covariances ont confirmé ces résultats (Table 7).

Table 7

Facilité en mathématiques et performance au post-test

		Score en arithmétiques	Appréciation des mathématiques	Facilité en mathématiques
Score	Corrélation de Pearson	.15	.00	.17
	Sig. (2-tailed)	.45	.99	.37
	Covariance	.62	.00	.45

N= 29

Le niveau de difficulté en mathématiques, tel qu'il a été évalué par les apprenants, a eu, par contre, un effet significatif sur le nombre d'erreurs enregistrés durant le jeu ($F(3,25) = 4.1$ et $p < .05$).

Par ailleurs, des régressions effectuées séparément sur les variables relatives à la fréquence d'utilisation par les apprenants des jeux vidéo ($t = -.43$, $p = .67$) et des jeux pédagogiques ($t = 1.5$, $p = .14$) n'ont pas mis en évidence d'effet sur la performance au post-test. Les corrélations entre ces deux variables et le score au post-test sont également non significatives (respectivement $r = -.01$, $p = .96$ et $r = -.25$, $p = .19$).

6.4. Motivation

Nous avons fait deux hypothèses à propos de la motivation: d'une part, les apprenants devraient se sentir plus motivés par le jeu dans la condition d'immersion forte et, d'autre part, une plus grande motivation des apprenants devrait conduire à un apprentissage plus maîtrisé.

La motivation a d'abord été approchée par l'évaluation, par les apprenants, du niveau de difficulté du jeu en relation avec leurs compétences, un niveau optimal de défi constituant une motivation intrinsèque essentielle. Rappelons qu'à partir des différents items liés à la mesure du niveau de défi, trois axes ont été mis en évidence grâce à l'analyse factorielle en composantes principales : «stress», «facilité» et « inactivité ».

On constate que la version du jeu exerce un effet significatif, comme nous l'avons vu précédemment, sur le score ; l'ajout des 3 scores factoriels mesurant le niveau de défi dans le deuxième modèle de la régression ne modère pas l'effet de la version qui s'en trouve au contraire renforcée ($t = 2.257$, $p = 0.032$ dans le premier modèle, et $t = 3.153$, $p = 0.004$ dans le second modèle) (Table 8).

Table 8

Résultats de la régression du score total sur la version du jeu et sur les variables de niveau de défi

Modèle		Coefficients non standardisés		Coefficients standardisés		
		B	Erreur standard	Beta	t	Sig.
1	(Constante)	5.800	.831		6.977	.000
	Version du jeu	2.700	1.196	.398	2.257	.032
2	(Constante)	5.487	.727		7.545	.000
	Version du jeu	3.348	1.062	.494	3.153	.004
	Stress	.860	.525	.250	1.639	.114
	Facilité	.971	.525	.282	1.849	.077
	Inactivité	1.344	.540	.390	2.490	.020

Variable dépendante: score total

Le niveau de défi exerce donc bien un effet positif sur le score mais indépendamment de la version de jeu. Les deux modèles de la régression présentés dans la table 8 sont significatifs: pour le premier modèle, n'incluant que la version du jeu, on obtient un $F(1.27) = 5.09$, $p < .05$; dans le deuxième modèle, incluant les variables relatives au niveau de défi, on obtient un $F(4.24) = 4.78$, $p < .01$. A noter que les variables liées au niveau optimal de défi exercent un effet très significatif sur les scores au post-test, faisant passer le R carré de .16 dans le premier modèle, qui ne comprend que le type de jeu, à .44 dans le second modèle qui inclut les variables niveaux de défi. Ainsi le coefficient de régression non standardisé (B) montre qu'une augmentation de 1 point sur le troisième axe de l'analyse factorielle fait augmenter de 1.3 points le score final. Les coefficients de

régression standardisés (Beta) montrent quant à eux, que la version du jeu est la variable exerçant le plus d'influence (.49) suivi de près par l'axe « inactivité » de l'analyse factorielle (.39), les deux autres axes (« stress » et « facilité ») exerçant une influence similaire et moins importante (Table 8).

Remarquons, par ailleurs, que des analyses complémentaires (tests de moyennes) indiquent que le niveau de défi perçu n'est pas associé à la version du jeu: on ne constate aucun effet significatif du jeu sur l'un ou l'autre des trois axes définissant le niveau de défi, qu'il s'agisse de l'axe « stress » ($F(1,27) = .0, p = .95$), de l'axe « facilité » ($F(1,27) = .02, p = .88$), ou de l'axe « inactivité » ($F(1,27) = 1.5, p = .23$).

Par rapport au modèle de Viau, seul l'item faisant référence à la perception du jeu comme un défi exerce un effet positif et significatif sur les scores ($F(1,27) = 6.10, p < .05$). Ni la conviction que le jeu peut représenter un bon moyen pour apprendre les mathématiques ($F(2,26) = .60, p = .56$) ni le sentiment de se sentir doué pour les jeux pédagogiques ($F(3,23) = .29, p = .83$) n'ont une influence sur la performance au post-test. Néanmoins, quand cet item est inclus dans une régression comprenant les trois variables issues de l'analyse factorielle mesurant le niveau de défi, son effet propre disparaît complètement. De ce fait, nous estimons qu'il s'agit d'un effet secondaire dans le facteur motivationnel plus général du niveau de défi.

Nous nous sommes également demandée si l'envie de rejouer était influencée par la version du jeu. Nous n'avons pas pu constater d'effet significatif à ce sujet ($F(1,27) = .21, p = .65$). Les moyennes et écart-types sont indiqués dans la table 9.

Table 9

Envie de rejouer en fonction de la version du jeu (moyennes et écarts-types)

	Version du jeu			
	immersive		non immersive	
	m	é.t.	M	é.t
Envie de rejouer	3.65	.50	3.53	.74

$N=14$

6.5. Immersion

La version du jeu n'a aucun effet significatif sur les quatre items associés à l'état d'immersion ressenti par les apprenants qui sont: l'oubli du lieu dans lequel se trouvait le joueur ($F(1,27) = 1.24, p = .28$), le sentiment d'être pris par le jeu ($F(1,27) = .25, p = .62$), le sentiment que le temps avait passé très vite ($F(1,27) = 1.26, p = .27$), et l'absence de dissipation durant le jeu ($F(1,27) = .45, p =$

.51). On ne relève également aucune différence significative du degré de concentration des joueurs durant le jeu selon la version du jeu considérée ($F(1.27) = 1.03, p = .32$). Par contre, le sentiment que le temps durant le jeu s'est vite écoulé a eu un effet significatif sur le score total ($F(2.26) = 3.96, p < 0.5$).

