



PERTINENCE DE L'AJOUT D'UNE COMPOSANTE
SÉRIEUSE PERSONNALISÉE À UN JEU VIDÉO
D'ACTION DÉDIÉ À LA RÉÉDUCATION EN LECTURE
D'ÉLÈVES AYANT DES DIFFICULTÉS
D'APPRENTISSAGE.

Thèse présentée comme exigence partielle

du doctorat en informatique cognitive

Par François Lewis

Novembre 2024



<https://r-libre.telug.ca/3498>

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon directeur de recherche, M. Daniel Lemire et mon codirecteur M. Patrick Plante, tous les deux professeurs à l'Université TÉLUQ pour leur ouverture d'esprit, leur patience et leur soutien. Je leur suis particulièrement reconnaissant pour leur disponibilité tout au long de cette étude ; leurs suggestions et commentaires constructifs. Mes remerciements s'adressent également à M. Pierre-Olivier Dionne, programmeur au centre de recherche public SAVIE, pour son appui et la confiance qu'il a témoignée durant les nombreux mois de collaboration qui ont été nécessaires à la conception du jeu vidéo d'action sérieux.

Aux membres des jurys, de m'avoir fait l'honneur d'examiner mes travaux, et de m'avoir guidé durant l'ensemble de ma démarche.

Je désire remercier aussi ma famille et mes amis pour leurs encouragements et leur soutien continu durant ces années de recherche. Merci, notamment à ma conjointe Danielle, pour sa patience, son soutien et son amour au cours de la rédaction de cette thèse. Un merci particulier à Jérémy, Justin, Liam, Lucie et Sonia, pour leur engagement dans le projet.

Et surtout, merci à tous les enfants et leurs parents qui ont accepté de donner de leur temps pour faire avancer la recherche sur un sujet qui me tient à cœur, je leur en suis reconnaissant.

ÉPIGRAPHE

Songez que toutes les merveilles, objets de vos études, expriment l'œuvre de plusieurs générations, une œuvre collective exigeant de tous un effort enthousiaste et une peine certaine. Tout cela, dans vos mains, devient un héritage. Vous le recevez, vous le respectez, vous l'accroissez et plus tard, vous le transmettez fidèlement à votre descendance. Nous sommes ainsi des mortels immortels parce que nous créons ensemble des œuvres qui nous survivent. Albert Einstein (1979, p.27)

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
ÉPIGRAPHE	iii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX	xi
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES.....	xii
RÉSUMÉ.....	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 PROBLÉMATIQUE ET OBJET DE RECHERCHE	5
1.1 Problématique.....	5
1.2 Conséquences	7
1.3 But et objectifs de l'étude.....	7
1.4 Hypothèses de départ.....	7
1.5 Question de recherche.....	8
1.6 Conclusion.....	8
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE ET ENJEUX	9
2.1 Méthodologie de la revue.....	9
2.2 Historique des EIAH.....	10
2.2.1 Modèle conceptuel des environnements STI	11
2.2.1.1 Modèle du domaine.....	13
2.2.1.2 Modèle de l'apprenant	14
2.2.1.3 Modèle du tuteur.....	16
2.2.1.4 Modèle du joueur	19
2.2.1.5 Modèle de communication.....	21
2.3 Jeux sérieux éducatifs	21
2.3.1 Motivation et engagement	22
2.3.2 Attention.....	27
2.3.3 Personnalisation	30
2.3.4 Conception et intégration de la dimension pédagogique et ludique	33
2.3.4.1 Données sur l'évaluation d'un jeu sérieux en milieu scolaire.	36
2.3.4.2 Mais qu'elle est le meilleur format et média pour la conception d'un JVAS ?	36
2.3.5 Méthodologie d'évaluation	40

2.3.6	Limites et risques	42
2.4	Conclusion de la revue	44
2.5	Enjeux liés à l'étude	45
2.6	Conclusion	47
CHAPITRE 3 CADRE CONCEPTUEL ET THÉORIQUE		48
3.1	Notre position épistémologique	50
3.2	Jeu sérieux éducatif.....	52
3.2.1	Modèle « <i>Serious Games Mechanics</i> ».....	52
3.2.2	Méthode MISA.....	53
3.3	Troubles de lecture	54
3.4	Théories de l'apprentissage	55
3.4.1	Constructivisme	55
3.4.2	Cognitivisme.....	56
3.4.3	Métacognition.....	56
3.5	Psychologie cognitive	57
3.5.1	Mémoire	57
3.5.1.1	Mémoire sensorielle	58
3.5.1.2	Mémoire à court terme	58
3.5.1.3	Mémoire à long terme.....	58
3.5.1.3.1	Mémoire épisodique.....	59
3.5.1.3.2	Mémoire sémantique	59
3.5.1.3.3	Mémoire lexicale	59
3.5.1.3.4	Mémoire procédurale.....	59
3.5.2	Théories motivationnelles	61
3.5.2.1	Théorie de « l'autodétermination ».....	61
3.5.2.2	Théorie du « <i>flow</i> »	62
3.5.2.3	Théorie ARCS.....	62
3.6	Concepts et théories du modèle informatique associées à l'étude	63
3.6.1	Analyse de données	63
3.6.2	Personnalisation par l'intelligence artificielle.....	65
3.6.2.1	Modèle « <i>Deep Knowledge Tracing</i> » de Piech <i>et al.</i> (2015)	66
3.6.2.2	Modèle <i>CbKST</i> d'Augustin <i>et al.</i> (2013)	66
3.6.3	Description du processus d'apprentissage automatique inductif	68
3.6.3.1	Représentation	68
3.6.3.2	Évaluation	69
3.6.3.3	Optimisation	70
3.6.3.4	Fléau de la dimension	71
3.6.3.5	Surapprentissage « <i>overfitting</i> ».....	72
3.6.3.6	Problème du gradient en voie de disparition	72
3.7	Conclusion	73
CHAPITRE 4 MÉTHODOLOGIE ET PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL		74

4.1	Préconception	76
4.1.1	Étude de faisabilité	77
4.1.1.1	Le public cible et les parties prenantes	77
4.1.1.2	l'analyse des besoins actuels	78
4.1.1.3	Évaluation des ressources humaines et financières	81
4.1.1.4	Évaluation de l'artefact éducatif.....	81
4.1.2	Planification	82
4.1.3	Mesures de réduction des risques.....	83
4.2	Conception	84
4.2.1	Modélisation	85
4.2.2	Design générique	85
4.2.2.1	Modélisation statique.....	87
4.2.2.2	Modélisation dynamique du jeu.....	88
4.2.3	Sélection et développement des mécanismes du jeu	90
4.2.4	Univers ludique	92
4.2.4.1	Personnages.....	92
4.2.4.2	Scénario	93
4.2.5	Volet pédagogique.....	94
4.2.5.1	Connaissances et compétences	95
4.2.5.2	Scénario pédagogique	95
4.2.5.3	Exercices intégrés dans les UA.....	99
4.2.5.4	Personnalisation du parcours pédagogique	100
4.2.6	Systèmes d'inférence.....	102
4.2.6.1	Le modèle d'intelligence artificielle.....	103
4.2.7	Les cycles de conception du logiciel	108
4.3	Questions d'éthiques	109
4.4	Protocole expérimental.....	110
4.5	Processus de collecte des données.....	114
4.6	Processus d'analyse et d'interprétation des données recueillies.....	115
4.7	Conclusion	118
CHAPITRE 5 RÉSULTATS ET DISCUSSION		119
5.1	Résultats de la phase conception.....	119
5.1.1	Commentaires et suggestions du prototype du jeu	119
5.1.2	Description de l'objet pédagogique « Mission Zebran »	121
5.2	Les résultats de l'expérimentation.....	128
5.2.1	La sélection des sujets	128
5.2.2	Les sources des données recueillies	128
5.2.2.1	Les données quantitatives	128
5.2.2.2	Les données qualitatives.....	130
5.2.2.3	Les documents d'archives.....	135
5.2.3	Identification et regroupement des données signifiantes.....	136
5.2.3.1	Les données qualitatives signifiantes identifiées	137
5.2.3.1.1	Les données qualitatives signifiantes liées aux compétences en lecture	137

5.2.3.1.2	Les données qualitatives significantes reliées à la motivation	138
5.2.3.1.3	Les données qualitatives significantes reliées à l'évaluation de la conception du JVAS.....	139
5.2.3.2	Les données quantitatives significantes identifiées	141
5.2.3.2.1	Les données quantitatives significantes reliées aux compétences en lecture.....	141
5.2.3.2.2	Les données quantitatives significantes reliées à la motivation	141
5.2.3.2.3	Les données quantitatives significantes reliées à la conception du JVAS.....	142
5.2.4	Traitement et analyse des données.....	142
5.2.4.1	Traitement et analyse des données reliés aux compétences en lecture	146
5.2.4.2	Traitement et analyse des données reliés à la motivation	153
5.2.4.3	Traitement et analyse des données reliés à la conception des JVAS	154
5.2.5	Interprétation	161
5.2.5.1	Est-ce que le JVAS permet d'améliorer les compétences en lecture des sujets ?.....	162
5.2.5.2	Il est possible de concevoir un outil éducatif numérique efficace en intégrant une dimension sérieuse personnalisée à un JVA en 3D, tout en conservant la motivation de jeunes élèves	166
5.2.6	Généralisation.....	175
5.2.6.1	Mais pourquoi la vitesse de lecture augmente-t-elle ?	177
5.2.6.2	Comment et par quel moyen le JVAS améliore-t-il la mémoire lexicale des sujets ?.....	178
5.3	Contribution aux domaines de connaissances.....	181
5.4	Limites de l'étude.....	183
5.5	Conclusion.....	186
	CONCLUSION	187
	ANNEXE A Plan de gestion des risques.....	193
	ANNEXE B Base de données SQL.....	194
	ANNEXE C Certificat d'éthique	195
	ANNEXE D Niveau des exercices des UA 1-4	196
	ANNEXE E Niveau des exercices des UA 5-8.....	197
	APPENDICE A Données qualitatives pré expérimentales	198
	APPENDICE B Communication dans les médias sociaux	199
	RÉFÉRENCES	200

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Représentation de la structure de la thèse.....	4
Figure 2.1 : Représentation des EIAH.....	12
Figure 2.2 : Le logiciel « Andes ».	18
Figure 2.3 : Types de joueurs (Traduction libre) (Bartle, 1996).	20
Figure 2.4 : Représentation du « <i>flow</i> » inspirée de Csikszentmihalyi (1991).....	24
Figure 2.5 : Le modèle « <i>Cognitive-affective model of learning with media</i> » (Traduction libre) (Moreno et Mayer, 2007, p. 314).	38
Figure 2.6 : Méthode « <i>Design-Based Research</i> » (Traduction libre) (Chang <i>et al.</i> , 2021, p. 4).....	41
Figure 3.1 : Modélisation du modèle de connaissances à partir du logiciel « G-Mot	49
Figure 3.2 : Les composantes de la mémoire inspirée de Robert (2018) et de Taconnat (2012).	57
Figure 3.3 : La démarche proposée par Bouvier (Traduction libre) (Bouvier <i>et al.</i> , 2014, p. 426).	65
Figure 3.4 : Exemple d'une Q-Matrice inspirée de El-Kechai <i>et al.</i> (2015).....	67
Figure 4.1 : Méthodologie et protocole expérimental.....	74
Figure 4.2 : Processus de gestion de projet inspiré du <i>Project Management Institute</i> (2013).....	75
Figure 4.3 : « <i>Work Breakdown Structure</i> » pour la conception et l'évaluation de l'artefact pédagogique.	83
Figure 4.4 : Design générique du jeu « Mission Zebran ».	86
Figure 4.5 : Diagramme de cas d'utilisation de « Mission Zebran ».....	87
Figure 4.6 : Diagramme états/transitions du parcours du JVAS « Mission Zebran ».	89
Figure 4.7 : Représentation des personnages Bob le robot et de Claire la directrice de la sécurité.	92
Figure 4.8 : Représentation des personnages, les trois types de brigands, le mutant, le guerrier et le lutin.	93
Figure 4.9 : Représentation des douze otages.....	93
Figure 4.10 : Personnalisation du parcours pédagogique.....	102
Figure 4.11 : Représentation du moteur d'inférence de type RNA.	104

Figure 4.12 : Code du modèle « <i>Keras</i> » qui représente le RNA en langage « <i>Python</i> ».....	105
Figure 4.13 : Représentation du modèle d'inférence.	106
Figure 4.14 : Code pour l'optimisation et la validation du modèle en langage « <i>Python</i> ».	106
Figure 4.15 : Résultat de la validation du modèle.....	107
Figure 4.16 : Représentation de la méthode « <i>Design-Based Research</i> » (Traduction libre) (Chang <i>et al.</i> , 2021, p. 4).....	108
Figure 4.17 : Protocole expérimental.....	111
Figure 4.18 : Processus d'analyse et d'interprétation des données recueillies, inspiré du document Essai-1234 de l'université Téléuq.	116
Figure 5.1 : Représentation de l'interface de la scène identification du jeu « Mission Zebran ».	122
Figure 5.2 : Représentation de l'interface de la scène départ du jeu « Mission Zebran ».	122
Figure 5.3 : Représentation de l'interface de la mission instruction du jeu « Mission Zebran ».	123
Figure 5.4 : Représentation de l'interface de la scène intermédiaire du jeu « Mission Zebran ».	124
Figure 5.5 : Représentation de l'interface de la mission principale du jeu « Mission Zebran ».	125
Figure 5.6 : Représentation de l'interface de la scène finale du jeu « Mission Zebran ».	126
Figure 5.7 : Représentation de l'interface en cours de la mission principale du jeu « Mission Zebran ».	127
Figure 5.8 : Fiche d'évaluation du sujet B, fondée sur le « <i>Smileyometer</i> » de Read (2008).	131
Figure 5.9 : Fiche d'évaluation du sujet E, fondée sur le « <i>Smileyometer</i> » de Read (2008).	132
Figure 5.10 : Nombre de points par session de jeu du sujet B.....	144
Figure 5.11 : Nombre de points par session de jeu du sujet E.	145
Figure 5.12 : Nombre de sessions de jeu par semaine et par sujet.	146
Figure 5.13 : Résultats aux tests de lecture et d'attention, sujet B et E.	148
Figure 5.14 : Superposition des points obtenus par session de jeu et par sujet.	149
Figure 5.15 : Le nombre d'erreurs commises et le nombre de demandes d'aide par session de jeu pour le sujet B.	150
Figure 5.16 : Le nombre d'erreurs commises et le nombre de demandes d'aide par session de jeu pour le sujet E.	151

Figure 5.17 : Nombre d’erreurs commises et nombre de demandes d’aide par session et par sujet.....	152
Figure 5.18 : Nombre de sessions de jeu par sujet et par semaine.	153
Figure 5.19 : Résultats des données des diagnostics cognitifs, pour le sujet B.	155
Figure 5.20 : Résultats des données des diagnostics cognitifs, pour le sujet E.....	157
Figure 5.21 : Niveau du jeu versus la session de jeu par sujet.....	159
Figure 5.22 : Changement de niveau de jeu par session et par sujet.	168
Figure 5.23 : Droites des points obtenus par sujet versus les sessions de jeu.....	169
Figure 5.24 : Résultats des diagnostics cognitifs du sujet B.	171
Figure 5.25 : Résultats des diagnostics cognitifs du sujet E.	172
Figure 5.26 : Éléments convergents de l’étude inspirée de Yin (2018, p. 129).....	177

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Le modèle « Learning Mechanics & Game Mechanics » (Traduction libre) (Arnab et al., 2013, p. 18).....	32
Tableau 3.1 : Théories, concepts et méthodes intégrés dans la conception de l'artefact.	51
Tableau 3.2 : Classification des mécanismes ludiques et de l'apprentissage fondés sur les compétences réflexives de Bloom. (Traduction libre) (Lim <i>et al.</i> , 2016, p.4).	53
Tableau 4.1 : Mécanismes identifiés du JVAS « Mission Zebran », inspirée de Lim <i>et al.</i> (2016).	90
Tableau 4.2 : Analyse des mécanismes du JVAS « Mission Zebran », inspiré de Lim <i>et al.</i> (2016).	91
Tableau 4.3 : Tableau des compétences du JVAS « Mission Zebran », inspiré de Basque (2016).	96
Tableau 4.4 : Le tableau des progressions potentielles du développement des compétences du JVAS « Mission Zebran » inspiré de Basque (2016).....	97
Tableau 4.5 : L'index de l'UA m.	99
Tableau 4.6 : Q-Matrice des états de compétences.	101
Tableau 4.7 : Documents et instruments pour la collecte de données.	115
Tableau 4.8 : Données recueillies par hypothèse de recherche.	117
Tableau 5.1 : Données des prétests et sélection des sujets.....	128
Tableau 5.2 : Données des tests de lecture et d'attention par sujet.	129
Tableau 5.3 : Traces numériques du sujet B.	129
Tableau 5.4 : Traces numériques du sujet E.....	130
Tableau 5.5 : Grille comportementale du sujet B.	131
Tableau 5.6 : Grille comportementale du sujet E.....	132
Tableau 5.7 : Les niveaux de jeu de « Mission Zebran ».	158
Tableau 5.8 : Sommaire de l'interprétation des données.....	173

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

- ARCS : *Attention, relevance, confidence & satisfaction*
- AR-RAN: *Arkansas Rapid Automatized Naming Screener*
- BALE : Batterie analytique du langage écrit
- CbKST: *Competence-based knowledge space theory*
- EAI : Environnements d'apprentissage intelligents
- EAO : Enseignement assisté par ordinateur
- EIAH : Environnements informatiques pour l'apprentissage humain
- JVA : Jeu vidéo d'action
- JVAS : Jeu vidéo d'action sérieux
- MISA : Méthode d'ingénierie pédagogique des systèmes d'apprentissage
- PDKT-C : *Prerequisite-driven deep knowledge tracing*
- ReLu : *Rectified Linear unit*
- RNA : Réseaux de neurones artificiels
- SQL: *Structured Query Language*
- STI : Système de tutoriel intelligent
- UA : Unité d'apprentissage
- WebGL : *Web Graphics Library*
- WIST : *Word Identification Strategies Training*

RÉSUMÉ

L'étude vise à comprendre et modéliser les connaissances relatives à la conception de jeux vidéo sérieux personnalisés pour l'apprentissage de la lecture, dédiés aux enfants qui présentent des symptômes dyslexiques et un déficit d'attention. Par la suite, elle vise à évaluer le logiciel créé sur son efficacité pour un enseignement adaptatif selon le profil de l'élève.

Selon Cardoso-Leite et Bavelier (2014), les jeux vidéo d'action en 3D améliorent l'attention descendante. L'attention descendante est intentionnelle et correspond aux facteurs internes de l'individu notamment ses connaissances et ses objectifs (Katsuki et Constantinidis, 2014). On considère que l'attention descendante facilite l'apprentissage (Cardoso-Leite et Bavelier, 2014). De plus, plusieurs recherches ont démontré les avantages des jeux vidéo d'action en 3D en milieu éducatif, notamment sur l'amélioration de la concentration et la motivation (Bediou *et al.*, 2018 ; Blaesius et Fleck, 2015 ; Franceschini *et al.*, 2013 ; Franceschini *et al.*, 2017 ; Green et Bavelier, 2012 ; Rello *et al.*, 2015). Franceschini *et al.* (2013, 2017) ajoutent que l'usage des jeux vidéo d'action en 3D à une incidence positive sur la vitesse de lecture d'élèves dyslexiques.

Nos hypothèses de départ sont les suivantes : premièrement, il est possible de créer un jeu vidéo d'action en 3D éducatif tout en conservant la motivation des utilisateurs, deuxièmement, l'intégration d'une dimension sérieuse personnalisée à l'élève dans le jeu augmente la vitesse de lecture et diminue le nombre d'erreurs lors d'un test de lecture calibré. Dans le but de simplifier la compréhension du présent document, nous utilisons le terme « Jeu vidéo d'action sérieux », pour nommer l'objet pédagogique qui sera créé et évalué. Le projet de recherche vise dans un premier temps à développer un système informatique cognitif adapté au public cible. Dans un deuxième temps, il vise à intégrer les éléments sérieux proposés dans une copie du système. Et finalement, à évaluer le logiciel en milieu naturel pour valider son efficacité.

Mots clés :

Intelligence artificielle, Deep Knowledge Tracing, jeux sérieux, trace d'interaction, réalité virtuelle, dyslexie, déficit d'attention.

ABSTRACT

The study aims to understand and model knowledge relating to the design of personalized software for learning to read, dedicated to children who present dyslexic symptoms and attention deficit. Subsequently, it aims to evaluate the software created on its effectiveness for adaptive teaching according to the student's profile.

According to Cardoso-Leite and Bavelier (2014), 3D Action Video Games improve top-down attention. Top-down attention is intentional and corresponds to the individual's internal factors, including their knowledge and goals (Katsuki & Constantinidis, 2014). Top-down attention is considered to facilitate learning (Cardoso-Leite & Bavelier, 2014). In addition, several studies have demonstrated the benefits of 3D Action Video Games in educational settings, in particular on improving concentration and motivation (Bediou et al., 2018; Blaesius & Fleck, 2015; Franceschini et al., 2013; Franceschini et al., 2017; Green & Bavelier, 2012; Rello et al., 2015). Franceschini et al. (2013, 2017) add that the use of 3D Action Video Games has a positive impact on the reading speed of dyslexic students.

Our initial hypotheses are as follows: firstly, it is possible to create an educational 3D action video game while maintaining user motivation, secondly, the integration of a serious dimension personalized to the student into the game increases reading speed and decreases the number of errors during a calibrated reading test. In order to simplify the understanding of this document, we use the term "Serious Action Video Game" to name the educational object that will be created and evaluated.

The research project aims firstly to develop a cognitive computer system adapted to the target audience. Secondly, it aims to integrate the serious elements proposed in a copy of the system. And finally, to evaluate the software in a natural environment to validate its effectiveness.

Keywords:

Artificial intelligence, Deep Knowledge Tracing, serious games, digital trace, dyslexia, attention deficit.

INTRODUCTION

Les problèmes de lecture ont une incidence sur le décrochage scolaire (Hernandez, 2011). En particulier, pour les enfants ayant des troubles dyslexiques, car cette pathologie ralentit sévèrement le parcours académique des élèves. Les enfants dyslexiques nécessitent une intervention appropriée, parce que les compétences de base en acquisition de nouvelles connaissances passent par la lecture et l'écriture (Billard et Delteil-Pinton, 2010).

Nous nous sommes intéressés aux jeunes enfants qui rencontrent des problèmes d'apprentissages, après avoir été touchés par le témoignage de plusieurs adultes dyslexiques de notre entourage qui ont vécu des moments particulièrement difficiles durant leur parcours scolaire. Lors d'une précédente étude, qui s'intéressait à la jouabilité et l'ergonomie d'un jeu sérieux, destiné aux jeunes élèves dyslexiques du primaire (Lewis, 2018). Nous avons constaté que les méthodes de rééducation spécialisées sur la phonologie et les correspondances graphème-phonème sont efficaces (Dehaene, 2008). Or, pour minimiser les impacts négatifs, les enfants doivent avoir accès rapidement à des services adéquats. Malheureusement, ce n'est pas le cas, les ressources professionnelles en milieu scolaire sont insuffisantes (Institut de la statistique du Québec, 2010 ; Mongrain, 2015). Dans un tel contexte, les artefacts pédagogiques pourraient s'avérer intéressants. De plus, plusieurs recherches ont démontré que les jeux vidéo d'action ont une incidence positive sur les compétences reliées à la lecture, notamment, la vitesse de lecture et l'attention (Cardoso-Liete et Bavelier, 2014 ; Dale *et al.*, 2020 ; Franceschini *et al.*, 2013 ; Momi *et al.*, 2019).