Remarquons que l'immersion dans le jeu est élevée dans les deux versions (échelle de points allant de 1 à 4) si ce n'est pour la mesure « oubli du lieu présent ». La table 10 présente les moyennes et écart-types de ces différents items en fonction de la version de jeu.

Table 10

Evaluation par les apprenants de leur état d'immersion en fonction de la version du jeu (moyennes et écart-types)

	Version du jeu			
	immersive		non immersive	
	m	é.t.	m	é.t.
Dissipation	1.14	.53	1.27	.46
Oubli du lieu présent	1.93	1.10	1.53	.84
Rapidité du temps écoulé	3.57	.65	3.27	.80
Emprise du jeu	3.35	.75	3.20	.94
Concentration	3.80	.43	3.53	.83

Pour finir, on constate que la version du jeu n'a pas d'effet significatif sur le sentiment que le jeu comportait trop de vidéos explicatives ($F(1.27) = 1.83, p = .19$).

7. Discussion

L'objectif de ce travail était de concevoir un jeu pédagogique caractérisé par un contenu d'apprentissage fortement intégré, gage d'une plus grande connexion avec l'apprentissage (Habgood, 2005) et d'un fort engagement des joueurs (Malone & Lepper, 1987). L'ajout de vidéos explicatives sur le contenu d'apprentissage devait permettre de faire prendre conscience aux apprenants de l'apprentissage en cours, de faire le passage du concret à l'abstrait, et d'aider au transfert des connaissances dans d'autres contextes, dimensions souvent lacunaires dans des jeux fortement intégrés (Bransford et al., 2000; Clark & Mayer, 2008; Egenfeldt-Nielsen, 2005). Le problème auquel nous étions confrontée était de déterminer l'emplacement le plus approprié des vidéos dans le jeu afin de répondre à une double exigence: préserver l'engagement et l'immersion des joueurs tout en maximisant l'apprentissage des apprenants.

Nous avons formulé deux hypothèses. Selon la première hypothèse, l'ajout des vidéos au terme du jeu devait permettre une plus grande connexion avec le jeu et l'apprentissage, aboutissant, d'une part, à un plus fort engagement des joueurs et à une plus grande immersion dans le jeu, et, d'autre part, à de meilleures performances au post-test. Dans la seconde hypothèse, en plaçant immédiatement après la résolution d'un problème spécifique, et en relation avec celui-ci, une vidéo explicative sur les équations linéaires simples, l'apprenant prenait conscience, au moment approprié, de l'apprentissage en cours ce qui pouvait se traduire par des scores plus élevés au post-test.

Les résultats de l'expérience montrent que les apprenants dont la séquence de jeu n'a pas été interrompue et qui ont bénéficié de vidéos explicatives à la suite du jeu, ont eu plus de facilité, dans le cadre des post-tests, à résoudre des équations que les apprenants qui ont visionné les vidéos en cours de jeu. Même constatation pour les gains d'apprentissage: ils ont été plus importants dans la condition dite immersive. L'expérience a donc mis en évidence un effet de la version du jeu. A quoi peut être dû cet effet? Nos résultats montrent que l'effet du jeu sur le score n'est lié ni à des facteurs motivationnels ni à des facteurs d'immersion contrairement à ce que nous avons prévu: les joueurs dont le flow de l'activité n'a pas été entravé par les explications ne se sont pas sentis plus motivés ou plus immergés dans le jeu que ceux dont l'activité a été régulièrement interrompue.

Nous pensons, au vu de l'observation des joueurs-apprenants durant l'expérience, que c'est avant tout leur capacité d'écoute et d'attention durant les explications qui a varié d'une version de jeu à l'autre. A travers notre questionnaire, nous avons mesuré l'immersion et l'engagement des joueurs dans le jeu et non pas leur attitude d'apprenant durant le visionnement des vidéos explicatives. D'après nos observations, il a été plus facile pour les joueurs d'être réceptifs aux explications en

fin de jeu qu'en cours de jeu. Lorsque les explications intervenaient en cours de jeu, certains d'entre eux exprimaient par leur expression corporelle (main posée nerveusement sur la souris, par exemple) ou par des grommellements leur déception de devoir subir des explications et leur hâte à pouvoir renouer avec le jeu. Ces interruptions inopinées n'étaient pas toujours bien vécues et comprises⁷. Elles ont pu avoir une influence négative sur le degré de concentration des participants durant les explications, bien plus que sur leur engagement et immersion dans le jeu une fois qu'ils se replongeaient dans celui-ci. Étant donné que la formalisation des problèmes sous forme d'équations ne servait pas directement à l'avancée dans le jeu, les apprenants n'étaient pas incités à écouter très attentivement des explications qui surgissaient à un moment où ils désiraient jouer avant tout. Ils pouvaient faire abstraction des explications et réussir leurs constructions. Nous avons cependant pu observer un élève, qui réfléchissait à haute voix, formuler un problème de construction sous forme d'équation suite à la diffusion d'une vidéo.

D'autres explications peuvent être avancées. Il est possible que le fait de regrouper toutes les explications théoriques, plutôt que de les répartir dans le jeu, leur assure une plus grande cohérence, et donne une vision moins fragmentée et globale du contenu d'apprentissage. Leur emplacement en fin de jeu est aussi plus proche, d'un point de vue temporel, de la phase consacrée au test sur les équations linéaires. La mémorisation à court terme des explications en est ainsi privilégiée bien qu'entre les vidéos explicatives et le test de mathématiques s'intercalait le questionnaire autogéré (cf. Annexe 5).