La présente étude a pour mission d'évaluer une solution technologique qui permettrait de suppléer le manque de ressources spécialisées en milieu scolaire. Le projet est inspiré des résultats de l'étude de Franceschini *et al.* (2013), qui démontrent les avantages du « jeu vidéo d'action » (JVA) sur la motivation, l'attention et la vitesse de lecture de jeunes enfants dyslexiques, ainsi que la conclusion des recherches de Myre-Bisaillon (2004, 2009) qui statue que l'adaptation française du programme en rééducation pour les élèves dyslexiques « *World Identification Strategies Training* » (*WIST*) améliore la vitesse de lecture et l'identification des mots. De plus, les données morphométriques de l'étude de Momi *et al.* (2019), ont démontré que la pratique d'un JVA en 3D, peut induire des changements dans les régions du cerveau liés à l'attention et à la perception. Selon Momi *et al.*, jouer à des JVA en 3D pourrait être bénéfique, pour la rééducation fine, en particulier dans le domaine de l'attention.

En revanche, pour être efficaces, les « jeux vidéo d'action sérieux » (JVAS) doivent être adaptés au public cible et au domaine de connaissance. De plus, il faut les personnaliser à la capacité de chaque joueur-apprenant en utilisant les traces d'interaction. Or, l'adaptabilité et la personnalisation des JVAS sont complexes à réaliser. Comment peut-on y parvenir dans un contexte de recherche universitaire où les ressources sont limitées ?

Eh bien, depuis un certain nombre d'années, quelques approches ont été utilisées pour modéliser les connaissances des apprenants dans les JVAS. Les progrès récents dans le domaine de l'apprentissage profond et des réseaux de neurones artificiels ont démontré une amélioration importante des prévisions, notamment lors du diagnostic cognitif des apprenants (Chen *et al.*, 2018 ; Piech *et al.*, 2015). LeCun *et al.* (2015) font remarquer également, l'avantage d'utiliser les réseaux profonds pour la personnalisation des JVAS, puisqu'ils utilisent plusieurs niveaux d'abstraction pour la reconnaissance de la parole et des objets. Selon Chen *et al.* (2018), le modèle « *Prerequisite-driven deep knowledge tracing* » (PDKT-C) fondé sur le « *Deep knowledge tracing* » de Piech *et al.* (2015), en combinaison avec le modèle de hiérarchisation des prérequis « *Competence-based knowledge space theory* » (CbKST) d'Augustin *et al.* (2013), est prometteuse. Le modèle PDKT-C améliore la précision des prévisions et permet de hiérarchiser les niveaux d'un domaine de connaissances (Chen *et al.*, 2018). Nous nous sommes inspirés du modèle PDKT-C lors de la modélisation et de la conception de l'outil pédagogique. Nous utilisons également une Q-Matrice pour modéliser la structure de compétences. Cette stratégie permet de faciliter le travail de représentation du domaine de connaissances (Lewis, 2018).

Nous croyons que le projet de recherche est original et contribue à l'avancement des connaissances, puisqu'il propose de comprendre la démarche à suivre pour concevoir et intégrer d'une manière efficace une composante sérieuse personnalisée dans un JVA en 3D. Par la suite, évaluer si l'ajout de la dimension sérieuse personnalisé à l'apprenant, avec des techniques récentes d'apprentissages machines est efficace, c'est-à-dire améliore la vitesse de lecture, diminue le nombre d'erreurs et conserve la motivation des joueurs. Pour valider nos hypothèses, nous évaluons la pertinence et l'efficacité de l'objet pédagogique dans une expérimentation de type étude de cas multiple en milieu naturel. Pour ce faire, nous mesurerons à l'aide de tests calibrés le niveau d'attention et de compétences en lecture des sujets avant et après l'intervention. De plus, les données qualitatives sur la motivation des utilisateurs sont recueillies lors d'entrevues ouvertes et par l'observation des comportements durant l'expérimentation. Finalement, les résultats de l'étude seront présentés dans de futurs articles de périodiques universitaires.

Ce document est constitué de cinq chapitres en plus de la conclusion, tel qu'illustré à la figure 1.1. Le premier chapitre présente les conséquences du problème identifié, énonce le but et les objectifs à atteindre et expose nos hypothèses de départ et la question de recherche.

Le deuxième chapitre brosse un tableau de l'état des connaissances et des règles existantes dans le domaine des « environnements informatiques pour l'apprentissage humain » (EIAH). Au départ, la revue présente un historique des EIAH et par la suite, décrit les caractéristiques des jeux sérieux éducatifs dédiés à l'apprentissage de la lecture pour les jeunes enfants qui éprouvent des difficultés d'apprentissage. Finalement, ce chapitre identifie les enjeux liés au projet de recherche. Le troisième chapitre précise notre posture épistémologique, notre démarche de recherche, ainsi que les concepts et théories utilisés qui permettent de répondre à la question de recherche. Le quatrième chapitre expose la démarche et les méthodes employées lors de la création et de l'évaluation de l'objet pédagogique. La démarche trace le parcours évolutif du développement de chaque module, qui compose l'objet numérique, notamment la modélisation du dossier pédagogique et celui du modèle du JVAS, la conception du système à base de règles et son intégration dynamique dans l'objet. Par la suite, nous présentons le protocole expérimental qui explique les modalités utilisées lors de l'expérimentation ainsi que les règles d'éthique qui sont mises en place. Le chapitre se conclut par la présentation du mécanisme de collecte de données qualitatives et quantitatives. Le cinquième chapitre décrit l'outil pédagogique conçu pour cette recherche, valide et présente les résultats de l'expérimentation, justifie la contribution de l'étude à l'avancement des connaissances et met en évidence ses limites. Finalement, une conclusion générale dans laquelle nous ouvrons une discussion sur l'apport des résultats de la thèse et nos recommandations sur de nouvelles pistes de recherches complète cette étude.

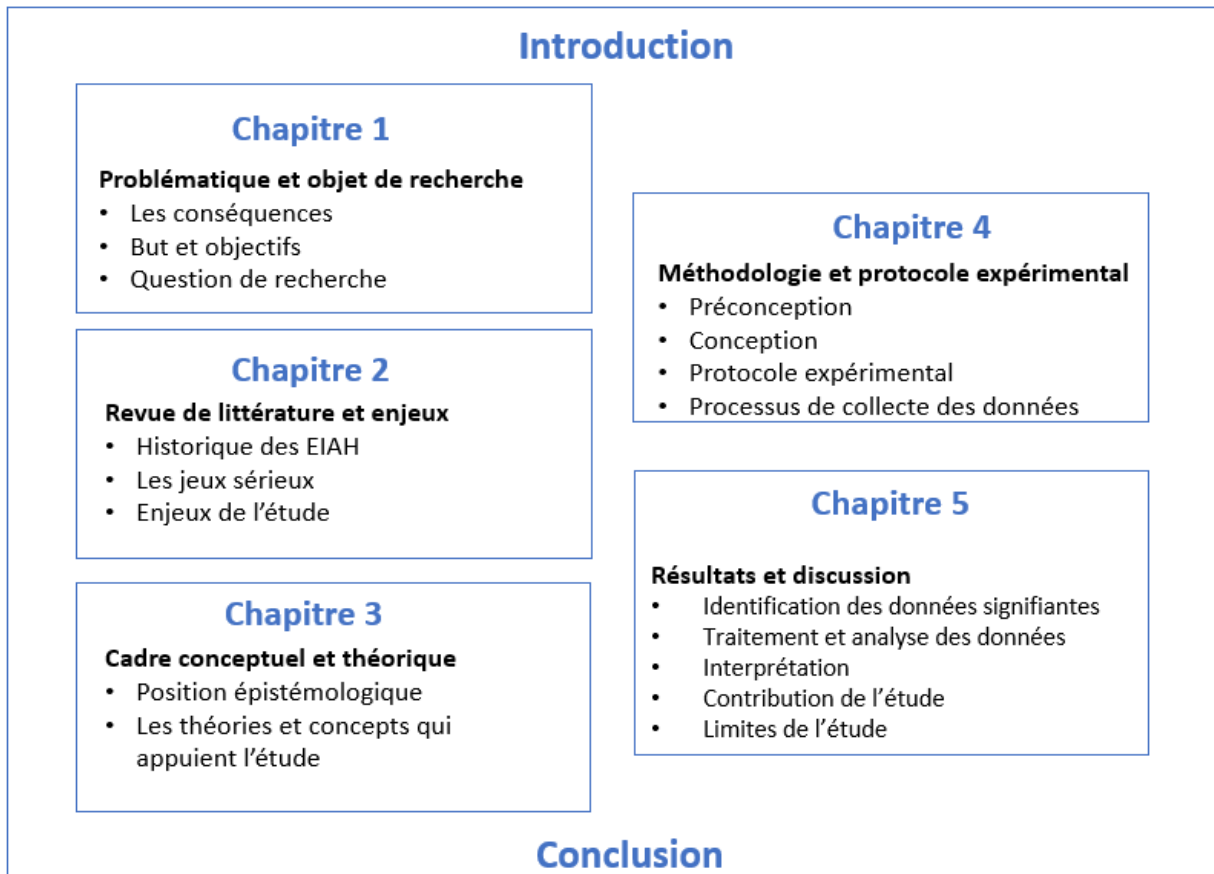


Figure 1.1 : Représentation de la structure de la thèse.

CHAPITRE 1

PROBLÉMATIQUE ET OBJET DE RECHERCHE

Dans ce chapitre, nous décrivons la problématique qui est à l'origine de cette recherche ainsi que les conséquences qu'elles provoquent sur la population. Par la suite, nous présentons le but et les objectifs de l'étude, ainsi que la question de recherche fondée sur nos hypothèses de départ.

1.1 Problématique

Selon l'Institut de la statistique du Québec (2019), en 2016-2017, « le taux annuel des Québécois âgés de 15 à 29 ans, qui sont sortis du système d'éducation sans diplôme ni qualification était de 13 % » (p. 74). Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette situation, notamment les troubles de la lecture. Les résultats de l'étude effectuée par Hernandez (2011) démontrent que les élèves qui ne maîtrisent pas la lecture en 3e année du primaire ont quatre fois plus de risque de terminer leur parcours scolaire sans diplôme.

L'American Psychiatric Association (2020) estime que :

... 5 à 15 % des enfants d'âge scolaire rencontrent des difficultés d'apprentissage. On estime que 80 % des personnes souffrant de troubles de l'apprentissage souffrent en particulier de troubles de la lecture (communément appelés dyslexie). On estime qu'un tiers des personnes ayant des troubles d'apprentissage souffrent également d'un trouble d'hyperactivité avec déficit de l'attention (Traduction libre) (p. 1).

Billard (2016) indique que la dyslexie est d'origine neurologique et permanente, elle réduit les compétences phonologiques des individus, et peut affecter la mémoire lexicale. Cette pathologie est souvent associée avec un déficit d'attention (*L'American Psychiatric Association*, 2020). Khaleghi *et al.* (2022) ajoutent que la dyslexie est l'un des troubles d'apprentissage les plus fréquents. Pour sa part, le déficit d'attention est présent lorsque l'élève rencontre des difficultés de concentration et ne porte pas assez attention aux détails (*L'American Psychiatric Association*, 2020).

L'apprentissage de la lecture est une activité essentielle dans le parcours scolaire (Billard et Delteil-Pinton, 2010). Ronimus *et al.* (2019) ajoutent que les élèves avec des difficultés d'apprentissage requièrent un entraînement personnel et rapide. Pour bénéficier d'un programme de rééducation dans les établissements scolaires, l'enfant doit avoir été diagnostiqué formellement. Or, comme le font remarquer Soares-Boucauda *et al.* (2007) et Vernhes *et al.* (2014), le problème majeur du diagnostic formel est que pour qu'un enfant soit considéré comme dyslexique, il doit avoir un retard de deux ans en lecture par rapport à son groupe d'âge. Cette attente est trop longue et ne permet pas d'agir assez tôt pour minimiser les impacts négatifs (Nicolson *et al.*, 2010). De plus, les ressources pour prendre en charge les élèves dyslexiques dans les classes sont insuffisantes et même absentes en région (Institut de la statistique du Québec, 2010 ; Mongrain, 2015 ; Lassault et Ziegler, 2018). Pourtant, comme le mentionnent El Kah et Lakhouaja (2018), les élèves qui éprouvent des difficultés d'apprentissage ont besoin d'outils spécialisés pour surmonter leurs difficultés scolaires. Sans oublier, le nombre important d'enfants dans le monde qui n'ont pas accès à l'enseignement par manque de ressources. Selon les Nations Unies (2022), « plus de 260 millions d'enfants et d'adolescents n'étaient pas scolarisés en 2018 — soit près d'un cinquième de la population mondiale dans ce groupe d'âge ».

La problématique identifiée est qu'il y a des méthodes de rééducation efficaces qui sont disponibles pour les enfants, cependant ils doivent patienter entre 18 et 24 mois avant d'avoir accès à du support spécialisé. Ce temps d'attente, principalement dû à un manque de ressources, entraîne des conséquences négatives sur le développement cognitif des élèves, sans négliger, le retard scolaire et la diminution de l'estime de soi.

Le manque de ressources dans plusieurs régions est problématique, néanmoins comme le font remarquer McTigue et Uppstad (2018), l'utilisation d'outils pédagogiques numériques permettrait à un bénévole ou un parent de superviser les jeunes apprenants, de surveiller leur progression et de favoriser la discussion pour ainsi améliorer la rétention des acquis. On peut facilement imaginer l'impact social et financier d'une telle amélioration. La mission de l'étude est d'explorer le potentiel des logiciels pédagogiques pour pallier le manque de ressources spécialisées en éducation.

1.2 Conséquences

La principale conséquence du manque de ressources spécialisées en éducation est l'illettrisme. L'illettrisme a des contrecoups sociaux et financiers, notamment sur l'estime de soi et les coûts des finances publiques (OCDE, 2011). Lefebvre (2016) ajoute que l'apprentissage de la lecture et de l'écriture a une incidence positive sur la santé des individus, mais aussi sur son insertion sociale et ses possibilités de carrière. Tandis que, l'OCDE (2011) mentionne que dans certains pays en développement, le déficit d'éducation accroît le cycle de la pauvreté.

1.3 But et objectifs de l'étude

Le but de l'étude est d'approfondir les connaissances sur le sujet et d'énoncer des lignes directrices en appui au développement de futurs projets de recherche, impliquant la conception de logiciels personnalisés favorisant l'apprentissage de la lecture auprès de jeunes enfants, qui présentent des symptômes reliés à la dyslexie, et un déficit d'attention. Les objectifs sont de valider la démarche de conception de l'outil pédagogique ainsi que de valider son efficacité. L'efficacité du JVAS en 3D est mesurée selon quatre critères : la vitesse de lecture, le nombre d'erreurs commises, l'attention et la motivation. Nous validons la pertinence et l'efficacité du logiciel en milieu naturel dans une expérimentation. Nous tenons compte également lors de la collecte et de l'analyse des données, des interactions entre les acteurs, puisque l'étude se déroule dans un contexte d'apprentissage en milieu naturel.

Le parcours du projet de recherche s'effectue par étape, premièrement nous créons un JVA en 3D adapté au public cible, par la suite nous modélisons une méthode de rééducation « la dimension sérieuse » personnalisée à l'apprenant qui est intégrée dans une reproduction adaptée du JVA en 3D. Finalement, nous évaluons dans une expérimentation l'efficacité de l'objet pédagogique.

1.4 Hypothèses de départ

Selon nous, il est possible de concevoir un outil pédagogique numérique en intégrant une dimension sérieuse personnalisée à un JVA en 3D, tout en conservant la motivation de jeunes élèves qui présentent des symptômes reliés à la dyslexie et un déficit d'attention. Par ailleurs, le JVAS permet d'améliorer les compétences en lecture de notre public cible lors d'un test calibré de lecture.

1.5 Question de recherche

Comment intégrer une composante sérieuse personnalisée pour l'amélioration des compétences en lecture d'élèves présentant des symptômes de dyslexies, et un déficit d'attention dans un JVA en 3D, tout en conservant la motivation des enfants dans un contexte d'apprentissage en milieu naturel ?

1.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous décrivons la problématique liée aux troubles de l'apprentissage de la lecture et nous énonçons ses conséquences pour les jeunes enfants. Par la suite, nous formulons les objectifs de l'étude, nos hypothèses de départ et la question de recherche.

Nous poursuivons avec le chapitre 2, revue de littérature et enjeux, qui établit l'état de la situation actuelle du domaine de connaissance du jeu sérieux en éducation. Les résultats permettront d'approfondir les connaissances et de présenter les lignes directrices en appui au développement de notre projet de recherche impliquant la conception d'un logiciel personnalisé favorisant l'apprentissage d'élèves du premier cycle du primaire rencontrant des difficultés en lecture.

CHAPITRE 2

REVUE DE LITTÉRATURE ET ENJEUX

Ce chapitre décrit l'état des lieux des jeux sérieux éducatifs qui sont un produit des EIAH. Les EIAH sont relativement récents et ont pour objectif de favoriser le transfert de connaissances à un apprenant. Ce qui caractérise ce type d'environnement, c'est qu'il y a des usagers (apprenants, enseignant, parents, etc.), mais aussi un support informatique (ordinateur, didacticiel, moteur d'inférence et interface) doté d'une intelligence artificielle qui s'adapte à l'utilisateur. Selon Alvarez et Djaouti (2010), le jeu sérieux se définit comme « une application informatique, dont l'intention initiale est de combiner, avec cohérence, à la fois des aspects sérieux, tels que l'enseignement et l'apprentissage, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo » (p. 15). Comment cette relation mutuelle entre les usagers et le support informatique fonctionne-t-elle ? En réalité, elle est relativement complexe et en pleine mutation, puisque les technologies numériques évoluent rapidement.

Le développement d'un jeu vidéo sérieux comme le définissent Alvarez et Djaouti (2010), est onéreux et complexe, sans oublier que les jeux sérieux n'ont pas profité des avancées des jeux commerciaux, par manque de budget (Göbel *et al.*, 2016 ; Kickmeier-Rust *et al.*, 2011). Or, comme le font remarquer plusieurs chercheurs (Connolly *et al.*, 2012 ; Gris et Bengtson, 2021 ; Herbert *et al.*, 2018 ; McTigue et Uppstad, 2018) peu d'études ont été réalisées sur l'efficacité pédagogique des jeux sérieux spécifiques à l'amélioration de la lecture. Les auteurs recommandent que de nouvelles études soient entreprises pour valider le potentiel éducatif des jeux sérieux. Dans un tel contexte, la revue a pour objectif de faire le point sur la situation actuelle du domaine de connaissance des EIAH en particulier sur les jeux sérieux dédiés à l'apprentissage de la lecture et personnalisés à l'apprenant. Le résultat de la revue permettra d'identifier les mécanismes à intégrer lors de la conception de l'outil éducatif proposé.

2.1 Méthodologie de la revue

En premier lieu, nous avons effectué une recherche documentaire pertinente à cette étude, à travers les vingt-neuf bases de données, qui sont offertes dans l'outil de recherche « *Sofia* ». Les documents devaient être disponibles en langue française ou anglaise. Nous limitons la recension aux publications scientifiques évaluées par des pairs. Finalement, pour la deuxième partie de la revue, nous conservons les articles reliés au champ d'études des jeux sérieux spécifiques aux applications pédagogiques. Pour ce dernier critère, nous avons sélectionné les articles à la lecture des titres et des résumés.

La première partie de la revue présente un bref historique des EIAH et vise à mettre en contexte le travail de recherche. La deuxième partie est consacrée aux articles sur les jeux sérieux et plus particulièrement ceux dédiés à l'apprentissage de la lecture pour les jeunes enfants. Dans cette partie, nous regroupons le sommaire des informations recueillies par thème : motivation et engagement, attention, personnalisation, conception et intégration de la dimension pédagogique et méthodologie d'évaluation. Nous brossons également un tableau des limites et des risques associés à l'usage des jeux sérieux. Enfin, nous concluons en mettant l'accent sur les meilleures pratiques à mettre en place lors de la conception d'un JVAS propre à l'enseignement de la lecture, pour les jeunes enfants qui présentent des symptômes reliés à la dyslexie et des troubles de l'attention.

2.2 Historique des EIAH

Les premières expériences pédagogiques utilisant l'ordinateur ont été réalisées durant les années 60 par quelques passionnés de pédagogie des langues et d'informatique (Sleeman et Brown, 1982). L'évolution technologique à travers ses capacités de calcul et de traitement automatisé a permis de développer « l'enseignement assisté par ordinateur » (EAO), principalement comme outil de contrôle et de rétroaction (Bourdeau *et al.*, 2014). Kimball (1982) ajoute qu'à cette époque, les chercheurs ont sous-estimé les coûts et la complexité reliés à la conception d'EAO, ainsi que surestimé l'intérêt que leur portent les apprenants.

Par la suite sont apparus les « environnements d'apprentissage intelligents » (EAI) qui ont progressivement remplacé les EAO. Ces derniers présentaient des faiblesses importantes, principalement au niveau de la communication entre l'interface et les étudiants. Les interfaces des EAO offraient une rétroaction qui n'était pas adaptée à la situation d'apprentissage de l'étudiant. Les EAO permettent aux apprenants d'explorer, de résoudre des problèmes, d'expérimenter, et de s'initier à l'ordinateur. En revanche, il ne peut diriger un étudiant qui présente des difficultés d'apprentissage (Stevens *et al.*, 1982). Ce qui différencie un EAI à un EAO c'est son adaptabilité à l'apprenant. Un environnement intelligent peut modifier ses interactions pour chaque apprenant à partir de données provenant du système.

Dans les années 60 et 70, Seymour Papert ancien étudiant de Piaget, conçoit le projet « *Logo* », qui intègre les théories de l'apprentissage et le courant cognitiviste en intelligence artificielle (Bourdeau *et al.*, 2014 ; Sleeman et Brown, 1982). Sleeman et Brown (1982) font remarquer que les systèmes disponibles sont incomplets, car ils ne représentent qu'une conceptualisation particulière du domaine de connaissances, et les interactions sont trop limitées. Selon Sleeman et Brown, le champ de recherche doit se concentrer sur l'amélioration de la convivialité des interfaces utilisateur, le développement d'un modèle de l'apprenant plus complet et l'élaboration de moteurs d'inférence qui permet l'adaptabilité à l'apprenant.

Par la suite, les « systèmes de tutoriels intelligents » (STI) ont fait leur apparition. Le point de départ du développement des STI modernes remonte à 1987, après la publication du livre de Wenger « *Artificial Intelligence and Tutoring Systems: Computational and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge* » (Nkambou *et al.*, 2010). Néanmoins, la recherche et les progrès dans le domaine des EIAH n'ont été possibles qu'en raison des découvertes importantes réalisées en intelligence artificielle, et par le perfectionnement technologique des dernières années. Dans le but de contextualiser les progrès qui ont été réalisés dans la conception de STI dynamiques, comme les JVAS, la section 2.2.1 décrit les avancées technologiques réalisées depuis les années 80.

2.2.1 Modèle conceptuel des environnements STI

La raison d'être d'un EIAH est d'offrir à chaque apprenant un environnement personnalisé dans le but d'améliorer son apprentissage. Selon Woolf (2009), un STI doit pouvoir effectuer les tâches demandées, analyser et évaluer les différentes solutions des apprenants, et adapter le système en fonction du niveau de connaissances et du style cognitif de l'apprenant, c'est-à-dire sa manière d'apprendre. Or, développer un modèle computationnel qui améliore l'apprentissage est relativement complexe et requiert l'apport de plusieurs disciplines (Nkambou *et al.*, 2010). La combinaison de connaissances en éducation, en sciences informatiques et en sciences cognitives est essentielle (Woolf, 2009). La nature pluridisciplinaire de la conception des STI génère une multiplicité de points de vue qui peuvent être problématiques. Cette situation se retrouve dans bien des projets, toutefois si elle est bien gérée elle pourrait s'avérer être un avantage, notamment par sa complétude.

En général, il y a quatre éléments qui composent les environnements STI (Nkambou *et al.*, 2010 ; Sleeman et Brown, 1982 ; Woolf, 2009) : le modèle du domaine, le modèle de l'apprenant, le modèle du tuteur (nommé aussi pédagogique) et finalement le modèle de communication (l'interface utilisateur). Lorsqu'un STI est de type jeu sérieux, un modèle du joueur est ajouté, figure 2. 1.

Depuis le début des années 2000, les recherches sur les STI se sont accentuées dans le but d'améliorer plusieurs aspects de leurs composantes, entre autres l'adaptabilité et la personnalisation (Bourdeau *et al.*, 2014). Bref, chaque module imbriqué dans un STI a ses propres caractéristiques, et a bénéficié d'amélioration importante. Afin de décrire les progrès qui permettent aux éléments d'interagir de manière dynamique, nous présentons un sommaire de chaque module qui sert à concevoir un STI et par la suite, nous décrivons les interactions entre les modules.

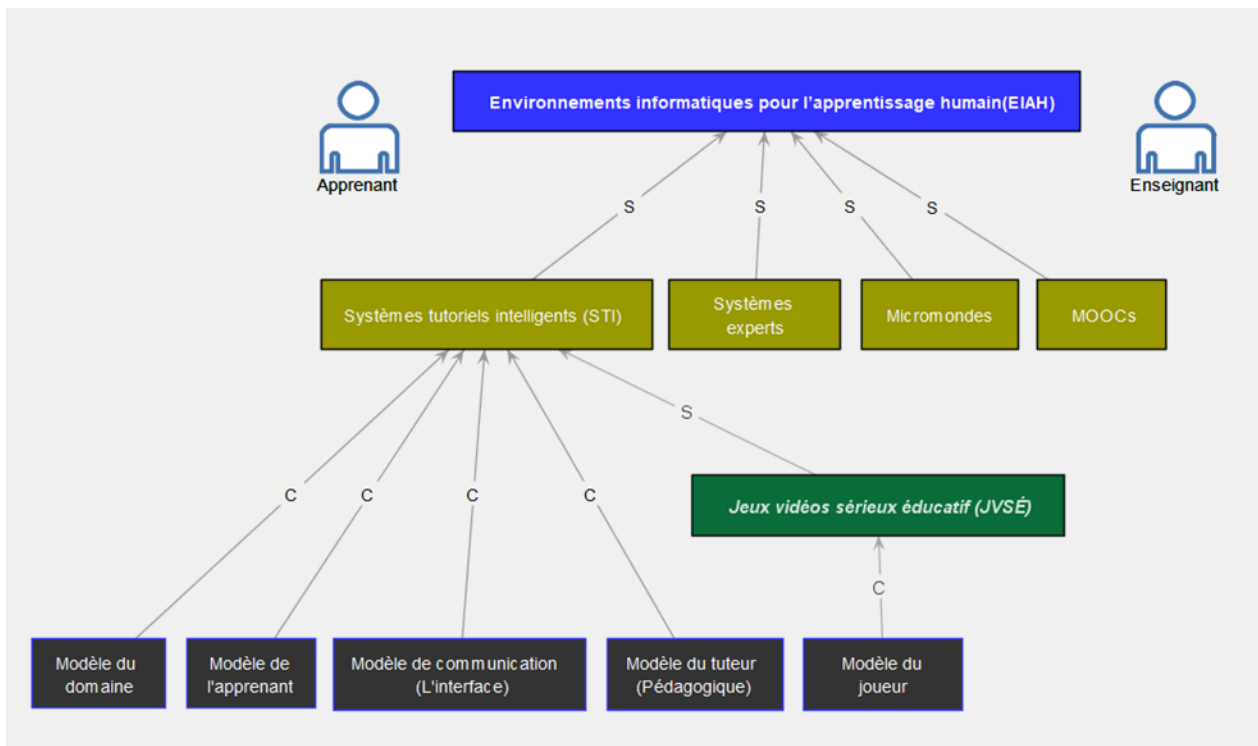


Figure 2.1 : Représentation des EIAH.

2.2.1.1 Modèle du domaine

Le premier modèle est celui du domaine, celui qui correspond au champ d'études, c'est-à-dire aux connaissances à acquérir dans un cours donné, par exemple de mathématique, d'histoire ou de philosophie. Le modèle du domaine utilise les théories de l'enseignement et de l'apprentissage spécifiques au domaine de connaissance (Kozanitis, 2005). Selon Woolf (2009), les concepteurs qui développent les modèles pédagogiques utilisent les paradigmes éducatifs selon les besoins spécifiques du public cible et du domaine de connaissances, il n'est pas rare de rencontrer plus d'un paradigme éducatif dans un même STI. Les principaux courants théoriques de l'enseignement et de l'apprentissage sont : le behavioriste, le cognitiviste, le constructiviste et le socioconstructiviste (Kozanitis, 2005).

Dans les années 80, les systèmes de connaissances du domaine étaient fondés sur les connaissances des experts du domaine (Stevens *et al.*, 1982). Stevens *et al.* présentent dans leur article le scénario à base de connaissances « *Why system* » modélisé avec le formaliste « *Scrip* » qui décrit un phénomène en énumérant séquentiellement une série d'événements. Selon Stevens *et al.* (1982), « *Why system* » peut établir la cause d'une omission, par exemple l'oubli d'un événement par l'apprenant, en revanche, il ne peut pas expliquer une mauvaise interprétation du phénomène. Stevens *et al.* mentionnent qu'il y a plusieurs façons d'expliquer et même de percevoir un phénomène. Par exemple, les auteurs font remarquer l'importance de présenter les différents points de vue et possibilités qui permettent l'instanciation. De plus, Stevens *et al.*, ajoutent que la représentation d'un phénomène doit être interactive au lieu d'être ordonnée et séquentielle.

Grandbastien et Labat (2006) indiquent qu'au début des années 90, l'apparition en informatique du paradigme « objet » a sûrement été un des éléments importants dans l'avancement des STI. Entre autres, le paradigme « objet » est modulaire ce qui simplifie la gestion et la maintenance du code, et facilite la réutilisation des classes, ce qui réduit les coûts. Le paradigme « objet » est utilisé pour l'apprentissage, on parle ici d'objets pédagogiques. Selon Iles *et al.* (2008), les objets pédagogiques désignant l'ensemble des informations, section de cours, etc. qui ont comme fonction de diffuser des concepts éducatifs.

Par ailleurs, Bourdeau *et al.* (2014) indiquent qu'il y a deux composantes dans la modélisation d'un domaine de connaissances ; le contenu du domaine c'est-à-dire les théories et concepts reconnus et le modèle expert qui correspond à la manière de résoudre un problème dans ce champ d'études. La modélisation du domaine peut se faire à travers plusieurs formalismes, entre autres les « Réseaux sémantiques » et les « Systèmes à base de règle ». Woolf (2009) ajoute qu'un système expert peut comparer les solutions d'apprentissage avec des solutions idéales. Or, comme le fait remarquer Woolf, un système expert est relativement complexe et requiert une analyse cognitive de chaque tâche pour reproduire le comportement de l'expert.

2.2.1.2 Modèle de l'apprenant

Le deuxième modèle d'un STI est celui de l'apprenant. La modélisation du modèle de l'apprenant a pour spécification d'identifier les caractéristiques de l'apprenant dans le but de personnaliser le plan du contenu pédagogique. Ce module intègre généralement un diagnostic cognitif de l'étudiant, pour faire le point sur ses connaissances actuelles et sur sa façon de penser et de raisonner. Stevens *et al.* (1982) ajoutent que la disponibilité d'un système de représentations multiples permet d'identifier un manque de perspectives sur « les erreurs » d'un élève. Un système de représentations multiples peut faire usage de représentations visuelles, verbales, auditives, symboliques et même kinesthésiques. Or, un tel système est beaucoup plus complexe à concevoir. Stevens *et al.*, indiquent également qu'il est important de connaître les raisons de la mauvaise compréhension des étudiants et le pourquoi de l'erreur. Un bon enseignant connaît les erreurs fréquentes que font les étudiants, et il maîtrise également les outils (exemples, exercices, etc.) qui lui permettent de modifier la compréhension des concepts des étudiants. Dans un tel contexte, un STI doit comprendre les concepts et théories d'un domaine de connaissances. De plus, le regroupement des erreurs de l'apprenant permet d'élaborer des patrons qui identifient des problèmes de compréhension plus profonds comme inverser des concepts (Bourdeau *et al.*, 2014).

Selon Bourdeau *et al.* (2014), le modèle de l'apprenant se compose de deux éléments :

1. L'information générale sur l'apprenant qui inclut ses résultats, sa façon de résoudre un problème, le temps nécessaire pour compléter chaque section du cours, etc. Ces données seront mémorisées dans le module comportemental de l'apprenant.
2. Le diagnostic cognitif, c'est-à-dire l'état des connaissances générales qui ont été transférées à l'apprenant. Ces données seront mémorisées dans le module épistémique de l'apprenant.

Grandbastien et Labat (2006) indiquent que l'élaboration du modèle de l'apprenant passe par trois étapes : la conception, l'initialisation et l'acquisition. Lors de l'étape de la conception, il faut développer le modèle en indiquant tous les critères et les informations qui seront nécessaires à son élaboration. Ensuite, il sera initié avec les caractéristiques de l'apprenant et des experts. Il est possible que le modèle de départ soit « vide », la base de données du modèle sera élaborée à partir des traces recueillies durant le parcours des apprenants, ce qui rend les données plus fiables. La dernière étape est celle de l'acquisition des valeurs du modèle et de sa mise à jour en continu pour chaque apprenant. Cette mise à jour se fait à travers les traces recueillies, qui sont analysées par différents procédés informatiques et mémorisées.

Pour Bourdeau *et al.* (2014), le modèle de l'apprenant est très important dans un STI puisque ses données seront utilisées dans le modèle pédagogique. Les données permettront d'adapter l'outil pédagogique aux besoins de l'apprenant. Bourdeau *et al.*, distinguent et citent quatre approches de modélisation de l'apprenant dans un STI.

1. L'approche « *Overlay* » qui chevauche le modèle de connaissances de l'apprenant à celui de l'expert, ensuite analyse les divergences et produit un diagnostic cognitif. Cette approche permet d'évaluer le niveau de connaissance de l'apprenant par rapport à l'expert du domaine.
2. L'approche « de la simulation des erreurs » qui est basée sur un catalogue des erreurs commises par les apprenants. Chaque faute est reliée à un concept, qui est par la suite analysé pour comprendre les difficultés de l'apprenant. Avec ces données il est possible d'apporter des modifications.
3. L'approche « *model-tracing* » qui est liée au diagnostic comportemental sert à identifier et prévoir les actions de l'apprenant, ce qui permet une meilleure rétroaction. Pour ce faire, il faut définir des règles et les modéliser pour chaque comportement prévu.
4. L'approche « à base de contraintes » qui est fondée sur ce qui est interdit de faire lors d'un exercice ou d'une résolution de problème. On définit un ensemble de règles pour chaque type d'action de l'apprenant. Dans ce modèle on évalue les résultats de l'apprenant avec une banque de données d'interdits, on s'assure que l'apprenant respecte les règles préétablies. Cette approche peut faire partie du diagnostic cognitif comportemental et l'analyse des solutions des étudiants se fait en les comparant à une banque de données de contraintes.

Il importe de souligner que d'autres approches ont été présentées, notamment l'approche « du modèle ouvert à l'apprenant », qui offre aux usagers, la possibilité à travers une interface de visualisation, d'avoir accès aux progrès réalisés par l'apprenant durant son parcours (Kay, 2001). Ainsi que l'approche par système auteur « *Cognitive Tutor Authoring Tools* » proposé par Alevan *et al.* (2016) qui est une amélioration de l'approche de la simulation du comportement cognitif. Ces outils comparent les résultats des apprenants à une collection de modèles cognitifs qui ont été réalisés d'avance. Cette approche diminue les coûts et ne demande pas de formation en programmation pour les réaliser (Bourdeau *et al.*, 2014).

Pour terminer, Woolf (2009) mentionne deux techniques encourageantes pour capturer des informations sur les apprenants lors des interactions apprenants-machine. Le « *Data mining* » qui se définit par l'extraction de connaissances dans les données ainsi que le « *Machine learning* » qui représente l'apprentissage statistique en intelligence artificielle.

2.2.1.3 Modèle du tuteur

En 1984, Bloom publie un article qui démontre la supériorité du tuteur (humain) par rapport à l'enseignement classique en classe. Les recherches dans le domaine de l'intelligence artificielle se sont concentrées sur ce modèle (Bourdeau *et al.*, 2014 ; Nkambou *et al.*, 2010 ; Woolf, 2009).

Le modèle du tuteur contient les normes et les processus pour adapter les activités pédagogiques à l'apprenant. Son rôle principal est d'aider l'apprenant dans son processus d'apprentissage et de l'évaluer pour ainsi s'adapter à lui durant son cheminement. Il est essentiel que le tuteur puisse communiquer avec les bases de données du modèle du domaine et de celui de l'apprenant. C'est l'engin d'inférence dans un STI (Bourdeau *et al.*, 2014).

Mais comment développer un tuteur artificiel intelligent qui pourrait résoudre les problèmes présentés, évaluer la progression et le niveau de connaissances de l'apprenant tout en offrant le soutien nécessaire aux moments opportuns ?

Depuis les années 70, les recherches en intelligence artificielle se sont concentrées à ajouter de l'intelligence aux tuteurs artificiels. Au départ, les systèmes étaient des environnements d'exploration sans module spécifique sur les objectifs des apprenants, leurs motivations, leurs performances, et sans possibilité de modifier le comportement des apprenants. On tenait pour acquis qu'un étudiant est motivé intrinsèquement, par ses propres découvertes. De plus, les tuteurs de l'époque n'avaient aucune caractéristique pour aider, motiver un apprenant qui avait des problèmes de compréhensions. Ces systèmes offrent aux apprenants d'explorer, de résoudre des problèmes, d'expérimenter, et de s'initier à l'ordinateur. Or, il ne peut diriger un étudiant qui présente des difficultés d'apprentissage (Stevens *et al.*, 1982).

Les recherches sur les STI se sont poursuivies en mettant l'accent sur l'importance de développer des tuteurs qui transmettent des heuristiques de résolution de problèmes, et qui choisissent des exemples appropriés à l'apprenant qui présente des problèmes de compréhension (Kimball, 1982). Selon Wenger (1987), un tuteur comprend l'ensemble des stratégies pédagogiques, il possède généralement un moteur d'inférence construit à partir de techniques d'apprentissage machine. Le moteur est relié aux autres modules du système pour permettre une sélection dynamique du contenu pédagogique selon les besoins spécifiques de chaque apprenant. De plus, le tuteur doit fournir de l'aide et une rétroaction adéquate à l'apprenant (Bourdeau *et al.*, 2014). On retrouve plusieurs modèles de tuteur dans les STI, notamment l'enseignement socratique employé dans le système « *SOPHIE* » (Wenger, 1987). Le système « *SOPHIE* » a été développé par John Seely Brown et Richard Burton en 1973. Selon Wenger (1987), le système « *SOPHIE* » permet à un élève à travers une série de questions en langage naturel de faire l'apprentissage de circuits électroniques. Nous retrouvons également l'apprentissage par résolution de problème utilisé dans le logiciel « *Andes* », spécialisé dans l'apprentissage des problèmes en physique et qui est fondé sur le « *model-tracing* » (VanLehn *et al.*, 2010).

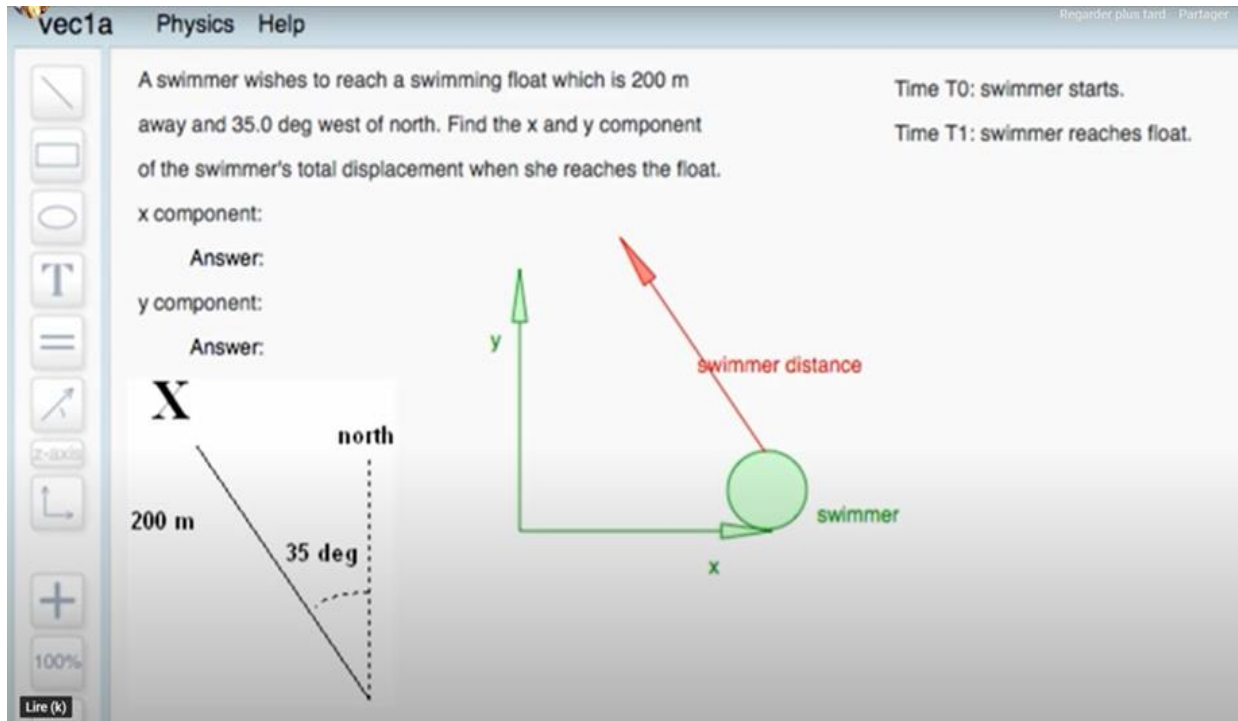


Figure 2.2 : Le logiciel « Andes »¹.

Selon VanLehn *et al.* (2010), « Andes » est un système ouvert qui permet plusieurs possibilités pour élaborer une solution dans le domaine de la physique. « Andes » offre une rétroaction immédiate, en indiquant en vert une bonne solution et en rouge une erreur, tel qu'illustré à la figure 2.2. VanLehn *et al.*, mentionnent également que le système « Andes » permet d'identifier les erreurs d'inattention, comme « utiliser une variable indéfinie dans une équation, ou en laissant de côté les unités d'un nombre dimensionnel » (Traduction libre) (p. 424). Lorsque le logiciel interprète une faute comme une erreur de raisonnement, il l'identifie en rouge (VanLehn *et al.*, 2010). VanLehn *et al.*, ajoutent que l'apprenant peut demander de l'aide au logiciel, celui-ci lui indiquera des indices et des suggestions selon le type d'erreur identifié, entre autres de vérifier certaines notions, de préciser un concept en langage naturel et même d'expliquer comment corriger une erreur.

¹ Récupéré le 20 octobre 2020 du site <http://www.andestutor.org/>

Selon VanLehn *et al.* (2010), « *Andes* » offre une rétroaction sur la réponse de l'apprenant et non pas à chaque étape du développement de la solution, ce qui permet plus de liberté à l'apprenant. Le moteur d'inférence intégré dans le logiciel « *Andes* » est constitué d'un réseau bayésien pour interpréter l'état de connaissances de l'apprenant en tenant compte des observations recueillies lors de ses interactions avec le tuteur, par la suite les règles intégrées dans l'engin déterminant la prochaine étape (VanLehn *et al.*, 2010).

Pour conclure, Bourdeau et Grandbastien (2011) mentionnent l'importance de tenir compte de l'état émotionnel de l'apprenant, notamment la motivation et la frustration. Or, l'adaptation aux états émotionnels des étudiants demeure un enjeu important dans la modélisation du processus de raisonnement du tuteur. Entre autres, parce qu'il est difficile de reconnaître un signe avant-coureur de démotivation.

2.2.1.4 Modèle du joueur

Le modèle du joueur se retrouve uniquement dans les jeux vidéo. La raison d'être de cet élément est de comprendre ce qui motive le joueur à persévérer dans le jeu. Comme le fait remarquer Lavigne (2012), un jeu doit avant tout être amusant sinon les joueurs vont l'abandonner. Selon Lavigne, les jeux sérieux se composent de deux dimensions, le ludique et le sérieux, et leurs intégrations dans le scénario s'avèrent complexes, puisque les deux dimensions s'opposent dans la culture populaire. Or, la ludification de l'outil pédagogique est essentielle, elle permet d'améliorer la motivation des élèves, particulièrement ceux qui vivent des troubles d'apprentissage (El Kah et Lakhouaja, 2018).

Plusieurs modèles du joueur ont été proposés dont celui de Richard Bartle. En 1996, Bartle présente une classification des types de joueurs de jeux vidéo. Pour Bartle (2009), l'important est de comprendre pourquoi les joueurs de jeu vidéo réagissent de manière différente. Bartle (1996) mentionne que les actions préférées des joueurs nous renseignent au sujet du groupe au sein duquel ils se situent. Selon l'auteur, il y a quatre types de joueurs « le champion » celui qui aime les défis et le pouvoir, « l'explorateur » celui qui veut comprendre et apprendre, « le sociable » s'intéresse aux autres et communiquer avec eux, finalement « le tueur » qui prend plaisir à contrecarrer les autres joueurs. Veuillez noter que le monde représente l'univers du jeu, figure 2.3.