Même si la motivation des joueurs ne change pas d'une version de jeu à l'autre, il n'empêche que le niveau de défi, tel qu'évalué par les apprenants a une influence sur leur score final. Plus les joueurs ont le sentiment qu'ils se sont bien débrouillés, qu'ils se sont ennuyés et que la fin du jeu n'a pas été difficile, plus leurs scores sont élevés. Le sentiment d'avoir été très à l'aise dans le jeu et l'impression que le niveau de défi du jeu n'était pas trop élevé par rapport à leurs compétences a un impact favorable sur les performances au post-test. De même, et de manière plus nette encore, plus les joueurs ont le sentiment qu'ils n'ont pas grand chose à faire durant le jeu, plus leurs résultats au post-test sont bons. Cela s'explique sans doute par le fait que ceux qui commettent le moins d'erreurs de reconstruction sont ceux qui effectuent le moins de manipulations durant le jeu car chaque erreur entraîne des actions supplémentaires. Ces résultats semblent contredire les théories du flow (Cziksentmilalyi, 1990) et de la motivation (Malone & Lepper, 1987) qui mettent l'accent sur la nécessité qu'une activité soit stimulante, sans ennui, pour qu'elle soit motivante et susceptible de susciter le flow. Néanmoins, Cziksentmilalyi insiste aussi

⁷ Deux joueurs se sont étonnés à haute voix d'avoir une explication suite à une construction réalisée de manière correcte dès le premier essai. Ils ne comprenaient pas ce qui se passait: ils étaient convaincus que la diffusion de vidéos ne se produisait que suite à une erreur (l'équivalent d'un feed-back explicatif) car le hasard avait voulu que la première diffusion de la vidéo s'était produite directement après une erreur de construction de leur part.

sur le sentiment de facilité mêlé à un état de conscience suraigu (*deep but effortless involvement*) qu'éprouvent les personnes qui sont en état de flow. C'est sans doute ce sentiment de grande aisance dans une situation requérant une forte dose de concentration, qui a principalement un effet positif sur le score final.

Nos résultats ont également montré que les apprenants qui perçoivent le jeu au départ comme un défi obtiennent un meilleur score que les autres, alors que ni l'idée que le jeu peut représenter un bon moyen pour apprendre les mathématiques ni le sentiment de se sentir doué pour les jeux pédagogiques n'ont une influence sur la performance au post-test. Le sentiment de devoir relever un défi constitue probablement un facteur motivationnel important dans l'engagement dans le jeu. La présence d'un observateur externe, qui leur propose de tester un jeu, peut également avoir une influence sur l'engagement de certains apprenants dans le jeu et sur leur perception du jeu comme un défi. On peut s'imaginer que dans le contexte de l'expérimentation, en présence de la mère d'une de leur camarade, les apprenants veulent réussir au mieux (effet Hawthorne). Pour certains d'entre eux leur amour-propre est en jeu. Cette attitude peut contribuer à augmenter leur intérêt personnel et motivation dans l'accomplissement des différentes tâches (jeu et tests) qui leur sont proposées.

Nous l'avons déjà relevé, le degré d'immersion dans le jeu, tel qu'il a été rapporté par les apprenants, ne diffère pas d'une condition à l'autre, et globalement n'a pas d'incidence sur le score final. Néanmoins, le sentiment que le temps s'était écoulé rapidement durant le jeu entraîne de meilleurs scores au post-test. La perception que le temps passe vite peut être mis en relation avec un état de concentration et d'engagement important dans une activité, un état d'esprit qui est favorable à l'obtention de scores élevés lors du test. Relevons tout de même que les mesures de l'immersion ne sont sans doute pas toutes valides, une question en particulier n'a pas été bien comprise. La question sur l'oubli du lieu dans lequel se trouvait le joueur au moment du jeu a notamment suscité bien des interrogations: il semblait inconcevable pour certains joueurs que l'on puisse être accaparé par une activité au point d'oublier le lieu où l'on se trouve, d'autant plus dans un lieu étranger, hors de son domicile. Cette question posée *a posteriori* ne rendait pas fidèlement compte de la situation au moment du jeu. Enfin, rappelons qu'Equationtown n'est pas un jeu d'action en 3D propice à une immersion dans le sens d'immersion virtuelle. Il s'agit d'un jeu requérant une grande concentration. Les apprenants doivent être attentifs à divers éléments, faire les bons raisonnements et ne pas se tromper dans les calculs s'ils ne veulent pas commettre trop d'erreurs.

La pratique de jeux vidéo ou de jeux pédagogiques sur ordinateur n'a pas d'influence sur la performance au post-test. On peut l'expliquer par le fait que notre jeu, contrairement à beaucoup de jeux vidéo prisés par cette classe d'âge n'est pas un jeu d'action qui exigerait une dextérité

particulière ou des réflexes développés par une longue habitude des jeux. Le sentiment de bien se débrouiller dans le jeu, qui a un effet déterminant sur la performance au post-test, ne dépend pas de compétences préalables des joueurs en matière de jeux électroniques.

7.1. Limites et perspectives

Le jeu et les explications données par les vidéos peuvent se concevoir indépendamment l'un de l'autre. Il n'est pas nécessaire d'écouter les vidéos explicatives pour bien jouer et réussir le jeu. De même les explications peuvent probablement être suivies et comprises sans jouer au préalable au jeu même si les explications se réfèrent aux problèmes résolus dans le jeu. Il aurait été souhaitable d'avoir un groupe d'enfants qui participent à l'expérience sans faire le jeu, en se contentant des explications, pour pouvoir évaluer dans quelle mesure celles-ci se suffisent à elles-mêmes. Il est difficile de déterminer dans quelle mesure le jeu *stricto sensu*, sert à initier et sensibiliser les élèves aux équations linéaires simples, et dans quelle mesure la motivation et l'engagement dans le jeu participent à augmenter les scores au post-test par rapport à une situation où seules les vidéos auraient été diffusées.

Une autre limite de cette recherche tient à la conception du post-test. Celui-ci mesure surtout la compréhension et la mémorisation du contenu d'apprentissage transmis par les vidéos et non pas les compétences conceptuelles acquises au cours du jeu à travers la manipulation d'éléments. Il aurait été intéressant d'inclure dans le post-test des questions faisant le lien entre le jeu et les explications, en demandant aux enfants, par exemple, d'écrire sous forme d'équation un des problèmes de construction rencontrés dans le jeu ou encore de proposer aux apprenants de résoudre d'autres types de problèmes pour évaluer le transfert. Par ailleurs, le test algébrique a été soumis aux apprenants peu après le jeu. Nos résultats ne nous donnent aucune information sur la rétention des connaissances à plus long terme. Il serait important d'estimer si la condition dite immersive donne aussi à plus long terme de meilleurs résultats que l'autre condition.

L'apprentissage que nous avons conçu est très spécifique. Il s'agit d'une initiation à l'algèbre, destinée à introduire les apprenants à la résolution d'équations par tâtonnement. Les élèves acquièrent, dans le contexte particulier d'un jeu de construction, la compréhension de la notion d'inconnue et des différents éléments qui composent une équation. La distribution des indices de réussite en forme de J indique qu'un grand nombre d'élèves ont réussi à répondre correctement à l'ensemble des questions du test. On peut se demander à juste titre si, dans le cadre d'un apprentissage plus complexe et plus long, l'effet de la version du jeu aurait été le même.

Les conditions de l'expérience, qui prévoyaient un temps limité pour réaliser les tests, ont été contraignantes pour certains élèves qui n'ont pas disposé d'un temps suffisant pour répondre à l'ensemble des questions. Quelques élèves ont eu de la peine à démarrer le test et par

conséquent à le terminer dans les limites du temps qui leur était imparti. Ce temps d'hésitation, qui a précédé pour certains le début de la rédaction des réponses, peut être dû au fait que dans le jeu, lorsque les équations sont présentées à travers les vidéos, les élèves sont dans une attitude passive, d'écoute, tandis que dans la phase des tests, ils doivent être actifs et mobiliser les connaissances qu'ils viennent d'acquérir pour les appliquer dans un contexte totalement abstrait sans avoir eu au préalable l'occasion d'échanger et de communiquer avec d'autres sur ce qu'ils ont appris. Une plus grande intégration dans le jeu de l'écriture algébrique, à un moment où le joueur est actif et fait des choix, pourrait en partie remédier à ce problème. Il faudrait imaginer des moyens qui permettent au joueur, sans sortir du jeu, de résoudre des équations sous leur forme algébrique.

La nécessité de présenter des vidéos au contenu strictement identique dans les deux conditions, pour ne pas multiplier les effets non contrôlés, nous a conduit à faire des compromis lors de leur conception pour qu'elles s'adaptent aux deux versions de jeu. Dans un sens, les vidéos ne sont entièrement appropriées ni à l'une ni à l'autre version. Des vidéos plus courtes et incisives, ne reprenant pas dans leur intégrité le problème qui venait d'être résolu alors que celui-ci était encore fraîchement en mémoire, auraient été plus adéquates dans un contexte intégrant des explications en cours de jeu. En fin de jeu, il aurait été sans doute plus judicieux de présenter un seul problème dans sa totalité, puis de montrer les différentes manières de l'aborder selon le nombre d'éléments en jeu. Le sentiment de répétition ressenti par certains apprenants aurait ainsi été réduit.

8. Adaptations du jeu

La phase d'expérimentation du jeu a permis de mettre en évidence ses points forts et faibles. Différentes améliorations mériteraient d'être apportées au jeu dans la perspective d'une éventuelle diffusion.

Point positif, les élèves ont apprécié le contexte fictionnel, les calculs à effectuer, l'effort de réflexion qu'impliquait le jeu et l'originalité de l'approche pédagogique (cf. Annexe 10). Ils ont parlé du jeu avec enthousiasme autour d'eux. Dans les points négatifs, l'accent est mis sur les explications qui sont considérées comme trop nombreuses, répétitives, et surgissant de manière intempestive dans la version non immersive. Les explications auraient dû jouer, selon quelques apprenants, le rôle d'un feed-back explicatif n'intervenant que suite à une erreur. Le nombre d'explications devrait donc être réduit et elles devraient être présentées de manière plus variée. Si elles interviennent en cours de jeu, elles devraient être plus étroitement liées aux actions des joueurs afin que ceux-ci puissent leur attribuer un sens dans le cadre du jeu.

Nous avons pu relever en cours de jeu que certaines fautes commises étaient liées à la non lecture des consignes données par le contremaître. C'est surtout au niveau 4 du jeu que des joueurs, pressés d'agir plutôt que de lire, ont manqué des informations précieuses sur la présence d'une grue supplémentaire dans le jeu. Le feed-back par le milieu a suffi en général à faire prendre conscience aux apprenants qu'ils n'avaient pas pris en compte tous les paramètres nécessaires à une bonne réparation. Néanmoins, on peut se demander si d'autres moyens devraient être envisagés pour diversifier les sources d'information (audio, par exemple) sans ralentir l'action du joueur.

Quelques problèmes de visibilité d'éléments contenus dans le jeu sont apparus en cours de jeu. Ils pourraient facilement être corrigés. Par exemple, lors de la réparation des tuiles des maisons des niveaux 4 et 5, les crochets X à prendre en considération pour effectuer une réparation avaient tendance à se chevaucher une fois qu'ils étaient remontés pour un deuxième essai consécutif à une erreur. Le montant du budget qui figure en bas de l'écran n'a pas été perçu par la majorité des joueurs ou est passé très vite en second plan dans leur esprit. Seuls les joueurs les plus à l'aise dans le jeu y ont prêté attention. Les réparations requéraient probablement trop d'attention pour pouvoir libérer les ressources mentales nécessaires au suivi du budget. Il faudrait soit rendre le décompte du budget plus visible ou le considérer comme un élément du jeu qui ne prend de la valeur qu'au fur et à mesure que le joueur gagne en aisance, par exemple, lors de nouvelles parties de jeu. Enfin, quelques élèves se sont étonnés de la forme en "a" du crochet de la deuxième grue. Il serait sans doute plus judicieux de lui attribuer la lettre b qui est utilisée de manière plus courante dans la formulation de l'expression $ax+b=c$.

9. Conclusion

Notre étude cherchait à montrer dans quelle mesure l'immersion dans un jeu a un effet sur la motivation des joueurs-apprenants ainsi que sur l'apprentissage visé par le jeu. Nous avons constaté que c'est la version du jeu la plus immersive selon notre définition de l'immersion qui amène à l'apprentissage le plus efficace. Le sentiment d'être immergé dans le jeu est cependant ressenti de manière identique par les joueurs-apprenants dans les deux versions de jeu: il est élevé dans les deux cas. Nous sommes arrivés à la conclusion que les différences de scores entre les deux groupes s'expliquent essentiellement par le fait que le jeu est suffisamment prenant pour que les apprenants, dans la version moins immersive, soient moins réceptifs aux explications théoriques apparaissant en cours de jeu. Autrement dit des interventions explicatives en milieu de jeu ne sont pas propices à la réflexion et à une prise de conscience de l'apprentissage en cours, d'autant plus si elles ne s'avèrent pas nécessaires au bon déroulement du jeu. Elles n'affectent cependant pas la motivation des joueurs par rapport au jeu mais plutôt la capacité d'écoute et de concentration des apprenants par rapport à l'acquisition de nouvelles connaissances. Il semble donc préférable, dans certains cas, mais cette constatation mérite d'être confirmée par d'autres recherches, de ne pas empiéter sur le temps du jeu, qui peut s'assimiler à une phase exploratoire des concepts mathématiques, par une phase de prise de conscience des structures et concepts mathématiques intégrés dans le jeu.