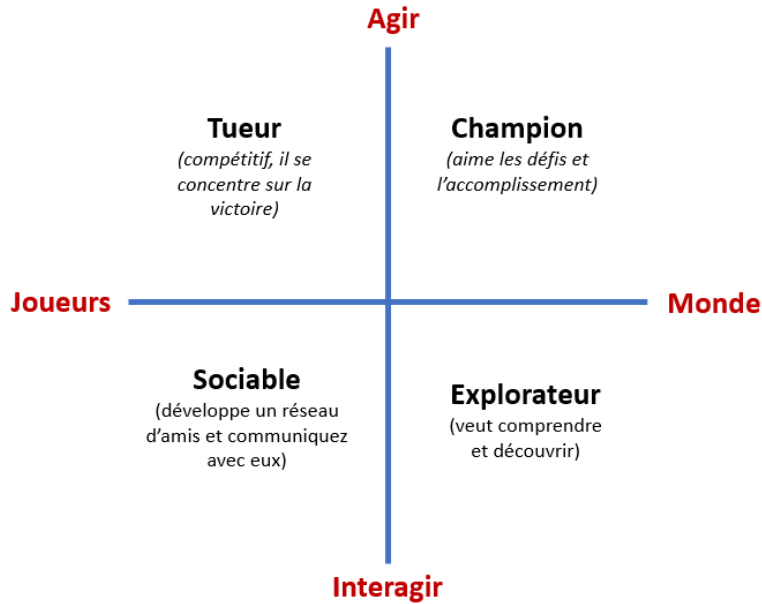


Figure 2.3 : Types de joueurs (Traduction libre) (Bartle, 1996).

Bien entendu, comme l'indiquent Charles *et al.* (2005), d'autres approches ont été proposées pour modéliser le style des joueurs. Toutefois, la plupart des approches récentes se focalisent sur ce que le joueur attend du jeu avant et durant sa conception. Selon Charles *et al.*, il est possible de personnaliser le jeu selon l'intérêt du joueur en utilisant les traces du jeu.

D'un autre côté, Charles *et al.* (2005) font remarquer plusieurs complications dans la personnalisation du jeu, notamment que les préférences des joueurs ne peuvent pas être facilement modélisées, et que la typologie de joueurs doit être suffisamment spécifique pour permettre des styles de jeu différents, mais assez flexible pour s'adapter à différentes plateformes et cultures.

2.2.1.5 Modèle de communication

L'interface est la dernière pièce d'un STI, elle permet de communiquer entre l'ordinateur et l'utilisateur. L'interface est le moyen visuel entre l'apprenant et les outils du système, il doit également faciliter son utilisation. Lors de la modélisation de la communication d'un STI, le concepteur doit tenir compte des théories de communication humain-machine qui sont relativement différentes des communications entre humains (Meunier, 2017). Les progrès récents en technologie informatique ont permis de concevoir des interfaces usagers plus performantes et faciles d'utilisation, notamment l'utilisation d'icônes et les écrans tactiles.

Après ce bref historique sur les EIAH et les STI, la revue se poursuit sur l'objet principal de cette étude, c'est-à-dire le jeu sérieux dédié à l'apprentissage de la lecture auprès de jeunes enfants qui éprouvent des difficultés d'apprentissage.

2.3 Jeux sérieux éducatifs

Plusieurs auteurs font remarquer qu'il y a plusieurs types de jeu sérieux, et que le JVAS en 3D est celui qui est le mieux adapté au transfert de connaissances (Bediou *et al.*, 2018 ; Dale et Shawn Green, 2017 ; Green et Bavelier, 2012 ; Green et Seitz, 2015 ; Franceschini *et al.*, 2017 ; Nava *et al.*, 2020). De plus, l'étude de Dale *et al.* (2020) conclut que les utilisateurs de JVAS en 3D démontrent de meilleures habiletés de discrimination visuelle et de concentration.

Mais que distingue le JVAS en 3D ? Eh bien, comme le définissent Green et Seitz (2015) :

.... le JVA en 3D est un jeu vidéo qui a des paramètres 3D complexes, des cibles en mouvement rapide qui apparaissent et disparaissent de l'écran, qui nécessitent un traitement visuel constant, qui incluent une grande quantité d'objets sans importance pour la tâche, qui contraignent le joueur à basculer d'une attention hautement focalisée à une attention hautement distribuée et oblige le joueur à prendre des décisions rapides, mais précises (Traduction libre) (p. 102).

Étant donné les avantages que procure le JVA en 3D sur la cognition des utilisateurs, nous croyons approprié de mettre au point notre outil numérique fondé sur les éléments et la dynamique de jeu définis par Green et Seitz (2015). Nous présentons dans les sections 2.3.1 à 2.3.6 les facteurs qui influencent l'efficacité des jeux sérieux en éducation.

2.3.1 Motivation et engagement

Dans cette section, nous avons réuni les éléments des articles de recherches qui se questionnent sur le concept de motivation et d'engagement en pédagogie et l'impact des jeux numériques éducatifs auprès des jeunes apprenants rencontrant des difficultés d'apprentissage.

De nombreux éléments influencent la détermination d'un jeune enfant à la découverte, et à son intégration rapide dans le parcours scolaire au primaire. Comme le font remarquer plusieurs auteurs, l'engagement et la motivation sont les facteurs dominants qui influencent la persévérance d'un élève dans son cheminement éducatif (Alsawaier, 2018 ; Dewan *et al.*, 2019 ; Gupta et Sabitha, 2019 ; Molinari *et al.*, 2016).

Le concept de l'engagement et celui de la motivation se différencient sur plusieurs aspects (Alsawaier, 2018). Selon l'auteur, l'engagement d'un enfant peut être influencé par son désir d'apprendre ou de s'intégrer à un groupe d'amis. Cependant, comme le soulignent Bouvier *et al.* (2014), le concept d'engagement est flou parce qu'il est fondé sur des éléments difficilement contrôlables, notamment la situation privée ou publique de l'adhésion, la personnalité de l'individu et la sensation de liberté qu'il éprouve. Par ailleurs, Ryan et Deci (2000) mentionnent que la motivation d'un être humain à persévérer dans une activité peut être intrinsèque ou extrinsèque. Selon les auteurs, la motivation intrinsèque correspond au plaisir qu'a un individu à effectuer une activité. Tandis que, la motivation extrinsèque est reliée à des facteurs externes, comme la possibilité de recevoir une récompense (Ryan et Deci, 2000).

Bovermann *et al.* (2018) énoncent un lien causal positif entre la motivation intrinsèque et la persévérance. Pour Alsawaier (2018), la motivation intrinsèque encourage l'engagement, la créativité, la découverte et l'apprentissage. Sauvé (2010) ajoute l'importance du plaisir dans le jeu ainsi que de la compétition et le défi qui favorisent la motivation intrinsèque et par le fait même l'apprentissage. Cependant, comme le font remarquer Kickmeier-Rust *et al.* (2011), la motivation est corrélée fortement aux préférences, compétences et goût de l'apprenant. Par ailleurs, Mildner *et al.* (2015) ajoutent que le jeu sérieux influe positivement sur la motivation et l'éveil d'apprendre. L'amélioration de la motivation est reliée principalement à deux éléments pour le joueur, celui de maintenir le résultat qu'il a réalisé durant le jeu et celui de le communiquer à ses amis (Mildner *et al.*, 2015). Cook *et al.* (2019) et El Kah et Lakhouaja (2018) mentionnent que si les jeux sérieux sont élaborés adéquatement, ils influencent positivement la motivation des élèves. De plus, les résultats de l'étude d'El Kah et Lakhouaja confirment que la ludification du jeu attire l'attention des élèves, et permet à ceux-ci de persévérer lors d'exercices qui peuvent sembler ennuyeux et répétitifs pour certains.

Waltemeyer et Cranmore (2020), mentionnent qu'il est impératif que le jeu sérieux soit invitant et accorde toute son importance aux goûts et intérêts des apprenants. Waltemeyer et Cranmore soulignent que les concepteurs d'outils numériques pédagogiques doivent intégrer des rétroactions adéquates et des rappels, sans négliger de simplifier les manipulations lors de l'utilisation du jeu. De surcroît, pour qu'un jeu sérieux soit pertinent, il doit pouvoir détecter le niveau d'engagement des apprenants (Case, 2013). Case souligne également l'importance que l'outil pédagogique puisse repérer les traces numériques (actions et comportements du joueur) reliées à l'engagement et à la motivation pendant les sessions de jeu. En premier lieu, il faut identifier rapidement tout indice dans les actions de l'apprenant qui signale une baisse de motivation, pour ainsi offrir un support adapté (Gupta et Sabitha, 2019). Bouvier *et al.* (2014) indiquent qu'il est possible de détecter les signes qui démontrent un désengagement de l'élève lors de l'utilisation d'un jeu sérieux. Les auteurs recommandent une approche qui analyse les comportements des joueurs durant chaque session de jeu.

Pour Bouvier *et al.* (2014), les actions et réactions des joueurs sont renforcées par le plaisir qu'apporte l'outil pédagogique. D'ailleurs l'objectif d'un jeu sérieux est de demeurer plaisant pour les enfants durant toute la session de jeu, c'est pourquoi il est important que l'outil s'ajuste aux obstacles que l'élève rencontre et qu'il soit personnalisé aux préférences et aptitudes des élèves (Csikszentmihalyi, 1990). Mihaly Csikszentmihalyi est un psychologue qui a analysé les facteurs qui influencent le bonheur, et développé la théorie du « *flow* ». Csikszentmihalyi (1991) définit le « *flow* » comme une activité qui apporte par elle-même un sentiment de satisfaction et d'immersion, tel qu'illustré à la figure 2.4 ci-dessous. Par ailleurs, Hamari *et al.* (2018) mentionnent que le sentiment d'immersion influe directement sur l'engagement.

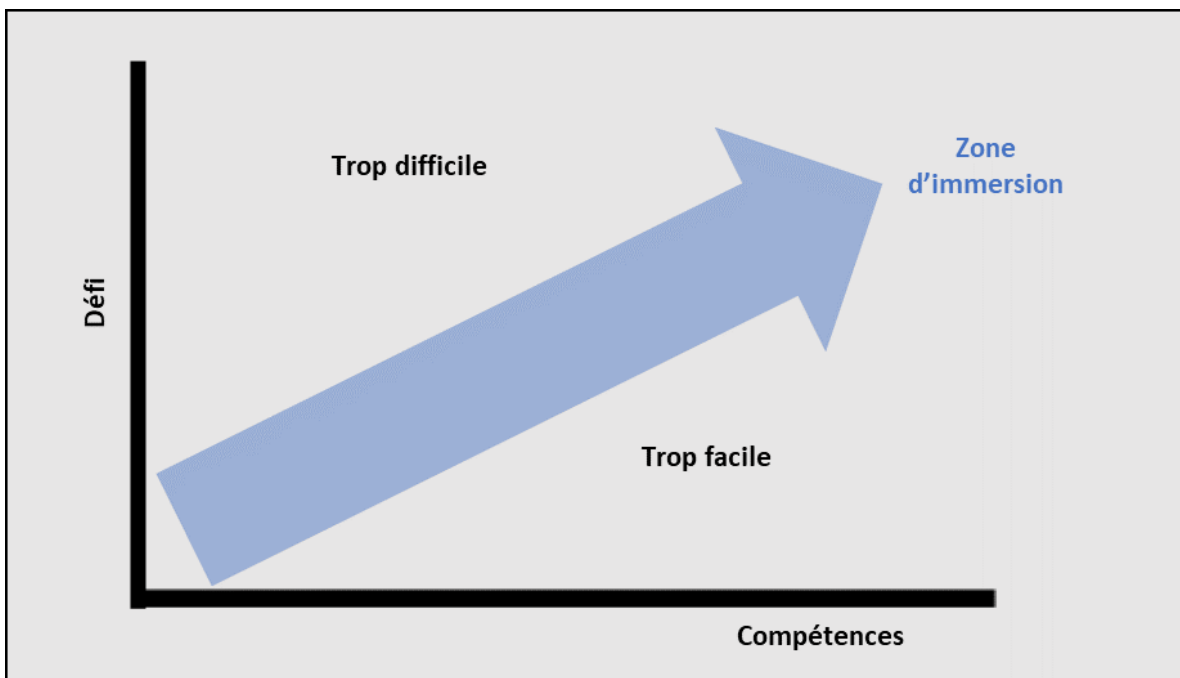


Figure 2.4 : Représentation du « *flow* » inspirée de Csikszentmihalyi (1991).

Pour sa part, Csikszentmihalyi (1991) fait remarquer que le « *flow* » arrive, notamment lorsqu'on pratique le yoga, lors d'un concert et même durant une partie d'échecs. L'important selon Csikszentmihalyi est l'expérience vécue, sans négliger, l'impression d'être en contrôle durant l'événement. Selon Csikszentmihalyi (1991), les activités de la vie courante sont ennuyeuses et favorisent l'anxiété. Cette situation incite à la recherche de substituts pour échapper à notre réalité, en jouant à des jeux vidéo par exemple.

Mais pourquoi le jeu vidéo offre-t-il un tel sentiment de bien-être ?

Selon McGonigal (2011), les tâches qui sont réalisées dans notre vie quotidienne sont improductives par rapport au jeu vidéo, qui offre des missions claires et plus satisfaisantes. À cet égard, McGonigal mentionne que la conception du jeu « *World of Warcraft*² » développé par Blizzard Entertainment a été réalisée dans le but d'offrir un défi réalisable pour le joueur. Les mécanismes intégrés dans « *World of Warcraft* » ajustent le niveau de difficulté du jeu à chaque étape, selon les performances et les habiletés que le joueur a réalisées dans la session précédente. Selon McGonigal, le joueur est motivé puisqu'il se sent en contrôle, il demeure constamment dans une zone compétitive, mais réalisable. De plus, McGonigal ajoute que la raison du succès du jeu « *World of Warcraft* » est sa capacité d'influencer les joueurs à produire de nouvelles tâches. Les joueurs sont heureux d'accomplir les tâches, puisqu'ils peuvent être reconnus immédiatement en améliorant le niveau de leur avatar. Le niveau des avatars est établi selon l'expérience et les habiletés démontrées, notamment une plus grosse armure et une meilleure réputation (McGonigal, 2011).

Il ne faut pas oublier, comme le fait remarquer McGonigal (2011), que les jeux vidéo utilisent l'ensemble des quatre facteurs intrinsèques qui favorisent la motivation. Les facteurs intrinsèques mentionnés par l'auteure sont la satisfaction d'une tâche qui nous interpelle, l'espoir de réaliser un objectif, la possibilité de créer des liens sociaux et finalement de contribuer au succès d'un groupe. Pour McGonigal, ces quatre facteurs font partie des activités nommées autotéliques, c'est-à-dire des activités que nous choisissons librement et qui nous interpellent. Hamari *et al.* (2018) ajoutent que le jeu sérieux doit être conçu avec des mécanismes qui permettent de mesurer le niveau d'immersion du joueur et son intérêt pour les éléments pédagogiques. De plus, comme l'indique Case (2013), les élèves ont tendance à persévérer davantage lorsqu'ils effectuent des tâches motivantes intrinsèquement, ceux qui renforcent la confiance, le sentiment de compétence et l'autonomie.

² Récupéré le 24 septembre 2024 du site <https://worldofwarcraft.blizzard.com/en-us/>

Selon Li et Keller (2018), la théorie motivationnelle « *Attention, relevance, confidence & satisfaction* » (ARCS) est bien adaptée à la conception d'outils numériques pédagogiques. La théorie ARCS a été développée par John Keller dans les années 80. Le modèle ARCS selon Keller (2000) peut influencer la motivation des apprenants par certains mécanismes qui les aident à répondre à leur questionnement à propos de leurs motivations intrinsèques. Le modèle ARCS offre aux concepteurs de contenu pédagogique une méthode pour intégrer du matériel didactique qui améliore la motivation des apprenants (Li et Keller, 2018). D'ailleurs, Ucar et Kumtepe (2016) s'appuient sur la théorie motivationnelle ARCS-V (V pour volonté à effectuer une tâche), lors de la conception de l'objet pédagogique, qui a servi à leur recherche.

Pour Djaouti (2011) et Gee (2005), la motivation conduit l'élève à persévérer dans le jeu, mais aussi à apprendre. Les activités d'apprentissage de la lecture chez l'enfant ne font pas exception. Lämsä *et al.* (2018) ajoutent que les concepteurs de jeu sérieux doivent intégrer les mécaniques ludiques qui influencent positivement les apprenants en difficultés d'apprentissage. Sans oublier, comme le font remarquer Lämsä *et al.*, qu'il faut tenir compte des principes pédagogiques et des composantes motivationnelles du public cible pour être en mesure d'atteindre les résultats d'apprentissage recherchés.

Par ailleurs, Taconnat (2012) souligne que les émotions fortes augmentent notre motivation à retenir l'information et améliorent aussi sa récupération. Sans négliger, qu'un jeu doit favoriser la compétition, notamment la lutte entre joueurs ou avec soi-même, qui favorise la motivation (Sauvé *et al.*, 2010). De plus, les aspects étudiés par Veermans et Jaakkola (2019) indiquent que le transfert de compétences est plus rapide lorsque l'apprenant apprend par essai et erreur lors de manipulation au lieu de suivre un processus formel avec des instructions détaillées. Alsawaier (2018) indique que le plaisir est l'objectif principal d'un jeu. Selon l'auteur, le plaisir est un facteur essentiel pour améliorer la motivation de l'apprenant. Bovermann *et al.* (2018) ajoutent que le jeu crée un espace relaxant qui diminue la résistance des apprenants dans le transfert de connaissances. Tandis que, Chang *et al.* (2021) déconseillent de mettre les enfants qui souffrent de troubles d'apprentissage en compétition, puisque la compétition provoque de l'anxiété et augmente le niveau de la charge cognitive. Martin *et al.* (2022) précisent l'importance de la motivation pour la réussite d'exercices en rééducation pour de jeunes enfants. En outre, pour Martin *et al.*, un jeu sérieux par sa portion ludique peut s'avérer adéquat pour ce public.

L'étude de Khaleghi *et al.* (2022) évalue l'efficacité des approches de ludification pour l'amélioration de la motivation des enfants dyslexiques âgés de 6 à 8 ans, qui doivent effectuer des exercices de réadaptation cognitive tels que la sensibilisation. Les auteurs ont constaté que les méthodes de rééducations offertes actuellement sont dispendieuses et que les enfants doivent effectuer des exercices scolaires, ce qui est démotivant. Or, Khaleghi *et al.*, ont observé que la ludification des méthodes de réadaptation augmente la motivation et la participation des élèves aux tâches monotones. Sans omettre, comme le mentionnent les auteurs, que les outils de réadaptation intégrés dans un jeu sérieux offrent l'opportunité aux parents d'avoir du support plus accessible.

La motivation et l'engagement sont deux facteurs essentiels à prendre en compte pour améliorer la persévérance des apprenants. En ce qui nous concerne, l'artefact pédagogique doit être conçu selon les règles de l'art, dans le but d'offrir à l'utilisateur un outil efficace pour le transfert de connaissances et de compétences tout en demeurant divertissant.

Pour conclure cette section, Long *et al.* (2011) soulignent également que la motivation influence l'attention, une fonction cognitive essentielle dans le processus de transfert de connaissances. Dans la section 2.3.2, nous nous intéressons à l'impact des jeux sérieux sur l'attention des élèves.

2.3.2 Attention

L'attention est un processus cognitif qui permet à un individu de se concentrer sur des stimuli appropriés dans le but de faire des choix. Selon Taconnat (2012), l'attention est essentielle lors de l'encodage de l'information, elle améliore la stabilité à long terme des données. L'étude de Franceschini *et al.* (2013) a mis en évidence que l'amélioration de l'attention a une incidence positive sur la vitesse de lecture, et par le fait même sur la compréhension. Franceschini *et al.*, ont fondé leur postulat sur la recherche de Green et Bavellier (2012), qui a démontré qu'un JVA sans dimension sérieuse améliore l'attention et l'apprentissage. Tandis que, Barlett *et al.* (2009) ont constaté que jouer à un JVA, même pendant une courte période, améliore les performances de la mémoire de travail, de la perception auditive et de l'attention.

Par la suite, d'autres études ont confirmé l'apport positif des JVA pour la rééducation des élèves, notamment celle de Cardoso-Liete et Bavelier (2014), qui indique que les enfants qui ont le plus bénéficié des JVA sont ceux qui présentent un trouble d'attention. De plus, comme le font remarquer Boyadjian et Zogheib (2011), l'utilisation de méthodes multisensorielles est fréquente dans les jeux sérieux, ce qui favorise la rééducation en lecture. Selon Boyadjian et Zogheib et Rousseau (2016), l'enseignement multisensoriel est un programme de rééducation basé sur le modèle alphabétique (par thème) et est multisensoriel, c'est-à-dire que l'on utilise l'ensemble des parties du cerveau en même temps, entre autres la vue, l'ouïe et le toucher. Selon Long *et al.* (2011), cette approche est la mieux adaptée pour l'apprentissage de la lecture des enfants atteints de dyslexie. Boyadjian et Zogheib ajoutent que l'apprentissage multisensoriel permet d'utiliser les forces des élèves, à travers les goûts et les facultés naturelles de tous les enfants en classe. Sans oublier, comme le fait remarquer Rousseau, que les enfants dyslexiques développent une capacité de penser par l'image et utilisent tous leurs sens, comme l'audition pour compenser leur déficit, les méthodes visuosémantiques et multisensorielles sont particulièrement bien adaptées, ils aident l'enfant à mémoriser les mots.

Par ailleurs, comme le mentionnent également Dale *et al.* (2020), jouer à un JVA améliore la concentration et la discrimination perceptuelle visuelle fine, notamment lors de la reconnaissance des lettres. Shawn Green *et al.* (2019) ajoutent que les JVA augmentent l'efficacité du processus de réhabilitation dans les thérapies cognitives, notamment en améliorant l'attention, la concentration, la motivation et la résolution de problèmes. Sans oublier, comme le font remarquer Martin *et al.* (2022), que les enfants qui présentent un déficit d'attention tirent profit d'un support pédagogique qui réduit la charge de la mémoire de travail. La mémoire à court terme nommée « mémoire de travail » sert à mémoriser un nombre limité d'informations, que nous utilisons pendant une courte durée, le temps de réaliser un travail de réflexion et de raisonnement (Taconnat, 2012). Pour Baddeley (1983), la mémoire de travail est « un système cérébral qui assure le stockage temporaire et la manipulation des informations nécessaires à des tâches cognitives aussi complexes que la compréhension du langage, l'apprentissage et le raisonnement » (traduction libre) (p. 311).

L'étude de Martin *et al.* (2022) souligne également que les enfants ayant un déficit d'attention peuvent présenter des difficultés de récupération de données entreposées dans la mémoire épisodique. La mémoire épisodique représente les souvenirs de notre vie (Taconnat, 2012). Taconnat indique que la mémoire épisodique est essentielle à ériger notre identité, cependant pour que la trace mnésique soit durable, l'événement doit être marquant. Selon l'auteure, il est important que l'émotion ressentie lors du souvenir soit intense, positivement (la joie) ou négativement (la peur), l'intensité de l'émotion est un facteur de durabilité. Taconnat souligne également que la procédure de la mémoire épisodique, va de l'encodage des données en traces mnésiques, ces traces sont ensuite conservées à long terme et finalement la réutilisation des informations s'effectue de manière consciente et délibérée au besoin. En revanche, comme le font remarquer Martin *et al.*, les études ne peuvent contrôler toutes les variables, par exemple le niveau lexical qui peut influencer l'essence même des informations encodées dans la mémoire épisodique. Martin *et al.*, ajoutent qu'un défaut d'attention lors de l'encodage des données pourrait aussi expliquer l'altération des informations mémorisées.