Dans le cadre de notre projet, nous avons développé un environnement de jeu qui fait "jouer" les équations, un peu comme dans une simulation. Il s'agit d'un premier niveau d'intégration du contenu d'apprentissage dans le jeu. Un deuxième niveau correspond à l'intégration des équations linéaires dans la mécanique du jeu. Nous n'avons pas exploré plus avant cette voie faute de temps. Cette approche permettrait d'aborder l'écriture algébrique directement dans le jeu, en relation avec celui-ci, et d'éviter la dissociation actuelle dans Equationtown entre le concept de l'équation, abordé dans le jeu, et son écriture formelle, expliquée par des vidéos. Les joueurs seraient continuellement plongés dans le jeu et le rythme du jeu ne serait pas interrompu par des explications théoriques. Pour aider à la réflexion et au transfert des connaissances, un debriefing devrait être prévu en fin de jeu, à un moment où les apprenants seraient ouverts aux explications et prêts à prendre le recul nécessaire pour mener à bien une réflexion sur leurs apprentissages.

En relation avec le contexte plus large de l'utilisation du jeu, rappelons que nous avons développé un jeu destiné avant tout à un usage autonome. Nous n'avons pas abordé la question de son emploi en contexte scolaire. Les expériences menées en classe montrent que l'intégration de jeux pédagogiques dans une séquence pédagogique peut être lourde en termes d'organisation pour les enseignants sans garantir une efficacité supérieure ou égale aux méthodes traditionnelles d'enseignement. Néanmoins, notre recherche montre le potentiel de jeux intégrés en matière de motivation des joueurs-apprenants et met en évidence les bénéfices qui en résultent en termes

d'acquisition d'un contenu d'apprentissage. L'attrait motivationnel d'un jeu comme Equationtown, dont la conception est pensée en termes d'intégration du contenu d'apprentissage dans le jeu par la mécanique du jeu, la fiction et la temporalité, peut être exploitée dans différentes situations. Il nous manque des données qui permettraient de déterminer dans quel contexte son utilisation serait la plus judicieuse et dans quelle mesure, en contexte scolaire, ce jeu bénéficierait d'échanges et de discussions avec d'autres apprenants ou un enseignant. Hors de l'environnement de la classe, dans le cadre d'activités libres ou comme devoir scolaire, un jeu comme Equationtown pourrait cependant servir à faire découvrir et exercer de nouvelles compétences avant qu'elles ne soient discutées et validées en classe.

10. Bibliographie

- Ainsworth, S., & Loizou, A. T. (2003). The effects of self-explaining when learning with text or diagrams. *Cognitive Science*, 27, 669-681.
- Asgari, M., & Kaufman, D. (2004). Relationships Among Computer Games, Fantasy, and Learning. *Proceedings of the 2nd International Conference on Imagination and Education*. Récupéré de http://www.ierg.net/confs/2004/Proceedings/Asgari_Kaufman.pdf
- Boyle, E. (2009, octobre). *A review of outcomes and impacts of playing computer games*. Communication présentée à The 3rd European Conference on Games Based Learning, Graz, Autriche. [Présentation PowerPoint]. Récupéré de <http://www.academic-conferences.org/ppts/boyle.ppt>
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience and school*. Washington, DC: National Academy Press.
- Breiteig, T., Grevholm, B. (2006). The transition from arithmetic to algebra: to reason, explain, argue, generalize and justify. Dans J. Novotná, H. Moraová, M. Krátká, N. Stehlíková (Éd.), *Proceedings of the 30th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, Vol. 2, 2006 (pp. 225-232). Prague, Czech Republic: Research Reports.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble, France : La Pensée Sauvage.
- Brousseau, G. (2003). *Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques*. Récupéré de http://pagesperso-orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire_Brousseau.pdf
- Caillois, R. (1958). *Les Jeux et les Hommes*. Paris, France: Gallimard Editions.
- Ciavarro, C. , Dobson, M., & Goodman, D. (2008). Implicit learning as a design strategy for learning games: Alert Hockey. *Computers in Human Behavior*, 24, 2862–2872.
- Crawford, C. (1982). *The art of computer game design*. Récupéré de <http://www.vancouver.wsu.edu/fac/peabody/game-book/Coverpage.html>
- Csikszentmihalyi, M (1990). *Flow: the psychology of optimal experience*. New York, NY:

Harperperennial.

Csikszentmihalyi, M (1996). *La créativité*. (C.-C. Farny, Trans. 2006 ed.). Paris, France: Robert Laffont, S.A.

Egenfeldt-Nielsen, S. (2005). *Beyond edutainment: Exploring the educational potential of computer games*. IT University of Copenhagen, Copenhagen.

Frété, C. (2002). *Le potentiel du jeu vidéo pour l'éducation* (Mémoire DESS STAF). TECFA, Université de Genève.

Fu, F., Su, R-C., & Yu, S-C. (2009). EGameFlow: A scale to measure learners' enjoyment of e-learning games. *Computers and Education*, 52, 101–112.

Gee, P. (2003). *What video games have to teach us about learning and literacy*. New York, NY: Palgrave Macmillian.

Gunter, G. A., Kenny, R. F., & 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, 511-537. doi: 10.1007/s11423-007-9073-2

Habgood, M. P. J., Ainsworth, S., & Benford, S. (2005). Endogenous fantasy and learning in digital games. *Simulation and Gaming*, 36(4).

Habgood, M. P. J. (2007). The effective integration of digital games and learning content (PhD Thesis). University of Nottingham.

Habgood, M. P. J., Ainsworth, S. (2009). Does intrinsic integration matter? Exploring the value of intrinsic integration in educational games (Manuscript). University of Nottingham.

Hays, R. T. (2005). *The effectiveness of instructional games: A literature review and discussion*. Orlando, FL: Naval Air Warfare Center Training Systems Division.

Huizinga, J. (1951). *Homo ludens, essai sur la fonction sociale du jeu* (C. Seresia, Trans. ed. 2008). Paris, France: Gallimard.

Jenkins, H. (2005). Getting into the game. *Educational Leadership*, 62(7), 48-51.

Jones, M. G. (1998). *Creating Engagement in Computer-Based Learning Environments*. ITForum. Récupéré de <http://www.vancouver.wsu.edu/fac/peabody/game-book/Coverpage.html>

Ke, F. (2008). A case study of computer gaming for math: Engaged learning from gameplay?

Computers & Education, 51, 1609–1620.

Kellner, C. (2007). *Les cédéroms, pour jouer ou pour apprendre?* Paris, France : L'Harmattan.

Kellner, C. (2000). *La médiation par le cédérom « ludo-éducatif »*. Approche communicationnelle (Thèse en sciences de l'information et de l'éducation). Université de Metz, France.

Kirriemuir, J., & McFarlane, A. (2004). *Literature review in games and learning*. Bristol, Great Britain: NESTA Futurelab.

Malone, T. W. (1981). Toward a theory of intrinsically motivating instruction. *Cognitive Science*, 5(4), 333-369.

Malone, T. W., & Lepper, M. R. (1987). Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations for learning. Dans R. E. Snow & M. J. Farr (Eds.), *Aptitude, Learning and Instruction: III. Conative and affective process analyses* (pp. 223-253). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Mitchell, A., & Savill-Smith, C. (2004). *The use of computer and video games for learning*: Learning Skills and Development Agency.

Moreno-Ger, P., Burgos, D., Martínez-Ortiz, I., Sierra, J. L., & Fernández-Manjón, B. (2008) Educational game design for online education. *Computers in Human Behavior*, 24, 2530-2540.

Novak, T. P., Hoffman, D. L. (1997, juillet). Measuring the flow experience among web users. Article présenté à Interval Research Corporation, Palo Alto, California.

Prensky, M. (2001). *Digital Game-Based Learning*. New York: McGraw Hill.

Reiber, L. P. (1996). Seriously considering play: Designing interactive learning environments based on the blending of microworlds, simulations, and games. *Educational Technology Research and Development*, 44(2), 43-58.

Salen, K., & Zimmerman, E. (2004). *Rules of play: Game design fundamentals*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Squire, K., & Barab, S. (2004). Replaying history: Engaging urban underserved students in learning world history through computer simulation games. Dans Y. B. Kafai, W. A. Sandoval, N. Enyedy, A. S. Nixon & F. Herrera (Eds.), *Embracing diversity in the Learning Sciences: Proceedings of the sixth international conference of the Learning Sciences* (pp. 505-512). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Steinkuehler, C., & Duncan, S. (2008). Scientific Habits of Mind in Virtual Worlds. *Journal of Science Education and Technology*, 17, 530–543.
- Sweetser, P., Wyeth, P. (2005). GameFlow: a model for evaluating player enjoyment in games. *ACM Computers in Entertainment*, 3 (3), 1–24.
- Szilas, N., & Accosta, M. (2009). Games and knowledge: a theoretical background for educational games (Manuscrit). Université de Genève.
- Szilas, N., & Sutter Widmer, D. (2009, juin). *Mieux comprendre la notion d'intégration entre l'apprentissage et le jeu*. Communication présentée à l' Atelier « Jeux Sérieux : conception et usages », en conjonction avec la 4ème Conférence francophone sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Le Mans, France.
- Viau, R. (1998). *La motivation en contexte scolaire* (2 ed.). Bruxelles: Deboeck.
- Wouters, P., van der Spek, E., & van Oostendorp, H. (2009). Current practices in serious game research: a review from a learning outcomes perspective. Dans T. Connolly, M. Stansfield, & L. Boyle (Eds.), *Games-Based Learning Advancements for Multi-Sensory Human Computer Interfaces: Techniques and Effective Practices* (pp. 232-250). Hershey, PA: Information Science Reference.

11. ANNEXES

Annexe 1. Pré-test A : Usages, auto-évaluation, engagement	i
Annexe 2. Pré-test B : Test en mathématique – calculs arithmétiques.....	ii
Annexe 3. Pré-test C : Test en mathématique – équations linéaires simples	iii
Annexe 4. Mesures diverses relevées durant l'expérience	iv
Annexe 5. Post-test A : Evaluation de l'engagement, du degré d'immersion.....	v-vi
Annexe 6. Post-test B : Test en mathématique – calculs arithmétiques	vii
Annexe 7. Post-test C : Test en mathématique – équations linéaires simples.	viii
Annexe 8. Lettre d'explication aux parents.....	ix
Annexe 9. Directives orales.....	x
Annexe 10. Appréciation du jeu par les participants.....	xi
Annexe 11. GameFlow Criteria for Player Enjoyment in Games (Sweetser & Wyeth, 2005)	xii

Annexe 1. Pré-test A : Usages, auto-évaluation, engagement

Prénom :

Age :

Ecole :

Version jeu :

Réponds s'il te plaît aux questions. Mets une croix où cela convient

	tous les jours ou presque	plusieurs fois par semaine	une à deux fois par semaine	une à deux fois par mois	moins souvent	jamais
Joues-tu à des jeux électroniques ?						
Utilises-tu actuellement des jeux pédagogiques sur ordinateur pour réviser ou apprendre de nouvelles choses ?						