L'étude récente de Chaarani *et al.* (2022) indiquent que de jeunes joueurs de jeu vidéo démontrent une meilleure performance cognitive que les non-joueurs. En particulier, sur le traitement visuel, l'attention et la mémoire de travail (Charani *et al.*, 2022). De surcroît, Chaarani *et al.*, mentionnent que la santé mentale et le comportement n'étaient pas significativement différents entre les enfants joueurs et les non-joueurs. Les auteurs ajoutent que l'amélioration des performances attentionnelles chez les jeunes joueurs peut être expliquée par une aptitude supérieure à ne pas tenir compte ou à négliger les stimuli.

Finalement, Mildner *et al.* (2015) soulignent que les jeux qui sont conçus selon le niveau du joueur, c'est-à-dire que le niveau de difficulté s'ajuste automatiquement selon les résultats, améliorent la motivation et l'attention. La section 2.3.3 regroupe les données recueillies dans les articles sur les mécanismes de jeu qui permettent la personnalisation et l'adaptation au joueur-apprenant.

2.3.3 Personnalisation

La personnalisation désigne un changement dans les composantes du logiciel, selon les décisions et performances du joueur-apprenant. La personnalisation et l'adaptation du jeu sérieux a pour objectif de conserver la motivation des participants durant l'expérimentation. Selon Göbel et Wendel (2016), la personnalisation est fondée sur des règles et des méthodes qui ajustent le scénario et l'interactivité des objets du jeu au profil du joueur-apprenant selon un ensemble de protocoles et de données rigoureux et délimité. Or, la personnalisation est compliquée et oblige la programmation d'algorithmes, pour recueillir les traces des actions de l'utilisateur, les traiter et ajuster les paramètres du jeu (Champin *et al.*, 2013). De plus, Romainville (2007) mentionne que l'apprenant durant son parcours scolaire trouvera des mécanismes pour minimiser ses erreurs, dans ce contexte progressif, le jeu doit pouvoir s'adapter aux multiples réalités du joueur-apprenant.

Selon Göbel et Wendel (2016), la personnalisation doit s'effectuer sur deux aspects du jeu sérieux, le premier est de déterminer régulièrement les compétences du joueur et de modifier les défis selon les performances réalisées par celui-ci. Le deuxième aspect est le profil de l'apprenant, le jeu procède à un diagnostic cognitif fondé sur les traces qui sont recueillies à la fin d'une série d'exercices accomplis. Le nouveau diagnostic permet d'ajuster les paramètres du jeu au niveau de l'apprenant (Göbel et Wendel, 2016). Selon Plante (2016), tous les artefacts numériques émettent des données (les traces) que l'on peut capturer. Cependant, l'identification des marques présuppose une compréhension des données disponibles et leurs accessibilités, sans négliger, les preuves pour soutenir leur choix, notamment quels éléments du jeu doivent être modifiés pour faire varier une émotion, et ceci pour chaque apprenant (Champin *et al.*, 2013 ; Schrader *et al.*, 2017). L'étude de Bouvier *et al.* (2014) présente une méthode qui combine la théorie de l'autodétermination et du « *flow* », qui permet d'identifier les actions reliées à l'engagement et à la motivation du joueur-apprenant. Bouvier *et al.* soulignent également que la théorie de l'autodétermination est basée sur trois besoins psychologiques humains : le sentiment d'efficacité, la volonté d'être autonome et les rapports sociaux.

Mais quels sont les mécanismes de jeux qui permettent la personnalisation ?

Certains auteurs (Arnab *et al.*, 2013 ; Lim *et al.*, 2016) proposent de subdiviser les mécanismes du jeu sérieux en deux groupes, les mécanismes de l'apprentissage et les mécanismes ludiques, puisque le jeu et la pédagogie ont des caractéristiques particulières. Le modèle « *Learning Mechanics & Games Mechanics* » d'Arnab *et al.* (2013), identifie les mécanismes de jeu sérieux et est relativement complet, tableau 2.1. Par ailleurs, van Roy et Zaman (2017) distinguent les mécanismes liés aux différents besoins psychologiques de la théorie de l'autodétermination. Selon les auteurs, le sentiment d'autonomie favorise l'autodiscipline et réduit les pressions externes. Les mécanismes qui y sont associés sont :

- la liberté de jouer ;
- des choix limités pour le joueur.

Le sentiment de compétence, c'est-à-dire la perception que nous pouvons réaliser le défi, favorise la motivation autonome. Selon van Roy et Zaman (2017). Les mécanismes qui y sont associés sont :

- adapter les défis au public cible, notamment les défis doivent être intéressants, mais réalisables ;
- les niveaux de difficultés des exercices doivent être progressifs pour s'adapter aux besoins des apprenants ;
- offrir de la rétroaction positive et immédiate pour permettre au joueur-apprenant de poursuivre sa progression.

En dernier lieu, le sentiment d'appartenance à une communauté est valorisant. Partager et communiquer avec les autres améliore la motivation. Selon van Roy et Zaman (2017), les mécanismes qui y sont associés sont :

- faciliter les relations entre les joueurs ;
- intégrer des outils de partage d'informations.

Mécánismes du jeu (Arnab <i>et al.</i> , 2013)		Mécánismes du jeu sérieux	Mécánismes pédagogique (Arnab <i>et al.</i> , 2013)	
Abstrait	Concret		Abstrait	Concret
Plaisir	Action des scènes	Méthodique	Répéter	
Défi	Points d'action	Orientation	Démontrer	
La dynamique du comportement	Niveau	Participation	Tuteur	
Reconnaissances et pénalités	Jetons	Généralisation	Action/tâche	
Interactions	Questions et réponses	Observation	Rétroaction	
Conditionnement opérant	Scénario du jeu	Exploration	Questions et réponses	
Optimiste	Sélection et collection	Identification	Expérimenter	
Découverte	Gestion des ressources	Planification	Réfléchir/discuter	
Stratégie et planification	Capture et élimination	Objectiver	Analyser	
Histoire	Rétroaction immédiate	Énoncer une hypothèse	Imiter	
Coopération	Information	Responsable	Copier	
L'effet Pareto	Stress du temps	Découvrir	Modéliser	
Rétroaction	Didacticiel	Motiver	Simuler	
Apprendre en enseignant	Grille et tuile	Objectif	Évaluer	
Métagame	Jeu infini	Intérêt	Instruction	
Conception et édition	Rendez-vous		Étager	
Réalisme	Mouvement			
Responsabilité	Évaluation			
Jeu de rôle	Status			
Virilité	Simulation			
Contagion	Tour du jeu			
Collaboration	Micro-jeux			
Compétition				

Tableau 2.1 : Le modèle « Learning Mechanics & Game Mechanics » (Traduction libre) (Arnab *et al.*, 2013, p. 18).

Un autre aspect lié au jeu vidéo est son interactivité avec le joueur. Selon Gee (2005), l'interactivité du jeu offre un espace d'apprentissage actif à l'élève, lorsque l'élève fait un choix, le jeu réplique, ce qui incite le joueur-apprenant à poursuivre, parce qu'il est intéressé par ce qui va se produire. Connolly *et al.* (2012) ajoutent que les théories récentes de l'apprentissage proposent que la méthode d'enseignement soit active, expérientielle et fondée sur la résolution de problèmes avec rétroaction immédiate. Pour sa part, Bogost (2010) souligne que la rhétorique procédurale influence l'interrelation joueur/machine. La rhétorique procédurale se manifeste lorsque les concepteurs communiquent des pensées, croyances et valeurs, à travers des règles, et dans les mécanismes du jeu (Bogost, 2010). Selon l'auteur, la rhétorique procédurale est utile pour les concepteurs de jeu, en particulier pour influencer les joueurs. Toutefois, comme le font remarquer plusieurs auteurs, la conception d'un outil pédagogique qui permet le transfert de connaissances tout en demeurant ludique demeure un défi majeur (Alvarez et Djaouti, 2010 ; van Roy et Zaman, 2017). La section 2.3.4 aborde la problématique de la conception des jeux sérieux et de la complexité d'intégrer une dimension pédagogique de manière efficace.

2.3.4 Conception et intégration de la dimension pédagogique et ludique

Le but d'un système d'apprentissage numérique est de parvenir aux transferts de nouvelles connaissances ou compétences recherchées par l'apprenant. De plus, comme le mentionne Blevins (2018), depuis l'arrivée du numérique, la littératie ne se limite pas seulement aux habiletés de lire et d'écrire, mais aussi à la capacité de comprendre l'information.

Le domaine du jeu sérieux en éducation a fait l'objet de plusieurs recherches qui ont démontré sa valeur pédagogique (Alsawaier, 2018 ; Dewan *et al.*, 2019 ; Gupta et Sabitha, 2019 ; Molinari *et al.*, 2016 ; Xie *et al.*, 2019). De plus, Wang *et al.* (2018) indiquent que les expériences d'apprentissage numérique offrent une grande liberté à l'étudiant, surtout si l'objet pédagogique permet d'apprendre par la découverte. L'apprentissage par la découverte est préconisé par les tenants de la théorie constructiviste en éducation. Selon la théorie constructiviste, découvrir par nous-mêmes de nouveaux concepts et de les expérimenter permet d'intégrer graduellement les nouvelles connaissances et de les assimiler de manière durable dans la base de connaissances des apprenants.

Toutefois, les médias et les méthodes mises en place doivent s'aligner pour constituer un outil engageant et adapté aux habiletés souhaitées (Mildner *et al.*, 2015). Or, comme l'indiquent van Roy et Zaman (2017), pour être efficaces, il est nécessaire que les mécanismes intégrés dans les jeux tiennent compte des trois besoins psychologiques fondamentaux qui favorisent la motivation intrinsèque, chez l'être humain : le sentiment d'autonomie, le sentiment de compétence et le sentiment d'appartenance. Cependant, McGonigal (2011) fait remarquer le paradoxe de demander de faire des activités motivationnelles extrinsèques à notre avatar pour gagner des récompenses, tandis que des activités qui utilisent la motivation intrinsèque sont recommandées pour attirer les joueurs.

La création d'un outil pédagogique exige avant tout, de connaître les particularités du public cible, notamment, les sources de motivations et d'identifier les nouvelles connaissances ou compétences à transférer. Selon Makransky *et al.* (2019) il faut effectuer des recherches sur l'influence de certaines caractéristiques de l'apprenant par rapport à la technologie, entre autres l'âge, le sexe, les traits de caractère et l'état des compétences technologiques.

Comme nous l'avons indiqué précédemment, l'objet de cette étude est d'évaluer la pertinence d'un JVAS sur le transfert de compétences en lecture de jeunes élèves qui éprouvent des difficultés d'apprentissage. À cet égard, la recherche d'El Kah et Lakhouaja (2018) démontre que plusieurs enfants rencontrent différents troubles d'apprentissage, en particulier la dyslexie, la dysgraphie et la dyscalculie. Ces troubles influencent négativement leur réussite scolaire. El Kah et Lakhouaja mentionnent que les troubles dyslexiques ont des origines neurobiologiques et sont permanents. Malgré cela, selon les auteurs, les élèves qui éprouvent des symptômes reliés à la dyslexie ont des capacités d'apprentissage, et peuvent acquérir de nouvelles connaissances et compétences de manières différentes. De même, les élèves nécessitent une intervention précoce et des ajustements dans le processus d'enseignement, par exemple l'enseignant doit mettre en place des stratégies compensatoires, plus précisément en ajoutant davantage de révision avec les mots (El Kah et Lakhouaja, 2018). Sans oublier, comme Boyadjian et Zogheib (2011) l'affirment, la prise en charge rééducationnelle doit être intensive, plusieurs fois par semaine, pour ainsi aider à développer des stratégies de contournement.

De plus, plusieurs auteurs mentionnent que les jeux sérieux sont pertinents pour l'amélioration des compétences en lecture et l'augmentation de la motivation des élèves dyslexiques (Boyadjian et Zogheib, 2011 ; El Kah et Lakhouaja, 2018 ; Green et Bavelier, 2012 ; Green et Seitz, 2015 ; Franceschini *et al.*, 2017 ; Nava *et al.*, 2020 ; Rello *et al.*, 2015 ; Veermans et Jaakkola, 2019). Or, pour être efficaces, les outils pédagogiques doivent être adaptés au public cible et personnalisés à l'élève (El Kah et Lakhouaja, 2018 ; Göbel *et al.*, 2016).

D'un autre côté, Moreno (2006) souligne que les élèves apprennent mieux lorsque les informations verbales et graphiques sont présentées en même temps. Pour l'auteure, les connexions mentales sont améliorées lorsqu'on dépeint un processus et que l'élève voit sa représentation visuelle en même temps. Selon Tacconnat (2012), l'association des objets qui se ressemblent s'ils font partie de la même catégorie est plus difficile à distinguer. À la lumière de ce qui précède, il faut modifier la perception des attributs de chacun des objets d'une même catégorie, avant tout pour améliorer leur différenciation, notamment par l'utilisation du double codage : visuel et auditif. Moreno et Mayer (2007) ajoutent que les jeux sérieux ont la capacité d'améliorer les habiletés d'apprentissage. Toutefois, ils doivent être amusants, puisque le plaisir fait émerger le sentiment de satisfaction de l'élève (Csikszentmihalyi, 1991).

Lavigne (2012) fait remarquer qu'absorber de nouvelles connaissances tout en s'amusant représente un enjeu important, mais non insurmontable. Puisque, comme l'indique l'auteur, le plaisir de chercher et de découvrir la réponse à une énigme est source de plaisir, il faut le favoriser en ajoutant une résistance pour que le défi soit perçu comme une compétition par les élèves. De plus, Göbel et Wendel (2016) ajoutent qu'il faut que le joueur-apprenant estime que le jeu soit difficile, mais que l'effort consenti en vaut la peine. Cet aspect est essentiel selon les auteurs, puisqu'il est directement relié à la motivation intrinsèque.

Concernant le plaisir de jouer, les résultats de l'étude de Lewis (2018) portant sur la cohérence du scénario ainsi que sur l'ergonomie du jeu sont prometteurs, toutefois Lewis a constaté que des modifications doivent être effectuées à l'artefact, notamment au niveau de la navigation et de l'optimisation des missions du jeu. De plus, avant de concevoir l'outil pédagogique, Lewis a rencontré des intervenants du milieu éducatif ainsi que des parents d'élèves qui rencontrent des difficultés d'apprentissage en lecture. Les informations recueillies sont disponibles à l'appendice A.

Les points saillants lors des rencontres de l'étude de Lewis (2018) sont :

- le manque de ressources disponibles pour prendre en charge adéquatement les enfants dyslexiques du primaire au Québec ;
- la majorité des enfants dyslexiques souffrent d'un déficit d'attention ;
- les logiciels éducatifs sont acceptés en éducation s'ils respectent les règles éthiques et s'ils sont conçus spécifiquement pour le public cible ;
- le logiciel doit également être disponible sur des plateformes technologiques accessibles et adaptées au public cible.

La section 2.3.4.1 présente un sommaire des données recueillies lors de l'étude de Lewis (2018). Cette vue d'ensemble trace un portrait de la réalité du milieu scolaire et des enjeux liés aux enfants rencontrant des difficultés d'apprentissage.

2.3.4.1 Données sur l'évaluation d'un jeu sérieux en milieu scolaire.

Lewis (2018) a recueilli lors de l'évaluation d'un jeu sérieux éducatif par les élèves en milieu scolaire, toutes les données disponibles, c'est-à-dire les traces du jeu et les données qualitatives capturées lors des sondages. Ensuite, Lewis a analysé et interprété les informations. En fin de compte, la majorité des participants ont apprécié le jeu, sans oublier les commentaires positifs des experts en pédagogie qui l'ont évalué (Lewis, 2018). De surcroît, les résultats du sondage des enfants confirment les données des traces, notamment certaines missions méritent une attention particulière, puisqu'elles sont trop complexes pour le public cible. Sans oublier que certains aspects du jeu déplaisent aux enfants, entre autres, la qualité du son, la manipulation du clavier et de la souris. L'expérimentation a permis de reconnaître les lacunes du jeu, particulièrement au niveau de l'ergonomie, et d'identifier les mécanismes qui devront être mieux adaptés au public cible (Lewis, 2018).

Nous tenons à faire remarquer que l'étude de Lewis (2018) ne permet pas de généraliser les résultats obtenus en raison du nombre de participants, qui est modeste avec, seulement quatorze enfants. Néanmoins, comme l'indique Lewis « l'objectif de cette évaluation n'est pas de généraliser les résultats, mais plutôt d'indiquer les failles de conception du prototype du jeu qui ont un impact négatif sur la cohérence du scénario et la jouabilité » (p. 113).

2.3.4.2 Mais qu'elle est le meilleur format et média pour la conception d'un JVAS ?

Selon Wang *et al.* (2018), les jeux sérieux se présentent sous plusieurs formats (2D, 3D, en réalité virtuelle, mixte ou augmentée) et utilisent une multitude de médias (ordinateurs, tablettes à écrans tactiles, téléphones intelligents ainsi que les casques autonomes). Pour Moreno (2006), le format utilisé et le choix de média doivent être cohérents puisque les deux éléments se complètent.

On observe que les jeux sérieux en réalité virtuelle améliorent les effets positifs sur l'apprentissage des apprenants (Hodgson *et al.*, 2019). Or, Makransky *et al.* (2019) indiquent qu'il n'est pas toujours pertinent d'utiliser la réalité virtuelle en éducation, avant tout à cause de la charge cognitive additionnelle du média pour l'apprenant et des possibilités de développer la maladie du simulateur ou « *Cybersickness* ». Qui plus est, les fabricants³ de casques autonomes de type « *Head-Mounting Display* » ne recommandent pas leur utilisation avant l'âge de 12 ans, ce qui les rend inutilisables pour notre recherche.

En effet, les défis de l'intégration de la dimension pédagogique dans un artefact numérique sont nombreux. À cet égard, les concepteurs de jeux sérieux doivent tenir compte de l'aspect ludique de l'objet pédagogique, mais également d'identifier les caractéristiques qui influencent l'apprentissage et les intégrer dans les jeux (Sauvé, 2010). Selon Sauvé, les jeux sérieux favorisent les stratégies métacognitives. En effet, les connaissances métacognitives sont stimulées lorsque l'enfant assimile le système de règles et comprend comment il peut déchiffrer un mot inconnu (Romainville, 2007). Romainville souligne qu'on peut aider les élèves à développer et à utiliser efficacement des activités métacognitives. Selon l'auteur, il est important de sensibiliser les élèves dyslexiques à développer des stratégies d'apprentissage puisque leur handicap est permanent. Dans leur position constructiviste, Boyadjian et Zogheib (2011) indiquent l'importance pour l'enfant d'être un acteur, de comprendre sa situation et d'avoir un certain contrôle sur ses difficultés. Cette prise de conscience est bénéfique, puisque l'enfant peut désormais agir pour améliorer sa situation.

Sauvé (2010) met en évidence également que la répétition améliore les habiletés et la rétention des acquis. Sans omettre, comme le fait remarquer Sauvé, que l'utilisation d'éléments de renforcement positif durant la rétroaction, amène un état agréable de satisfaction. Sauvé indique également l'importance du fractionnement du contenu éducatif, en augmentant graduellement le niveau de difficulté des exercices. Les recherches de Moreno (2006) sur les stratégies cognitives démontrent qu'il faut tenir compte de la charge cognitive du média. Ibili (2019), enchaîne sur l'importance d'accorder de l'intérêt à la théorie de la charge cognitive. La théorie de la charge cognitive est fondée sur l'architecture cognitive humaine, et met en perspective l'augmentation de la capacité de la mémoire à court terme lors d'activités d'enseignement (Moreno et Mayer, 2007). Le modèle « *Cognitive-affective model of learning with media* » de Moreno et Mayer propose de concevoir un outil pédagogique qui tient compte de la capacité cognitive de l'élève.

³ Récupéré le 24 novembre 2022 du site <https://www.generation-nt.com/actualites/realite-virtuelle-deconseillee-moins-12-ans-1925824>

Selon Moreno et Mayer, les humains font usage du canal auditif et du canal visuel pour traiter les informations, tels qu'illustrés à la figure 2.5. Or, chaque canal a une capacité de traitement limitée, l'utilisation simultanément des deux canaux favorisent l'apprentissage (Moreno et Mayer, 2007).

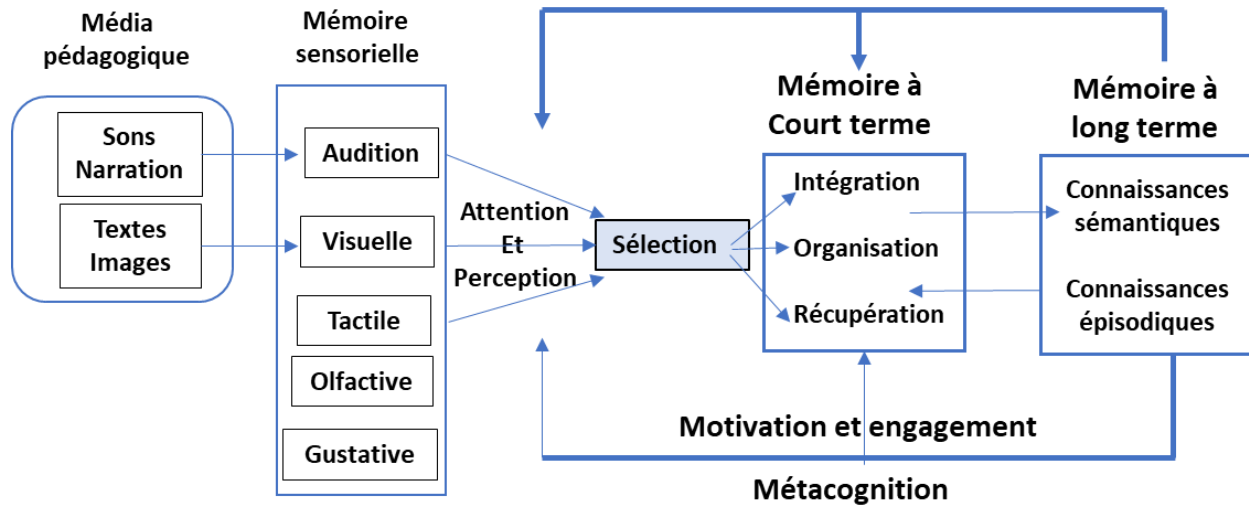


Figure 2.5 : Le modèle « *Cognitive-affective model of learning with media* » (Traduction libre) (Moreno et Mayer, 2007, p. 314).