Quel est ton avis par rapport aux affirmations suivantes ?

	tout à fait d'accord	plutôt d'accord	plutôt pas d'accord	pas d'accord du tout
J'aime les maths à l'école				
Les jeux, c'est une bonne manière d'apprendre les maths				
Les maths, c'est difficile pour quelqu'un comme moi				
Je suis curieux(-se) de connaître ce jeu				
Ce jeu représente un défi pour moi				
Je suis en général doué(-e) pour ce type de jeu pédagogique				
Je suis content(-e) de faire ce jeu				

Annexe 2. Pré-test B : Test en mathématique – calculs arithmétiques

1a. Complète par le bon chiffre

Si tu n'as aucune idée de la réponse, coche la case « je ne sais pas »

1. $28 - \dots - 7$ je ne sais pas

2. $25 + \dots = 94$ je ne sais pas

3. $15 \times \dots = 45$ je ne sais pas

4. $21 \times \dots = 2121$ je ne sais pas

5. $18 \div 2 \times (20 - 16) = \dots$ je ne sais pas

Annexe 3. Pré-test C : Test en mathématique – équations linéaires simples

1b Complète par le bon chiffre

Si tu n'as aucune idée de la réponse, coche la case « je ne sais pas »

- | | | |
|-------------------|------------------|-----------------------------------------|
| 6. $6x + 5 = 29$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 7. $3x + 8 = 17$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 8. $3x = 24$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 9. $4x = 20$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 10. $4x + 6 = 22$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 11. $8x + 7 = 23$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 12. $2x - 26$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 13. $7x - 35$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 14. $7x - 6 = 15$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 15. $17x = 34$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |

Annexe 4. Mesures diverses relevées durant l'expérience

Prénom :

	Niveau 0 (entraînement)	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5
Postures (regard, mimiques, commentaires)						
Lecture						
Réflexion						
Attitude durant les explications						
Nombre de fautes						
Ordre des réparations						
Système de nettoyage des débris						

Temps d'enregistrement (explications comprises) :

Remarques générales :

Budget final :

Annexe 5. Post-test A : Evaluation de l'engagement, du degré d'immersion.

Quel est ton avis par rapport aux affirmations suivantes ? Mets une croix où cela convient

	tout à fait d'accord	plutôt d'accord	plutôt pas d'accord	pas du tout d'accord
J'ai aimé le jeu				
Au début, le jeu était difficile pour moi				
A la fin, le jeu était difficile pour moi				
Je me suis bien débrouillé(-e) dans ce jeu				
Pendant le jeu, j'ai pensé à d'autres choses sans rapport avec le jeu				
J'étais concentré(-e) pendant le jeu				
A un moment donné dans le jeu, j'ai oublié dans quel lieu je me trouvais				
Je me sentais pris(-e) par le jeu				
Je me sentais calme pendant le jeu				
Je me suis ennuyé(-e) pendant le jeu				
Je me suis énervé(-e) pendant le jeu				
Je n'avais pas grand chose à faire pendant le jeu				
Je suis très content(-e) d'avoir fait ce jeu				

	tout à fait d'accord	plutôt d'accord	plutôt pas d'accord	pas du tout d'accord
Il y avait trop d'explications				
Les explications arrivaient au bon moment				
Il s'agit plus d'un exercice que d'un jeu				
Je souhaiterais jouer une nouvelle partie si j'en ai l'occasion				
Le temps durant le jeu a passé vite				
J'ai regardé le budget surtout en début de jeu				

14.

	très régulièrement	quelques fois	rarement	jamais
Durant le jeu, j'ai regardé le budget				

Y a-t-il des choses que tu as bien aimées dans le jeu ? Si oui, lesquelles ?.....

.....
.....

Y a-t-il des choses que tu n'as pas aimées dans le jeu ? Si oui, lesquelles ?.....

.....

Annexe 6. Post-test B : Test en mathématique – calculs arithmétiques

2a Complète par le bon chiffre

Si tu n'as aucune idée de la réponse, coche la case « je ne sais pas »

1. $29 - \dots - 6$ je ne sais pas

2. $35 + \dots = 74$ je ne sais pas

3. $13 \times \dots - 39$ je ne sais pas

4. $21 \times \dots - 1260$ je ne sais pas

5. $20 \div 5 \times (22 - 16) = \dots$ je ne sais pas

Annexe 7. Post-test C : Test en mathématique – équations linéaires simples

2b. Complète par le bon chiffre

Si tu ne connais pas la réponse, coche la case « je ne sais pas »

- | | | |
|-------------------|------------------|-----------------------------------------|
| 6. $3x + 5 = 17$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 7. $6x + 3 = 21$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 8. $4x = 16$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 9. $2x = 24$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 10. $4x + 9 = 17$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 11. $8x + 2 = 26$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 12. $7x - 21$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 13. $15x - 30$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 14. $7x - 5 = 30$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |
| 15. $8x = 24$ | $x = \dots\dots$ | je ne sais pas <input type="checkbox"/> |

	tout à fait d'accord	plutôt d'accord	plutôt pas d'accord	pas d'accord du tout
Le jeu m'a aidé pour répondre aux questions sur les équations				

Annexe 8. Lettre d'explication aux parents

Novembre 2009

Cher(s) parent(s),

J'ai proposé à votre enfant de participer à une recherche que je mène pour l'obtention d'un diplôme à l'Université. Il s'agit de tester un jeu pédagogique en mathématique sur ordinateur que j'ai développé moi-même et qui s'adresse à des enfants en 6ème primaire.

L'expérience devrait durer environ entre 30 et 45 minutes et a lieu en principe à mon domicile à moins que vous ne préfériez que je me déplace chez vous avec un ordinateur portable. La séquence de jeu sera enregistrée sur mon ordinateur. Toutes les données que je relèverai seront rendues anonymes et serviront à l'usage exclusif de cette recherche. Par ailleurs, votre enfant ne sera ni filmé ni photographié.

Si votre enfant est intéressé par cette expérience, je me permettrais de vous appeler pour fixer ou confirmer un rendez-vous avec votre enfant.

Je reste naturellement à votre disposition pour toutes questions éventuelles.

Avec mes meilleures salutations.

Denise Sutter Widmer

Annexe 9. Directives orales

Consignes et explications données en début de jeu

Bonjour. Merci d'être venu. Comme je te l'ai déjà expliqué, je souhaiterais que tu joues à un jeu que j'ai développé moi-même. Il s'agit d'un jeu en mathématiques. J'en ai développé deux versions, et je souhaiterais que tu testes celle-ci. Mon but n'est pas de t'évaluer mais de voir quel est le jeu qui fonctionne le mieux. Je fais ces tests dans le cadre d'un travail de recherche à l'Université.

Pour commencer, je souhaiterais que tu répondes à un premier questionnaire qui contient sans doute quelques questions auxquelles tu ne pourras pas forcément répondre. Mais j'aimerais justement m'assurer que ce que tu vas découvrir dans le jeu t'est encore inconnu pour l'instant sinon le jeu ne t'apprendra pas beaucoup de choses. Puis, tu pourras faire un petit exercice d'entraînement avant de te lancer véritablement dans le jeu pour t'aider à bien comprendre le fonctionnement du jeu.