Néanmoins, comme le font remarquer Chang *et al.* (2021), la sélection des éléments du jeu doit se faire avec minutie, pour ne pas sature la capacité de la mémoire de travail ou influencer négativement la performance des enfants ayant des troubles d'apprentissages. De plus, comme le font remarquer Herbert *et al.* (2018), les caractéristiques d'un jeu sérieux sont de permettre la détection et la correction d'erreurs, d'émettre de la rétroaction personnalisée et de sélectionner les tâches que doit réaliser l'apprenant selon ses capacités. De son côté, Lim *et al.* (2016) ont évalué les mécanismes du modèle « *Learning Mechanics & Game Mechanics* » qui favorisent la motivation intrinsèque et proposent le modèle « *Serious Game Mechanics* » qui intègre le modèle révisé des compétences réflexives de Bloom (Anderson et Krathwohl, 2001) dans le modèle « *Learning Mechanics & Game Mechanics* ». Par conséquent, Lim *et al.*, recommandent de choisir des mécanismes pédagogiques qui favorisent le développement des compétences que l'on désire transférer à l'apprenant, ainsi que les mécanismes ludiques adaptés à la clientèle visée, qui seront intégrés lors de la réalisation du jeu sérieux. Le but du modèle « *Serious Game Mechanics* » est de permettre une transition harmonieuse entre les objectifs d'apprentissages et le plaisir de jouer (Lim *et al.*, 2016).

Dans le même ordre d'idées, Hamari *et al.* (2018) mentionnent l'importance de préserver la motivation des enfants, en utilisant des mécanismes qui correspondent aux besoins motivationnels des élèves. Par exemple, Hamari *et al.*, identifient les mécanismes de ludification et les indicateurs de performance.

Selon Fabricatore et Lopez (2012), les mécanismes qui favorisent l'apprentissage durable sont la complexité et l'imprévisibilité du jeu. Ces mécanismes encouragent les processus de réflexion, l'apprentissage par étape et le sentiment d'urgence. De plus, il est possible d'améliorer le transfert de connaissances, en intégrant des mécanismes qui permettent une rétroaction individuelle et immédiate. La rétroaction améliore la compréhension, l'adaptabilité, l'interaction, le plaisir de jouer et la motivation. Kumar *et al.* (2021) mentionnent que les jeux sérieux améliorent l'investissement cognitif. Wang *et al.* (2018) ajoutent que le jeu sérieux a des effets positifs plus importants avec les apprenants qui ont le plus de difficultés d'apprentissage. Malheureusement, plusieurs élèves ont le sentiment que l'erreur n'est pas acceptable, ce qui les perturbe dans leur apprentissage (Schmoll, 2011). Le jeu sérieux pourrait être une solution, en plus d'être amusant, il permet aux élèves d'être actifs dans leur apprentissage. Selon Ke *et al.* (2020), un apprentissage de qualité nécessite que les apprenants soient actifs et pas seulement des récepteurs passifs. Sans négliger que le jeu offre un environnement protégé, qui permet d'apprendre par essais et erreurs sans subir de jugements. Le jeu sérieux dédramatise l'apprentissage et met à l'avant-scène le plaisir d'apprendre (Schmoll, 2011), ce qui est un facteur non négligeable pour les enfants faibles lecteurs qui sont malheureusement la cible de leurs pairs. Finalement, pour Klopfer *et al.* (2018), la création de niveaux distincts dans le parcours d'un jeu sérieux, permet d'intégrer graduellement de nouvelles connaissances tout en conservant l'intérêt de l'apprenant. D'ailleurs, comme le fait remarquer Moreno (2006), lorsque l'on amorce l'apprentissage d'un nouveau domaine, il est difficile d'assimiler de nouvelles connaissances.

Nous constatons que la création d'un outil pédagogique numérique représente un défi, et que sa conception doit se fonder sur les théories du domaine de l'éducation et celui du jeu. De plus, pour s'assurer que l'outil est fonctionnel, il faut mettre en place une méthode adéquate pour évaluer son efficacité. La section 2.3.5, méthodologie d'évaluation, regroupe les informations recueillies dans les articles sur les différentes démarches et méthodes utilisées pour évaluer l'efficacité des jeux sérieux.

2.3.5 Méthodologie d'évaluation

L'évaluation est un élément important pour valider l'efficacité d'un jeu sérieux. D'ailleurs, certains logiciels permettent d'évaluer les compétences cognitives des apprenants. Par exemple le jeu « *The Monkey Game*⁴ » qui est testé sur des élèves du primaire dans la recherche de Van de Weijer-Bergsma *et al.* (2016). Selon les auteurs, « *The Monkey Game* » offre la possibilité aux chercheurs de mesurer les compétences d'élèves du primaire dans la compréhension de la lecture.

Plusieurs études ont adopté une méthode positiviste, pour évaluer l'efficacité du transfert de connaissances et compétences de leur objet pédagogique numérique (Chang *et al.*, 2021 ; Dyer, 2015 ; El Kah et Lakhouaja, 2018 ; Franceschini *et al.*, 2013 ; Green et Bavelier, 2012 ; Ke *et al.*, 2020 ; Khaleghi *et al.*, 2022 ; Van de Weijer-Bergsma *et al.*, 2016). La méthode décrite dans les articles mesure avant et après l'expérimentation le niveau de compétences des participants qui ont été préalablement séparés en deux groupes distincts (contrôle et expérimental). Par la suite, les chercheurs utilisent le test de Wilcoxon-Mann-Whitney (ou test U de Mann-Whitney) pour comparer les groupes. Le test Wilcoxon-Mann-Whitney cherche à comparer deux échantillons de mesures, et a pour objectif de confirmer la validité des résultats des deux échantillons distincts, avec une valeur p de < 0.05 considérée comme statistiquement significative. De même, certains chercheurs utilisent des sondages au début et à la fin de l'expérimentation pour recueillir des données qualitatives (Chang *et al.*, 2021 ; Ke *et al.*, 2020 ; Khaleghi *et al.*, 2022). D'ailleurs, comme le font remarquer Gris et Bengtson (2021), la mesure la plus employée pour évaluer l'engagement est reliée à l'observation de la motivation à jouer et à apprendre.

Toutefois, certains auteurs dont Sabahi et Viens (2021) et Patiño *et al.* (2021), ont privilégié une approche qualitative de type étude de cas multiple lors de leurs études. Les auteurs appuient leur choix de méthodologie en indiquant que les problèmes étudiés sont complexes et qu'ils sont évalués dans un contexte réel. De son côté, Dyer (2015) associe le jeu sérieux à la théorie constructiviste, qui est une approche basée sur les perspectives de l'apprenant.

⁴ Récupéré le 24 septembre 2024 du site https://poki.com/fr/singe#utm_source=redirect-en-fr

Selon Dyer (2015), une approche constructiviste est nécessaire lorsque l'apprentissage est actif, comme dans un jeu sérieux. L'auteur ajoute également que l'approche constructiviste nécessite une évaluation avant et après l'expérience du jeu. L'évaluation doit tenir compte du développement dans le temps de la compréhension des activités d'apprentissage identifiées (Dyer, 2015).

Pour sa part, Chang *et al.* (2021) utilisent la méthode « *Design-Based Research* » pour concevoir, développer et évaluer un système cognitif de type jeu sérieux, qui vise les enfants ayant des troubles d'apprentissage dans les écoles primaires, figure 2.6. Selon Chang *et al.*, la méthode « *Design-Based Research* » permet d'ajuster le processus de communication entre les intervenants durant la conception et l'intervention. Chang *et al.*, indiquent qu'ils ont évalué l'expérience des enfants pendant et après l'engagement dans l'application. Les résultats indiquent que 86.5 % des enfants ont aimé l'application, de plus, leur mémoire de travail s'est améliorée après la période d'expérimentation (Chang *et al.*, 2021).

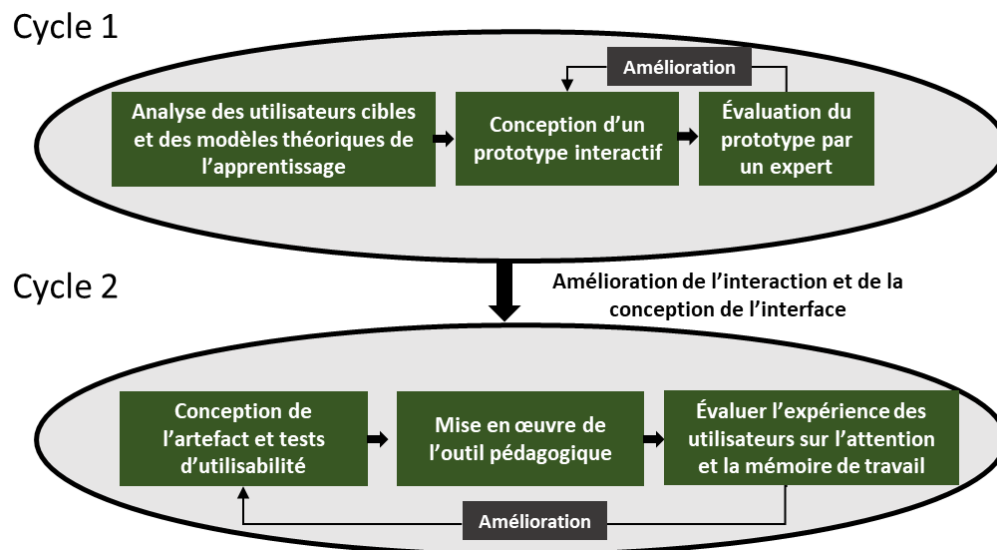


Figure 2.6 : Méthode « *Design-Based Research* » (Traduction libre) (Chang *et al.*, 2021, p. 4).

Par ailleurs, les résultats de l'étude de Van de Weijer-Bergsma *et al.* (2016) soulignent les qualités prédictives du jeu « *Monkey* » sur les aptitudes de la mémoire de travail. Selon les auteurs, le jeu « *Monkey* » est un instrument fiable et adapté pour l'évaluation en ligne de la mémoire de travail chez les élèves du primaire. Or, Taconnat (2012) mentionne que les informations dans la mémoire de travail sont rarement transférées dans la mémoire à long terme. De plus, l'évaluation des apprentissages par l'utilisation d'un jeu sérieux est difficile à effectuer, parce que les objectifs d'apprentissage sont généralement liés à un ensemble complexe d'objectifs (Henriksen, 2013 ; Kickmeier-Rust *et al.*, 2011).

Même si les jeux sérieux sont en pleine croissance et que les recherches se multiplient, peu de jeux spécifiques à l'apprentissage de la lecture ont été évalués dans des recherches, certains auteurs recommandent d'accentuer les études scientifiques dans ce domaine (Argenton *et al.*, 2015 ; Bediou *et al.*, 2018 ; Herbert *et al.*, 2018). De plus, il faut tenir compte des limites et des risques associés aux technologies numériques. La section 2.3.6 fait le point sur les caractéristiques préjudiciables associées aux jeux sérieux et ainsi nous permettre de développer des stratégies dans le but de minimiser les conséquences négatives attendues.

2.3.6 Limites et risques

Tout n'est pas parfait. Comme l'indique Reynard (2017), les principaux obstacles à l'utilisation des outils pédagogiques numériques sont les investissements financiers nécessaires pour l'implantation de la technologie, et la formation du personnel des maisons d'enseignements. Fernandez (2017) ajoute que les apprenants et les institutions sont les deux entités qui faciliteront l'intégration de ces nouvelles technologies, cependant ils existent des barrières importantes qu'il faudrait remédier, en particulier la formation des enseignants, et la qualité du contenu pédagogique. De plus, Tham *et al.* (2018) affirment que la société a une piètre opinion des technologies numériques. Pour améliorer l'acceptabilité sociale, la communauté scientifique doit pallier ses lacunes, premièrement en concevant des méthodes solides et efficaces pour la création, le développement et l'évaluation d'artefacts utiles pour la société, notamment en éducation (Tham *et al.*, 2018). Les auteurs ajoutent qu'il faut corriger le manque de connaissances des utilisateurs envers les technologies numériques.

La conception d'un jeu sérieux réaliste est ardue et requiert des ressources importantes (Cook *et al.*, 2019 ; Göbel *et al.*, 2016). Or comme le fait remarquer Tinwell (2015), les concepteurs ont avantage à créer des jeux sérieux simples, puisque les enfants hésitent à jouer avec un jeu trop réaliste. Qui plus est, l'évaluation des apprentissages lors de l'utilisation d'un outil pédagogique numérique exige des efforts importants et supplémentaires pour valider le transfert de connaissances (Henriksen, 2013 ; Kickmeier-Rust *et al.*, 2011).

Green et Seitz (2015) et McGonigal (2011) évoquent également le risque de « cyberdépendance » en milieu scolaire. Selon Green et Seitz, il faut limiter le temps de jeu à moins d'une heure par jour. En revanche, comme l'indiquent les auteurs, peu d'études sérieuses se sont penchées sur ce sujet.

McGonigal (2011) ajoute que le risque de dépendance est relié au « *fiero* » qui se définit par un sentiment de joie immense lors de victoire, les joueurs veulent le ressentir le plus souvent possible. McGonigal indique également que certains joueurs peuvent jouer plus de quarante heures par semaine à des jeux vidéo. Ce que confirment les psychologues, en stipulant le potentiel d'un risque de dépendance sévère lors d'une utilisation déraisonnable (Kardaras, 2016).

Quelques études indiquent que les risques associés au jeu vidéo sont réels et variés (de Castell *et al.*, 2010 ; Ireland et Payne, 2010 ; van Roy et Zaman, 2017). Que ce soit le risque d'augmenter le niveau de violence des joueurs, la radicalisation, la dépendance, sans négliger, la confidentialité des informations. Chacun des risques énumérés est important et doit être analysé de manière objective avant d'offrir les jeux à un public qui peut être vulnérable. Commençons par la violence, on doit avouer qu'elle est omniprésente dans les jeux vidéo. Green et Bavelier (2012), recommandent de supprimer les éléments de violences dans les jeux sérieux dédiés aux enfants.

En plus de la violence, d'autres controverses sont engendrées par le contenu que l'on retrouve dans les jeux vidéo, particulièrement la sexualité. Lewis *et al.* (2021) ajoutent qu'il est important de rester à l'affût d'utilisation abusive et non appropriée des technologies éducatives, particulièrement ceux dédiés aux enfants. Sans négliger que les parents, les enseignants et même parfois les apprenants sont réticents à accepter les jeux sérieux (Chuang et Chen, 2009). Si l'on veut introduire les jeux sérieux dans les établissements scolaires, les futures recherches devront comprendre et répondre aux inquiétudes des parties prenantes. Que ce soit sur l'efficacité des apprentissages ou les risques que représente l'utilisation de logiciels pédagogiques, entre autres la cyberdépendance.

Finalement, Hodgson *et al.* (2019) mentionnent qu'il faut une bande passante considérable pour transmettre un jeu vidéo en 3D, ce qui peut être un handicap important en milieu scolaire. L'accès à un réseau Wi-Fi de qualité et suffisamment puissant est primordial.

2.4 Conclusion de la revue

Les renseignements recueillis lors de cette revue de littérature ont permis d'approfondir nos connaissances et d'énoncer des lignes directrices en appui au développement du projet de recherche impliquant la conception d'un logiciel personnalisé favorisant l'apprentissage de la lecture pour de jeunes élèves qui présentent des symptômes reliés à la dyslexie et un déficit d'attention.

Ce que nous avons découvert, c'est que la majorité des études qui ont été réalisées sur le sujet confirme que si les jeux sérieux sont bien conçus ils sont utiles pour l'apprentissage (Andone et Frydenberg, 2019, Makransky *et al.*, 2019, et Xie *et al.*, 2019). De plus, Ba *et al.* (2019) ajoutent que les jeux sérieux offrent à l'apprenant une approche expérimentale novatrice et abordable. En effet, comme le mettent en évidence Mildner *et al.* (2015), un artefact comme un jeu sérieux permet de personnaliser l'apprentissage et le rend adapté aux élèves en difficulté puisqu'il autorise de varier la cadence. Cependant, ils doivent être créés en tenant compte des intérêts et des capacités des élèves.

Fernandez (2017) mentionne que l'objectif en éducation est d'améliorer le transfert de connaissances aux apprenants et non de promouvoir un outil pédagogique. Selon Fernandez, le système d'éducation doit offrir les meilleurs outils et programmes dans le but d'atteindre son but. Sans négliger, le fait que le système éducatif doit composer avec plusieurs parties prenantes pour atteindre son objectif, notamment le personnel et plus particulièrement le corps professionnel, les apprenants et l'industrie des logiciels et des infrastructures technologiques.

Comme notre public cible est un élève du premier cycle du primaire qui présente des difficultés d'apprentissage en lecture. Un JVAS pourrait être tout indiqué pour notre clientèle, puisque les effets positifs sont plus importants avec les apprenants qui rencontrent des difficultés d'apprentissage (Fernandez, 2017 ; Reynard, 2017 ; Wang *et al.*, 2018). Cependant, le développement d'un JVAS est complexe et notre projet ne fait pas exception. La section 2.5, Enjeux liés à l'étude, identifie les principaux défis dont nous tiendrons compte lors de notre projet de recherche.

2.5 Enjeux liés à l'étude

Nous constatons dans la revue de littérature que la personnalisation d'un JVAS par le changement de comportement du joueur-apprenant représente des défis majeurs dans le domaine. Le modèle de jeu que nous proposons doit soutenir l'apprenant en estimant la progression de l'apprentissage en cours de jeu, et faire parvenir l'information au module d'adaptation, qui à travers une méthode d'inférence effectuera les modifications au contenu. Or, Cyr (2016) mentionne que le niveau de connaissance du domaine de l'informatique permet de croire qu'il est envisageable de concevoir de nouvelles méthodes d'analyse computationnelle pour la personnalisation d'un programme d'apprentissage capable de s'adapter à l'élève.

Mais est-ce réaliste dans un contexte de ressources limitées ?

Nous croyons que oui, toutefois, dans le but de minimiser les risques associés au projet, et ainsi améliorer sa faisabilité, nous avons circonscrit les limites du projet : premièrement, en délimitant le public cible (enfants francophones âgés de 6 à 8 ans qui présentent des symptômes reliés à la dyslexie et un déficit d'attention), deuxièmement, en nous inspirant de modèles d'algorithme pour la personnalisation, de théories et concepts connus dans les domaines de connaissances de l'informatique des JVA et troisièmement, en nous inspirant des théories de l'apprentissage de la lecture.

Nous sommes conscients que les ressources financières demeurent le principal enjeu de notre projet de recherche. Comme le fait remarquer Plante (2016), la conception d'un jeu sérieux est onéreuse, parce qu'il requiert des ressources humaines spécialisées (programmeur, graphiste, scénariste, expert du domaine de connaissance, etc.). Sans négliger que l'utilisation d'artefacts éducatifs numériques nécessite des investissements financiers pour l'implantation de la technologie, et la formation du personnel des maisons d'enseignements (Lewis *et al.*, 2021). D'un autre côté, de plus en plus d'outils sont à notre disposition, notamment le moteur de jeu « Unity⁵ » et ses nombreux actifs disponibles.

⁵ Récupéré le 24 septembre 2024 du site <https://unity.com/fr>

Le deuxième enjeu de cette recherche est de découvrir un moyen d'identifier les marques numériques observables et représentatives des émotions et de l'apprentissage, dans le but de mettre en place les techniques de modélisation qui seront utilisées dans le JVAS (George *et al.*, 2013). Comme le font remarquer Schrader *et al.* (2017), pour améliorer la motivation et le développement des compétences, il faut identifier les actions et les réactions, ainsi que les éléments des mécaniques du jeu qui indiquent un changement dans les émotions, et dans l'apprentissage.

Le troisième enjeu est de créer un ensemble de tables dans une base de données avec des traces utilisables. Les tables de la base de données sont l'ensemble des connaissances que les algorithmes de personnalisation et d'apprentissage utilisent pour mettre à jour les modèles en fonction de son expérience. Cependant les informations contenues dans les tables de la base de données doivent être suffisamment intelligibles pour soutenir la génération d'hypothèses (Hurwitz *et al.*, 2015). Pour ce faire, nous devons créer des traces utilisables, ce qui nécessite de modéliser par un traitement statistique avec l'aide d'un algorithme, les marques numériques identifiées au départ (Champin *et al.*, 2013).

Le quatrième enjeu est de modifier ou de créer des algorithmes de personnalisation et de suivi d'apprentissage qui seront intégrés dans le système. Les règles d'inférence permettent l'adaptation et la personnalisation automatique des activités du système, dans le but d'accroître l'engagement du joueur-apprenant (Göbel et Wendel, 2016).

Le cinquième enjeu est l'intégration de la modélisation des connaissances dans l'ingénierie du système de formation. Les éléments dynamiques d'un système intelligent sont fondés sur les règles d'inférence construites à partir de techniques d'apprentissage machine.

Le sixième enjeu est la sélection des sujets dans une étude de cas. Puisque pour que l'étude soit crédible, nous devons nous assurer que les cas soient liés directement au sujet principal de l'étude et qu'ils apportent des éléments de réponses à la question de recherche (Yin, 2018). En sciences sociales et particulièrement en éducation, la méthodologie de l'étude de cas est couramment employée pour comprendre les phénomènes complexes en milieu naturel (Barlatier, 2018). De plus, Yin (2018) souligne qu'il est possible pour un chercheur d'employer une étude de cas multiple pour obtenir les données essentielles dans une recherche académique.

2.6 Conclusion

Ce chapitre synthétise la situation actuelle des connaissances en lien avec les jeux sérieux éducatifs, ce qui nous sensibilise aux nombreux défis que nous allons rencontrer lors de la réalisation de notre projet. Bien entendu, une recension des écrits ne permet de prendre connaissance que d'une infime partie des textes disponibles dans un domaine de connaissances. Notre compréhension du domaine va évoluer durant notre cheminement et probablement notre position aussi.

Avant tout, il est important de souligner que les exercices demeurent l'élément essentiel du JVAS, ils doivent être conçus selon un modèle médiatique et fondé sur les compétences recherchées (Moreno, 2006). Nous allons également tenir compte de la compatibilité du logiciel avec les plateformes et les technologies de l'information et de la communication qui sont accessibles et adaptées au public cible.

Finalement, il ne faut pas oublier que les jeux sérieux ne sont que des outils au service des humains, et que leurs conceptions doivent être fondées sur les théories du jeu ainsi que sur les théories éducatives dans le but de répondre aux objectifs pédagogiques de la formation. Le chapitre 3, cadre conceptuel et théorique, énonce les principaux concepts et théories et établit les liens qui soutiennent notre étude.

CHAPITRE 3

CADRE CONCEPTUEL ET THÉORIQUE

Dans ce chapitre, nous présentons notre position épistémologique et décrivons à travers les différentes méthodes que l'on retrouve dans la littérature, les concepts et théories qui soutiennent le travail de recherche ainsi que leurs relations. Le cadre conceptuel et théorique distingue les concepts et théories pour appuyer notre modèle. Il servira à définir notre approche et à restreindre nos définitions.