Suivra ensuite le jeu a proprement dit. A la fin du jeu, tu auras quelques explications supplémentaires qui te seront données à travers une petite animation / Au cours du jeu tu auras quelques explications sur ce que tu es en train d'apprendre. Pour terminer, je te demanderai de répondre à un deuxième petit questionnaire qui portera sur le jeu et sur ce que tu auras appris.

Je te demanderai de ne pas parler du contenu du jeu à tes camarades, ni des questions posées, pour qu'ils le découvrent tous par eux-mêmes.

Annexe 10. Appréciation du jeu par les participants

Réponses données aux deux dernières questions du questionnaire en Annexe 5.

Ce qui a été aimé dans le jeu :

- tuiles et fenêtres
- la construction
- les calculs qu'on devait faire et le fait de reconstruire une ville
- la logique du jeu était sympathique
- j'ai bien aimé le début du jeu car il y avait bcp de choses intéressantes et pareil vers la fin du jeu
- avoir appris le système des équations et j'ai trouvé bien la transformation des équations en forme de jeu
- oui, c'est bien expliqué et c'est surtout très facile à comprendre les équations
- l'image est bien
- oui, parce qu'il y avait à réfléchir et faire des calculs. Ce jeu est très intéressant
- toutes
- le monsieur qui parlait
- oui, que ce soit un jeu indirect pour les maths et non des maths directs et que j'ai bien compris le « x » sûrement plus facilement qu'à l'école
- les deux grues
- j'ai tout aimé, pour moi il n'y a rien qui manque
- J'ai bien aimé le jeu parce qu'il y avait des constructions et j'aime bien ça
- réparer les objets cassés
- on ne dirait pas un exercice
- l'histoire, les explications parce que souvent je ne comprends rien quand il y a des explications et là j'ai trouvé que c'était bien expliqué
- oui, tous
- oui tous
- oui, ce n'était pas trop dur mais il fallait quand même être concentré
- c'était différent des autres jeux pédagogiques, histoire, construction.
- de reconstruire
- il était marrant
- quand je faisais des calculs
- oui, j'ai bien aimé comme le jeu a commencé avec le petit texte et l'idée des maisons de les réparer c'était pas mal. Et les explications à la fin c'était bien
- tout le jeu était très bien
- les additions, l'idée des maisons
- qu'il fallait reconstruire les maisons en réfléchissant et dans d'autres jeux on ne doit pas beaucoup réfléchir

Ce qui a moins été aimé :

- manquait du temps limité
- j'ai un peu moins aimé le graphisme du jeu (*fait référence aux barrières: les jointures manquantes entre les lots de barrière l'ont gêné*)
- je pense qu'il y a trop d'explications, deux auraient suffi
- un peu long à la fin (*les explications sur les équations*). Et aussi qu'au début je ne comprenais pas grand chose (mais il n'y a rien à changer)
- une seule explication par maison aurait suffi
- trop d'explications
- si la réponse est juste, pourquoi donner des explications? (*version 2 du jeu*)
- les explications devraient apparaître en fonction des actions faites, par ex. s'il y a des erreurs
- les explications commencent toujours par la même phrase, il faudrait les varier mais elles arrivent au bon moment (*version 1 du jeu*)
- le bruit quand les objets tombaient (*le bruit des barrières se fracassant sur le sol l'a fait sursauter*)
- les répétitions (*d'explications sur les équations*) qui étaient déjà dans les constructions d'avant
- rien

Annexe 11. GameFlow Criteria for Player Enjoyment in Games

Source : Sweetser et Wyeth, 2005, p. 5-6

Element	Criteria
<p>Concentration Games should require concentration and the player should be able to concentrate on the game</p>	<ul style="list-style-type: none"> - games should provide a lot of stimuli from different sources - games must provide stimuli that are worth attending to - games should quickly grab the players' attention and maintain their focus throughout the game - players shouldn't be burdened with tasks that don't feel important - games should have a high workload, while still being appropriate for the players' perceptual, cognitive, and memory limits - players should not be distracted from tasks that they want or need to concentrate on
<p>Challenge Games should be sufficiently challenging and match the player's skill level</p>	<ul style="list-style-type: none"> - challenges in games must match the players' skill levels - games should provide different levels of challenge for different players - the level of challenge should increase as the player progresses through the game and increases their skill level - games should provide new challenges at an appropriate pace
<p>Player Skills Games must support player skill development and mastery</p>	<ul style="list-style-type: none"> - players should be able to start playing the game without reading the manual - learning the game should not be boring, but be part of the fun - games should include online help so players don't need to exit the game - players should be taught to play the game through tutorials or initial levels that feel like playing the game - games should increase the players' skills at an appropriate pace as they progress through the game - players should be rewarded appropriately for their effort and skill development - game interfaces and mechanics should be easy to learn and use
<p>Control Players should feel a sense of control over their actions in the game</p>	<ul style="list-style-type: none"> - players should feel a sense of control over their characters or units and their movements and interactions in the game world - players should feel a sense of control over the game interface and input devices - players should feel a sense of control over the game shell (starting, stopping, saving, etc.) - players should not be able to make errors that are detrimental to the game and should be supported in recovering from errors - players should feel a sense of control and impact onto the game world (like their actions matter and they are shaping the game world) - players should feel a sense of control over the actions that they take and the strategies that they use and that they are free to play the game the way that they want (not simply discovering actions and strategies planned by the game developers)
<p>Clear Goals Games should provide the player with clear goals at appropriate times</p>	<ul style="list-style-type: none"> - overriding goals should be clear and presented early - intermediate goals should be clear and presented at appropriate times
<p>Feedback Players must receive appropriate feedback at appropriate times</p>	<ul style="list-style-type: none"> - players should receive feedback on progress toward their goals - players should receive immediate feedback on their actions - players should always know their status or score
<p>Immersion Players should experience deep but effortless involvement in the game</p>	<ul style="list-style-type: none"> - players should become less aware of their surroundings - players should become less self-aware and less worried about everyday life or self - players should experience an altered sense of time - players should feel emotionally involved in the game - players should feel viscerally involved in the game
<p>Social Interaction Games should support and create opportunities for social interaction</p>	<ul style="list-style-type: none"> - games should support competition and cooperation between players - games should support social interaction between players (chat, etc.) - games should support social communities inside and outside the game