Selon Meunier (2017), les modèles conceptuels sont essentiels à la compréhension des phénomènes étudiés, cependant il faut tenir compte de plusieurs points de vue, ce qui rend leurs conceptions complexes, et demeure un défi pour la représentation des connaissances dans les systèmes informatiques. Par ailleurs, le cadre théorique consiste à exposer les liens qui relient les concepts et qui fondent notre démarche de recherche. Lors de la recherche de Lewis (2018), un jeu vidéo sérieux a été créé et évalué sur la cohérence du scénario ainsi que sur l'ergonomie du jeu par un test utilisateur en milieu naturel. Pour le design pédagogique de cette recherche, nous nous concentrons sur les théories d'apprentissages mises en évidence dans l'objet éducatif et les théories informatiques associées à l'intelligence artificielle qui seront nécessaires à la personnalisation de l'artefact.

Le modèle de connaissances que nous proposons a été modélisé à l'aide du logiciel « G-MOT⁶ ». « G-MOT » est un logiciel de modélisation graphique fondée sur la « Modélisation par objets typés » conçue par le professeur Gilbert Paquette au Centre de recherche LICEF de l'Université TÉLUQ (Basque, 2018 ; Paquette, 2005). La modélisation du modèle de connaissances, tel qu'illustré à la figure 3.1, trace le portrait du contenu qui sera couvert par le jeu, ce qui permet une meilleure visualisation. Notre cadre conceptuel et théorique tient également compte de l'interdisciplinarité du projet, entre autres les jeux sérieux éducatifs, les troubles de lecture, l'apprentissage, la psychologie cognitive et le modèle informatique développé lors de la création de l'artefact, en particulier l'analytique de données et l'intelligence artificielle. Noter que le lien A, représente une action, le lien C une composante, le lien I/P un intrant ou un produit, le lien R une relation dans le modèle de connaissances.

⁶ Récupéré le 8 octobre 2023 du site <https://gmot.teluq.ca/>

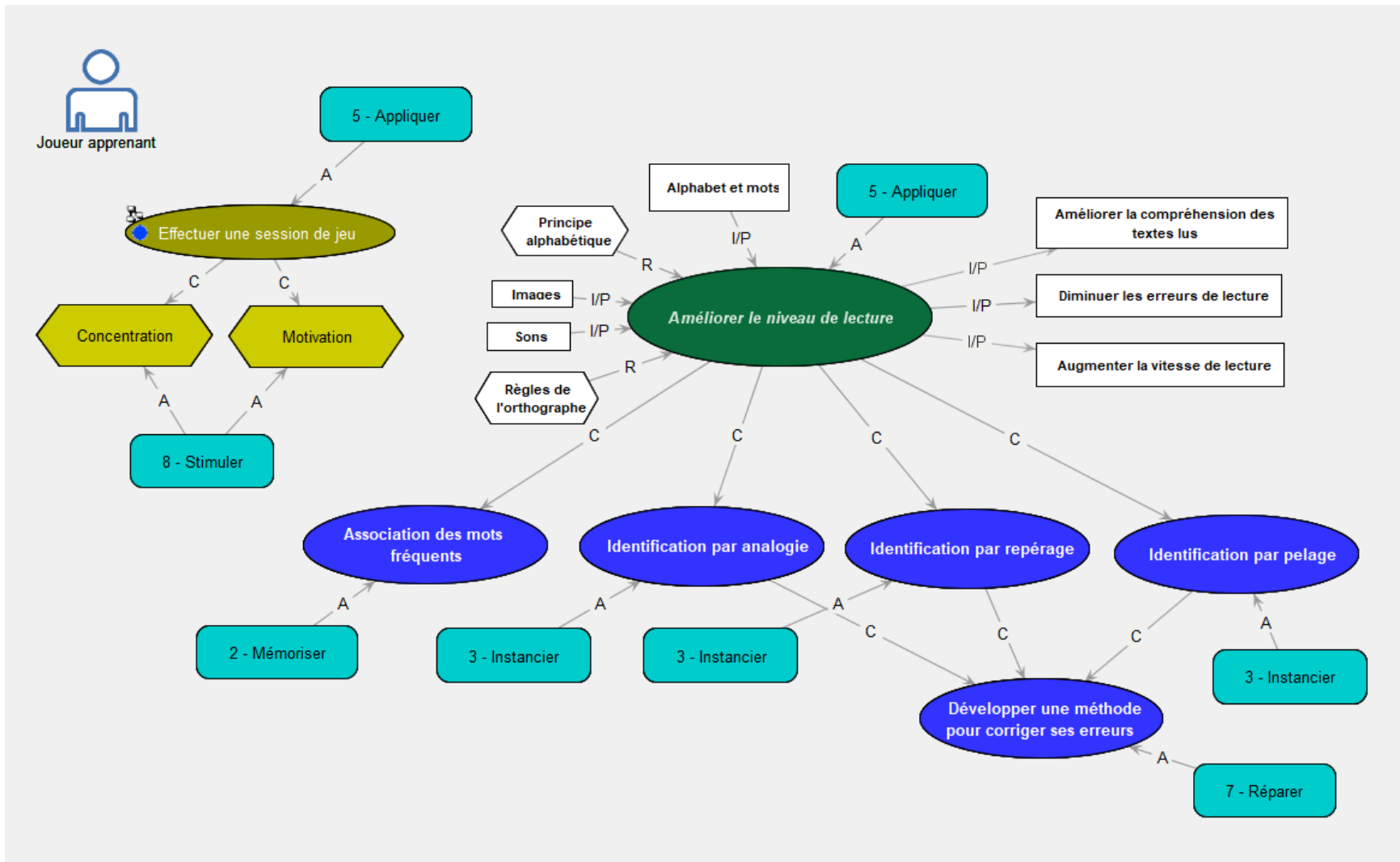


Figure 3.1 : Modélisation du modèle de connaissances à partir du logiciel « G-Mot »

3.1 Notre position épistémologique

L'épistémologie est l'étude des sciences ou de la connaissance dans son ensemble (Barreau, 2021). Pour Noël (2011), une réflexion épistémologique doit servir avant tout à définir ce que le chercheur veut accomplir. En ce qui nous concerne, notre étude a pour ambition de construire et de valider une représentation de la réalité dans le but de pallier un manque en ressources humaines. Cette recherche sera fondée principalement sur les paradigmes épistémologiques constructivistes et cognitivistes.

Le constructivisme s'appuie sur un processus d'apprentissage itératif, l'apprenant construit ses connaissances à travers une série d'expériences (Guba et Lincoln, 1994). Qui plus est, Noël (2011) fait remarquer que le paradigme constructiviste est bien adapté au raisonnement des sciences de l'artificiel, puisque ce paradigme vise à développer de nouvelles connaissances à partir de l'étude d'une situation réelle. Néanmoins, comme l'indique Kozanitis (2005), le développement des connaissances est une action qui se construit dans le temps, dans le but de corriger une situation existante, entre autres par l'analyse d'études de cas.

Les paramètres cognitivistes de l'outil pédagogique sont complémentaires puisqu'ils guident l'élève dans sa démarche pour acquérir de nouvelles connaissances de manière structurée (Kozanitis, 2005). Selon Kozanitis, l'élève progresse à travers les différents niveaux d'exercices et de rétroactions qu'il reçoit. Selon le courant cognitiviste, il est essentiel de connaître l'état de connaissances de chaque élève pour personnaliser son cheminement et ainsi conserver la motivation durant tout le parcours de la rééducation (Kozanitis, 2005). De plus, Taconnat (2012) souligne que nos connaissances actuelles augmentent nos possibilités d'ajouter de nouvelles informations, puisqu'elles amplifient nos mécanismes d'acquisition.

Par ailleurs, Taconnat (2012) souligne que les personnes sont rarement sensibilisées aux nombreux mécanismes qui nous permettent de mémoriser les informations et de les retracer aux besoins. Evans (2002) souligne que d'après la théorie des processus duaux, les gens agissent et ensuite réfléchissent. Selon cette théorie, il y a deux systèmes de raisonnement, le premier système est implicite, il s'enclenche automatiquement de manière inconsciente. Ce système est indépendant de nos facultés intelligentes et s'actionne par nos mécanismes d'apprentissages qui sont des éléments innés.

Tandis que le deuxième système est explicite, conscient, contrôlable et relié au langage (Evans, 2002). Ce système permet d'élaborer des hypothèses et est directement lié à notre intelligence. Evans mentionne que le premier système est responsable de l'intuition et de nos pensées illogiques. Les exercices et les rétroactions qui sont intégrés dans l'artefact pédagogique priorisent le deuxième système du raisonnement de la théorie des processus duaux, car ils incitent les apprenants à utiliser leurs mécanismes métacognitifs pour résoudre les énigmes. Nous soulignons également notre position sur la démarche de conception, elle doit tenir compte qu'un apprentissage efficace demande que l'apprenant soit actif, pas juste un spectateur passif (Ke *et al.*, 2020).

La conception d'un jeu sérieux requiert l'utilisation de méthodes qui sont fondées sur des concepts et théories liés à différents domaines de connaissances. De plus, comme l'indiquent Radianti *et al.* (2020), il est essentiel de concevoir à travers les méthodes identifiées une démarche structurée pour la conception d'applications pédagogiques. Nous avons identifié et énuméré par domaine de connaissances les théories, concepts et méthodes qui sont pertinents à notre étude, comme illustré au tableau 3.1, et nous les décrivons dans les sections 3.2 à 3.6. Dans le but de simplifier la lecture, nous présentons les données recueillies par domaine de connaissances.

Domaine	JEU SÉRIEUX ÉDUCATIF	TROUBLE DE LA LECTURE	APPRENTISSAGE	PSYCHOLOGIE COGNITIVE	INFORMATIQUE
Théorie et concept	Motivation	Dyslexie	Constructivisme	Mémoire	Traces
	Attention	Déficit d'attention	Cognitivisme	<i>Flow</i>	Intelligence artificielle
	Apprentissage	Mémoire lexicale	Métacognition	Autodétermination	Analytique de données
		Conscience phonologique		<i>ARCS</i>	Q-Matrice
Méthode	<i>Serious Games Mechanics</i>	<i>WIST</i>	<i>MISA</i>	Apprentissage distribué	Démarche de Bouvier
	Analyse des mécanismes	<i>JVA</i>	<i>CbKST</i>	Répétition	<i>PDKT-C</i>
	<i>Design-Base Research</i>		Q-Matrice	<i>Cognitive-affective model of learning with media</i>	Réseau de neurones profond

Tableau 3.1 : Théories, concepts et méthodes intégrés dans la conception de l'artefact.

3.2 Jeu sérieux éducatif

Comme le font remarquer Arnab *et al.* (2013), il n'existe pas de méthode formelle pour la création de jeux sérieux éducatifs. De même, la conception d'un tel outil est complexe, puisqu'il faut insérer une dimension sérieuse dans un jeu, sans pour autant perdre l'intérêt de l'apprenant. Fabricatore et López (2014) soulignent que les joueurs veulent des défis, du contrôle, avoir le sentiment d'accomplissement et obtenir des gratifications quand ils changent d'échelon. Or, les principes pour la conception d'un outil pédagogique ne s'incorporent pas naturellement lors de la création d'un jeu vidéo (Arnab *et al.*, 2013).

Nous nous intéressons au jeu parce qu'il augmente l'engagement des apprenants, cependant la raison d'être de l'artefact éducatif est l'apprentissage de nouvelles connaissances et compétences. Pour conserver l'efficacité pédagogique, il faut s'assurer de connecter de manière cohérente les mécanismes de l'apprentissage dans le scénario du jeu. Par ailleurs, Moreno et Mayer (2007) soulignent que les jeux sérieux éducatifs améliorent l'apprentissage si les méthodes d'instruction choisies sont alignées avec les théories cognitives de l'apprentissage. De plus, comme l'indiquent Moreno et Mayer dans leur modèle « *Cognitive-affective model of learning with media* », il est indispensable de déterminer les objectifs pédagogiques et de tenir compte de la charge cognitive associée au média qu'on prévoit utiliser. Par conséquent, pour la conception du volet pédagogique, nous appuyons notre démarche sur le modèle « *Serious Games Mechanics* », proposé par Lim *et al.* (2016) et sur la « méthode d'ingénierie pédagogique des systèmes d'apprentissage » (MISA) créé au Laboratoire en ingénierie cognitive et éducative (LICEF) sous la direction de Gilbert Paquette.

3.2.1 Modèle « *Serious Games Mechanics* »

Le modèle « *Serious Games Mechanics* » proposé par Lim *et al.* (2016) incorpore une classification fondée sur une taxonomie numérique simplifiée des compétences réflexives de Bloom par Anderson *et al.* (2001), avec le modèle « *Learning Mechanics & Game Mechanics* » de Arnab *et al.* (2013). Le modèle de Lim *et al.*, identifie les mécanismes à intégrer dans un artefact pédagogique, et trace des liens avec les compétences recherchées, tel que représenté dans le tableau 3.2.

Mécanismes ludiques (Arnab <i>et al.</i> , 2013), identifiées pour le JVAS		Compétences réflexives révisées de Bloom (Anderson et Krathwohl <i>et al.</i> , 2001)	Mécanismes de l'apprentissage (Arnab <i>et al.</i> , 2013), identifiées pour le JVAS	
Conception et édition	Jeu infini	Créer	Responsable	Modéliser
Responsable	Status		Responsabilité	
Apprendre en enseignant	Grilles		Planification	
Stratégie et planification			Orientation	
Points d'action	Optimiste	Évaluer	Évaluer	Réfléchir/discuter
Évaluer	Reconnaissances et pénalités		Collaboration	Méthodique
Collaboration	L'effet Pareto		Énoncer une hypothèse	
Découverte	Tour du jeu		Motiver	
Gestion des ressources			Intérêt	
Rétroaction	Rétroaction immédiate	Analyser	Analyser	Identifier
Réalisme			Expérimenter	Observation
Métagame			Rétroaction	Copier
Compétition	Sélection et collection	Appliquer	Action/tâche	Reproduire
Coopération	Simulation		Compétition	Simuler
Capture et élimination	Stress du temps		Coopération	
Mouvement	Défie		Démontrer	
Interactions				
Didacticiel	Rendez-vous	Comprendre	Objectiver	Instruction
Contagion	Jeu de rôle		Participation	Tuteur
Questions et réponses	Scénario du jeu		Questions et réponses	Étager
Action des scènes	La dynamique du comportement	Se rappeler	Découvrir	Observation
Jetons	Conditionnement opérant		Explorer	
Viralité	Information		Généraliser	
Plaisir	Niveau		Répéter	

Tableau 3.2 : Classification des mécanismes ludiques et de l'apprentissage fondés sur les compétences réflexives de Bloom. (Traduction libre) (Lim *et al.*, 2016, p.4).

3.2.2 Méthode MISA

La méthode MISA a été conçue il y a de cela 15 ans, elle intègre la modélisation des connaissances au design pédagogique et s'appuie sur les principes du génie logiciel et cognitif. Elle est fondée sur quatre axes.

1. Les connaissances et compétences.
2. Le scénario pédagogique.
3. Le modèle médiatique et le processus logistique.
4. Le module de diffusion, l'interface utilisateur.

MISA propose une logique de conception spécifique comme méthode d'ingénierie pédagogique. Chaque « élément de documentation » est relié à d'autres éléments de documentation. Par exemple, l'élément de documentation 212 lie les composantes utilisées adaptées et construites à partir des ontologies. Chaque décision repose sur d'autres décisions, entre autres les compétences sont définies sur la base des connaissances. Les « unités d'apprentissage » (UA) constituent un réseau des événements d'apprentissage qui visent le développement des compétences. L'utilisation de la méthode MISA évite des erreurs coûteuses, en s'assurant de bien analyser les besoins en formations et de bien circonscrire le projet éducatif. MISA identifie les éléments essentiels à la réussite, ceux qui rendent efficace un outil pédagogique.

3.3 Troubles de lecture

Comme nous l'avons mentionné précédemment, l'un des objectifs de cette étude est de vérifier si l'outil numérique créé améliore les compétences en lecture d'enfants rencontrant des difficultés d'apprentissage en lecture. Rappelons brièvement que le public cible pour cette recherche est un élève de langue française âgé de 6 à 8 ans, qui présente un ou des symptômes associés à la dyslexie et un déficit d'attention. Nous allons nous référer à quatre symptômes mentionnés par l'*American Psychiatric Association* (2020) pour identifier et sélectionner les enfants :

1. Une difficulté à lire, en particulier la lenteur et un nombre d'erreurs élevé.
2. Une difficulté à comprendre le sens du texte qu'il lit.
3. Une difficulté à l'orthographe, notamment une conscience phonologique faible.
4. Les enfants rencontrent des difficultés de concentration et ne portent pas assez attention aux détails.

Billard et Delteil-Pinton (2010) définissent la dyslexie développementale « comme un trouble de l'acquisition de la lecture avérée, durable, inattendue qui survient chez un enfant intelligent, dans des conditions d'apprentissages normales sans pathologie sensorielle, psychiatrique ou neurologique lésionnelle » (p. 1734). De plus, Echenne (2002) indique qu'entre 30 et 50 % des enfants dyslexiques souffrent également d'un déficit de l'attention. Sans oublier, l'étude de Monzalvo et Dehaene-Lambertz (2013) qui a permis avec l'aide de l'imagerie par résonance magnétique de découvrir que l'activité de la région frontale gauche du cerveau est différente entre les lecteurs non dyslexiques et les dyslexiques.

Or, même si cette pathologie est irréversible, et que certaines parties du cerveau sont affectées de manière permanente, il faut promouvoir la lecture des enfants dyslexiques, parce que le cerveau est flexible et souple et que certaines régions limitrophes sont activées lors de la lecture. De plus, comme l'indique Gala (2015), il est possible de promouvoir la lecture chez les élèves dyslexiques, en simplifiant les textes et en les rendant disponibles.

L'outil numérique s'inspire de recherches dans le domaine des troubles de lecture chez les enfants. En particulier, celle de Shaywitz et Shaywitz (2006) qui mentionnent qu'une méthode explicite pour l'apprentissage de la lecture est préférable. Selon plusieurs auteurs, l'enfant apprend à déchiffrer le mot en imaginant son sens à partir de l'écrit (Billard, 2016 ; Dehaene, 2008 ; Frith, 1999 ; Shaywitz et Shaywitz, 2006).

3.4 Théories de l'apprentissage

Selon Kozanitis (2005), les théories de l'apprentissage se divisent principalement en quatre paradigmes : le béhaviorisme, le cognitivisme, le constructivisme et le socioconstructivisme. Pour cette étude, nous nous concentrons sur deux courants théoriques pédagogiques, soit le constructivisme et le cognitivisme.

3.4.1 Constructivisme

Le cadre théorique constructiviste est fondé avant tout sur la construction des connaissances par l'apprenant. L'apprenant est conscient de ce qui se passe dans son esprit et utilise ses facultés cognitives, c'est-à-dire son processus métacognitif pour s'adapter (Vygotsky, 1933). Boyadjian et Zogheib (2011) mentionnent l'importance pour l'enfant de comprendre sa situation et d'avoir un certain contrôle sur ses difficultés. Selon Boyadjian et Zogheib, cette prise de conscience favorise la rééducation et améliore l'apprentissage. De plus, Vygotsky (1933), mentionne que l'attention et le niveau d'intérêt de l'enfant sont les facteurs les plus influents sur les connaissances qu'il mémorise. Selon la théorie de la zone proximale de développement, un élève se situe dans une zone de confort selon ses expériences (Vygotsky, 1933). Tant que les nouvelles connaissances à acquérir restent dans cette zone, il peut apprendre seul. Or, lorsqu'il atteint un seuil limite, il a besoin d'aide pour progresser et passer à une zone supérieure (Vygotsky, 1933).

Jean Piaget, un des pères fondateurs du constructivisme, décrit comment se construit le savoir selon les multiples stades de développement d'un être humain. Pour Piaget (1955), il y a des fonctions biologiques innées dans le cerveau qui autorisent l'intégration d'information. Ces fonctions se complexifient pour s'adapter à notre environnement. On passe par des phases de développement plus complexe qui améliore la compréhension de concepts plus abstraits. Selon Piaget (1964), il y a quatre stades de développement, le stade sensori-moteur (avant 2 ans), le stade préopératoire (2 à 7 ans), le stade opératoire concret (7 à 12 ans) et finalement, le stade formel (12 à 16 ans).

Comme notre public cible se situe au début du stade opératoire concret, nous avons créé un outil adapté à eux. Par exemple, un enfant de 7 ans nécessite un support concret et manipulable pour l'acquisition de nouvelles connaissances.

3.4.2 Cognitivism

L'approche cognitive laisse aux apprenants une multitude de cheminements qui s'adaptent aux différences individuelles. Le courant cognitive est fondé sur nos capacités cognitives, entre autres à communiquer, à percevoir notre environnement, à nous concentrer, à mémoriser et à apprendre. D'après Kozanitis (2005), l'approche cognitive envisage le fonctionnement du cerveau humain comme une structure complexe semblable à un ordinateur. Le courant cognitive aborde l'aspect de l'acquisition graduelle de nouvelles connaissances et met l'accent également sur les stratégies métacognitives des individus (Kozanitis, 2005). Notre objet pédagogique offre à l'apprenant d'acquérir de nouvelles connaissances à son rythme, et met à la disposition de l'apprenant un mécanisme pour l'aider dans son parcours ou bien pour faire une pause, ce qui accorde des moments de réflexion.

3.4.3 Métacognition

La métacognition est la compréhension de notre propre démarche d'apprentissage, notamment la connaissance de nos compétences et la nécessité de faire des rappels. Comme le fait remarquer Vygotsky (1933), la capacité de mémorisation d'un enfant est influencée par son âge et ses compétences à développer sa mémoire avec des techniques de mémorisation. Rodet (2003) mentionne également qu'intégrer des activités métacognitives permet à l'apprenant de mieux connaître ses mécanismes d'apprentissages, ce qui améliore sa capacité à assimiler de nouvelles connaissances. De plus, Rodet ajoute que les activités métacognitives sont bénéfiques durant l'ensemble du processus d'apprentissage.

Nous croyons qu'il est important d'indiquer que les apprenants s'approprient leurs nouvelles compétences à travers leurs parcours, cependant comme le fait remarquer Romainville (2007), on peut les aider à les développer et à les utiliser efficacement. La section 3.5 présente certains éléments de la psychologie cognitive qui améliorent l'efficacité des outils pédagogiques.

3.5 Psychologie cognitive

Selon Léger (2016) « le but de la psychologie cognitive est de comprendre l'acquisition, l'organisation et l'utilisation de nos connaissances » (p. 3). Dans cette section, nous nous intéressons aux fonctions psychologiques reliées à la mémoire et à la motivation.

3.5.1 Mémoire

La mémoire est la faculté d'acquies de nouvelles informations, de les retenir et de les récupérer. Selon Baddeley (1997), la mémoire est formée de trois différents systèmes situés dans le cerveau, la mémoire sensorielle, la mémoire à court terme et la mémoire à long terme. De plus, comme l'indique Tacconnat (2012), les composantes de la mémoire prennent forme à différentes étapes du développement, tel que représenté à la figure 3.2.

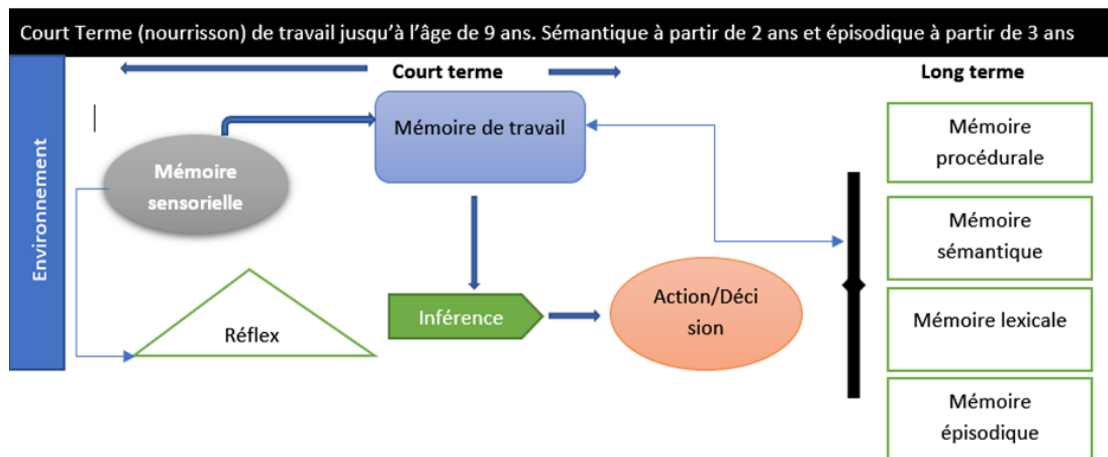


Figure 3.2 : Les composantes de la mémoire inspirée de Robert (2018) et de Tacconnat (2012).

3.5.1.1 Mémoire sensorielle

Selon Robert (2018), la mémoire sensorielle est le premier niveau d'entrée à partir de la sensation qu'elle perçoit de l'environnement, elle retient sans traiter, passif, difficile à étudier et très bref. Les informations de la mémoire sensorielle disparaissent généralement en moins de deux secondes, par exemple l'image d'une affiche (Taconnat, 2012). La mémoire sensorielle est iconique (stimuli visuels) et échoïque (stimuli auditifs), elle mémorise temporairement les images et les sons que l'on entend, notamment la musique (Robert, 2018).

3.5.1.2 Mémoire à court terme

La mémoire à court terme est située dans le cortex frontal du cerveau. Selon Taconnat (2012), la mémoire à court terme nommé également mémoire de travail sert à mémoriser un nombre restreint d'informations, que nous manipulons, et conservons, pendant une courte durée, le temps d'effectuer un travail de réflexion et de raisonnement.

Selon la loi de Miller, la mémoire de travail ne peut traiter qu'environ 7 éléments ou regroupement d'éléments en même temps, en un très court laps de temps, environ 30 secondes (Miller, 1956). Selon Baddeley *et al.* (1986), on traite les nouvelles données dans la mémoire de travail ensuite, on élimine l'information ou on la mémorise sous forme de traces mnésiques dans l'une des mémoires à long terme. Néanmoins, Taconnat (2012) fait remarquer que les informations sont rarement transférées dans la mémoire à long terme.

3.5.1.3 Mémoire à long terme

Taconnat (2012) indique que la mémoire à long terme se compose de plusieurs éléments. Elle fait la distinction entre les souvenirs déclaratifs que l'on conserve dans la mémoire épisodique et les informations non contextualisées dans la mémoire sémantique. Tandis que les souvenirs non déclaratifs sont conservés dans la mémoire procédurale. Selon Taconnat, on récupère les informations de la mémoire procédurale inconsciemment, lorsqu'on ouvre une porte par exemple. Toutefois, il faut être conscient pour récupérer les données déclaratives, par exemple expliquer une mésaventure qui nous est arrivée.

3.5.1.3.1 Mémoire épisodique

La mémoire épisodique représente les souvenirs de notre vie, Taconnat (2012) indique qu'elle est essentielle à ériger notre identité. Cependant, pour que la trace mnésique soit durable, l'événement doit être marquant. Selon Taconnat, il est important que l'émotion ressentie lors du souvenir soit intense, positivement (la joie) ou négativement (la peur), l'intensité de l'émotion est un facteur de durabilité. Taconnat ajoute que l'hippocampe est un élément essentiel de la mémoire épisodique, il a comme fonction d'enregistrer l'information et de la récupérer, une blessure à cette partie du cerveau peut provoquer l'amnésie. Pour Taconnat, la procédure de la mémoire épisodique, va de l'encodage des données en traces mnésiques, ces traces sont ensuite conservées à long terme et finalement la réutilisation des informations s'effectue de manière consciente et délibérée au besoin.

3.5.1.3.2 Mémoire sémantique

La mémoire sémantique conserve les informations non contextualisées. C'est-à-dire que pour récupérer les données de cette mémoire nous n'avons pas à nous souvenir de notre état d'âme. Comme le souligne Taconnat (2012), la mémoire sémantique sert à conserver nos connaissances en général, on sait qu'une pomme est sucrée, cependant on ne peut se rappeler quand cette information nous a été transmise. La mémoire sémantique se situe principalement dans le cortex frontal et le cortex temporal du cerveau.

3.5.1.3.3 Mémoire lexicale

La mémoire lexicale est la mémoire des mots, elle est indispensable lors de l'apprentissage de la lecture. La mémoire lexicale garde en mémoire l'orthographe des lettres et des mots. À partir du moment où le mot est décodé, il est mémorisé et offre un accès global à son orthographe et à son sens (Valdois, 2016).

3.5.1.3.4 Mémoire procédurale

La mémoire procédurale est présente à la naissance, selon Taconnat (2012), c'est la mémoire implicite des actions et des procédures. Nous l'utilisons inconsciemment, toutefois les traces mnésiques encodées dans cette mémoire sont profondes et très stables dans le temps.

Finalement, Taconnat (2012) souligne qu'il y a plusieurs facteurs qui ont une incidence sur l'efficacité de la mémoire, entre autres :

- l'attention est essentielle lors de l'encodage de l'information, elle améliore la stabilité à long terme des données ;
- il nous faut du repos pour que l'enregistrement des données soit de qualité. Le sommeil est primordial pour l'attention, en plus, lorsqu'on dort notre cerveau consolide l'information dans notre mémoire par le rappel ;
- les émotions fortes augmentent notre motivation à retenir l'information et améliorent aussi sa récupération ;
- nos connaissances actuelles augmentent nos possibilités d'ajouter de nouvelles informations, à cause des mécanismes d'acquisition de nouvelles connaissances que l'on nomme métacognition ;
- la période, et le temps de l'apprentissage entraînent des conséquences sur la qualité des informations mémorisées. Selon l'individu, il est préférable d'acquérir de nouvelles connaissances le matin ou l'après-midi, il est aussi recommandé de faire des rappels pour améliorer la durabilité des données dans notre mémoire, sans oublier qu'il est reconnu que « l'apprentissage distribué » (un laps de temps plus long entre les rappels) est plus efficace que « l'apprentissage massé » (laps de temps court entre les rappels) ;
- nos champs d'intérêt et notre compréhension d'un domaine de connaissance sont des facteurs non négligeables, puisqu'il est plus facile de mémoriser des informations qui nous intéressent et des concepts que nous comprenons ;
- l'association des objets qui se ressemblent s'ils font partie de la même catégorie est plus difficile à distinguer, il faut modifier la perception des attributs de chacun des objets d'une même catégorie, pour améliorer leur différenciation, notamment par l'utilisation du double codage, visuel et auditif par exemple.

Lors de la création de l'artefact, nous tenons compte des facteurs qui influencent positivement la mémoire, entre autres, l'importance de la répétition et l'utilisation de « l'apprentissage distribué ». Comme le fait remarquer Lefebvre (2016), on peut favoriser le transfert de compétence en lecture des enfants en répétant les nouvelles informations. Selon Lefebvre, l'enfant doit décoder un nouveau mot jusqu'à huit fois avant de le mémoriser dans sa mémoire lexicale.

3.5.2 Théories motivationnelles

Plusieurs théories motivationnelles ont été présentées depuis le milieu du 20^e siècle. Notamment, la théorie de la hiérarchie des motivations exposée par Abraham Maslow en 1943. La hiérarchie des motivations est actuellement connue sous le nom de « Pyramide de Maslow », elle définit la différence entre besoin et motivation, notamment dans sa hiérarchisation (Maslow, 2008). Selon Maslow, un individu doit combler ses besoins un à la suite de l'autre (physiologiques, de sécurité, d'appartenance, d'amour et d'estime de soi) avant de s'émanciper. Puis, en 1959 Frederick Herzberg propose « La théorie des deux facteurs » (Herzberg, 1968). Les travaux d'Herzberg sont fondés sur les recherches entreprises au début du 20^e siècle par l'ingénieur Frederick W. Taylor sur la motivation des travailleurs (Taylor, 2003). « La théorie des deux facteurs » décrit les deux types de facteurs qui influencent la psychologie, soient les facteurs intrinsèques qui sont liés à l'automotivation (les intérêts personnels) et les facteurs extrinsèques (le salaire, la sécurité, etc.) (Herzberg, 1968).

En ce qui nous concerne, nous nous intéressons à trois théories motivationnelles contemporaines qui traitent de la motivation de jeunes enfants en situation d'apprentissage. Les trois théories sur lesquelles notre étude s'appuie sont : la théorie de « l'autodétermination » de Ryan et Deci (2000), la théorie du « *flow* » de Csikszentmihalyi (1991) et la théorie motivationnelle ARCS de Keller (2000).

3.5.2.1 Théorie de « l'autodétermination »

La théorie de « l'autodétermination » de Ryan et Deci (2000) est fondée sur trois besoins psychologiques que les humains tentent de satisfaire : l'autonomie, la compétence et la sociabilité. Ryan et Deci mentionnent que la motivation d'un être humain à persévérer dans une activité peut être intrinsèque ou extrinsèque. Selon les auteurs, la motivation intrinsèque est liée au plaisir qu'a un individu à effectuer une activité. Tandis que, la motivation extrinsèque est reliée à des facteurs externes, comme la possibilité de recevoir une récompense (Ryan et Deci, 2000). Selon les auteurs, la motivation intrinsèque favorise l'autodétermination, parce qu'elle accroît la sensation de plaisir et de satisfaction. Sans négliger, comme l'indiquent Ryan et Deci, les enfants sont curieux de nature, ils ne cherchent pas obligatoirement une récompense, ils veulent simplement explorer pour découvrir. En revanche, l'expérience doit être plaisante pour les enfants, sinon ils vont renoncer rapidement (Ryan et Deci, 2000).

3.5.2.2 Théorie du « *flow* »

En 1991, Csikszentmihalyi expose la théorie motivationnelle du « *flow* », qui postule qu'une activité plaisante apporte une motivation intrinsèque. Selon Csikszentmihalyi, l'individu ne recherche pas d'autre sensation que le simple plaisir. Le « *flow* » se définit comme un sentiment d'immersion, le joueur est dans un état second, il est déconnecté de la réalité (Csikszentmihalyi, 1991). Certains auteurs (Alvarez et Djaouti, 2010 ; Craig *et al.*, 2004) appuient la théorie du « *flow* ». Les auteurs conseillent aux créateurs de jeux sérieux d'intégrer des mécanismes ludiques avec des niveaux de difficulté progressifs tout au long du parcours, pour ainsi conserver l'intérêt de l'apprenant.

3.5.2.3 Théorie ARCS

Selon Li et Keller (2018), le modèle motivationnel ARCS de Keller est utilisé pour la conception d'outils pédagogiques depuis plus de 30 ans. Pour Keller (2000), il faut que l'objet pédagogique inclue de l'inattendue, des exercices excitants et appropriés au niveau de compétence de l'élève.

Keller (2000) ajoute l'importance d'explicitement aux participants les objectifs à atteindre, ce qui permet d'implanter un environnement où l'élève se sent en confiance. Keller insiste pour que l'élève puisse commettre des erreurs et recommencer sans préjudice. Sans négliger, comme l'indique Keller de l'importance d'une rétroaction immédiate et positive pour l'apprentissage. Nous croyons comme Ucar et Kumtepe (2016) que le modèle ARCS est pertinent pour la création d'un jeu sérieux.

Lors de la conception d'un artefact, les concepteurs doivent s'appuyer sur les théories éducationnelles et motivationnelles décrites antérieurement. En intégrant les mécanismes et paramètres pertinents à l'adaptation du parcours du jeu, et à la personnalisation de la démarche pédagogique, pour ainsi conserver la motivation des participants durant l'expérimentation.

D'un autre côté, Lacko (2019) fait remarquer que le choix de la technologie en éducation a un impact significatif sur l'expérience des apprenants. En particulier, les impacts psychologiques comme la motivation et l'apprentissage actif. La section 3.6 présente les concepts et théories du modèle informatique qui appuient la création et le développement de l'objet pédagogique de l'étude.

3.6 Concepts et théories du modèle informatique associées à l'étude

Un logiciel pédagogique pertinent doit évaluer les compétences des apprenants, et ainsi offrir un continuum d'informations et d'exercices adaptés à l'acquisition de nouvelles connaissances et au développement de nouvelles compétences (Göbel *et al.*, 2016). L'avantage d'un logiciel pédagogique est son potentiel à s'ajuster à chaque apprenant selon son rythme et ses habiletés d'apprentissage. Les éléments dynamiques d'un système intelligent numérique sont fondés sur le moteur d'inférence construit à partir de techniques d'apprentissage machine, par exemple un réseau bayésien dynamique ou un réseau de neurones artificiels. Le moteur d'inférence est relié aux autres modules du système et autorise une sélection dynamique du contenu pédagogique selon les besoins spécifiques de chaque apprenant (Bourdeau *et al.*, 2014). En outre, il existe plusieurs modèles d'artefact éducatif numérique, certains sont conçus selon l'architecture multiagent, ils possèdent plusieurs composantes qui travaillent de façon autonome. Selon Bourdeau *et al.* (2014), les artefacts ont une base de données de connaissance et un engin de raisonnement, toutefois chaque composante est interreliée et fournit plusieurs services ajoutés. Or, comme le fait remarquer Woolf (2009), concevoir une architecture efficace est complexe, tant par le choix des composantes que par leur interaction avec les humains. Pour cette étude, la conception du logiciel éducatif est inspirée de concepts et théories issues des modèles informatiques pertinents à notre projet.

3.6.1 Analyse de données

Pour faciliter l'adaptation de l'apprentissage, Mille et Prié (2006) proposent la théorie des traces. Selon Mille et Prié, pour personnaliser un logiciel, il est nécessaire d'identifier les traces observables qui sont liées aux facteurs humains qui affectent les réactions des élèves dans un système d'apprentissage. Entre autres, les émotions : motivation, immersion, frustration et ennui, de chaque élève. Dewan *et al.* (2019) ajoutent qu'il est possible d'évaluer le niveau d'engagement d'un apprenant en observant certains comportements, notamment l'ennui et le plaisir. Selon Schrader *et al.* (2017), pour améliorer la motivation et le développement des compétences, il faut identifier les actions, les réactions et les éléments des mécanismes du jeu qui indiquent un changement dans l'apprentissage de l'élève. Cependant, l'identification des marques présuppose une compréhension des données disponibles et de leurs accessibilités, sans oublier le choix des éléments du jeu qui doivent être modifiés pour faire varier le niveau de compétence, et ceci pour chaque élève (Champin *et al.*, 2013 ; Schrader *et al.*, 2017).

Les travaux de Bouvier *et al.* (2014) proposent une démarche qui réunit la théorie de « l'auto-détermination » « de l'activité » et du « *flow* », dans le but d'identifier les comportements reliés à la persévérance des élèves. La théorie « de l'activité » voit le jour dans le cadre d'une recherche de Vygotsky (1933), sur la zone proximale de développement. Par la suite, Aleksei Leontief qui s'intéresse à la conscience et à l'activité développe la théorie « de l'activité », notamment en identifiant plusieurs niveaux d'activités humaines (Olry, 2019). Le premier niveau est l'activité pour satisfaire les besoins et la motivation. Le deuxième niveau correspond aux actions orientées vers le but à atteindre. Finalement, le troisième niveau représente les opérations pour atteindre le résultat attendu.

La démarche de Bouvier *et al.* (2014) commence par une opération d'observation de la trace primaire, par la suite, d'une action qui modélise la trace à un niveau intermédiaire, finalement, d'une activité qui traite la trace intermédiaire au plus haut niveau, tel qu'illustré à la figure 3.3. Voici quelques exemples de traces capturées durant l'observation :

- demander de faire répéter une consigne ;
- solliciter de l'aide ou une pause ;
- résultat des indicateurs insérés dans le parcours du jeu.

La transformation des traces de l'objet numérique doit permettre d'effectuer un diagnostic cognitif de chaque apprenant. Le diagnostic cognitif doit être réalisé à des moments précis, lors du parcours du jeu. Par la suite, selon les habiletés d'apprentissage de l'apprenant, l'objet numérique personnalise le cheminement du jeu à l'aide d'inférences. Davis *et al.* (1993) soulignent que la représentation fondamentale du raisonnement intelligent détermine la série d'inférences possibles.

Selon Davis *et al.* (1993), la complexité est de déterminer la série d'inférences qui devra être implantée pour atteindre l'objectif. Dans la section 3.6.2, nous présentons l'approche que nous préconisons pour la personnalisation de l'objet pédagogique lors de la conception de l'objet pédagogique.

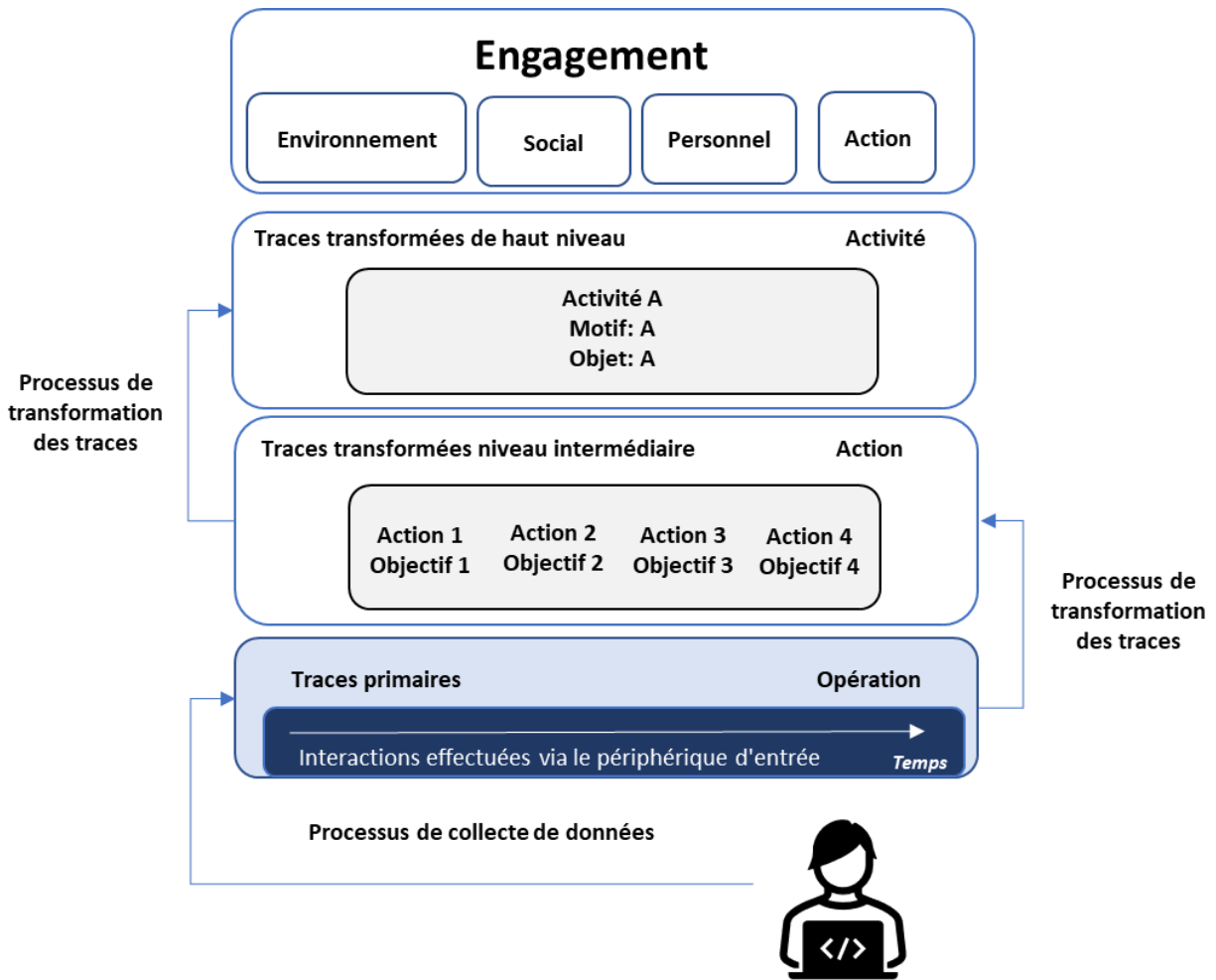


Figure 3.3 : La démarche proposée par Bouvier (Traduction libre) (Bouvier *et al.*, 2014, p. 426).

3.6.2 Personnalisation par l'intelligence artificielle

La personnalisation de l'outil numérique est essentielle pour conserver l'engagement de l'apprenant. Néanmoins, comme le font remarquer Kayali *et al.* (2015), il faut adapter les défis au joueur-apprenant, puisque les préférences des joueurs diffèrent selon les genres et l'âge du public cible. En revanche, la personnalisation d'un outil numérique s'avère complexe, puisque la progression doit être graduelle et flexible pour s'adapter aux besoins des apprenants (van Roy et Zaman, 2017). Par conséquent, l'outil doit effectuer les modifications à partir d'un diagnostic cognitif qui renseigne l'artefact sur l'état de compétences de l'apprenant à des périodes spécifiques durant son cheminement.

Pour effectuer la personnalisation, le modèle *PDKT-C* que proposent Chen *et al.* (2018), offre de multiples avantages, notamment la précision des prédictions lors du diagnostic cognitif, et un cadre structurel pour hiérarchiser les niveaux d'un domaine de connaissances. Le modèle *PDKT-C* de Chen *et al.*, est une extension du modèle « *Deep Knowledge Tracing* » de Piech *et al.* (2015). Chen *et al.*, y insèrent le modèle *CbKST* d'Augustin *et al.* (2013), qui intègre une série de compétences dans le modèle du domaine, entre autres par la relation de préséance.

3.6.2.1 Modèle « *Deep Knowledge Tracing* » de Piech *et al.* (2015)

Dans le domaine de l'éducation, et particulièrement pour effectuer un diagnostic cognitif d'un apprenant dans un artefact d'apprentissage, Piech *et al.* (2015) indiquent que le type de réseau le plus efficace est le « réseau de neurones récurrent », puisqu'il offre de meilleures prévisions que les modèles précédents. Selon Piech *et al.*, un « réseau de neurones récurrent » peut identifier et emmagasiner les composantes essentielles à l'évaluation en continu des compétences développées par un apprenant. Piech *et al.*, soulignent que la représentation des « réseaux de neurones récurrents » a l'avantage d'employer les données précédentes pour effectuer une prévision future. Amidi et Amidi (2019) ajoutent que les « réseaux de neurones récurrents » gèrent des entrées de grande taille, le système n'augmente pas avec le nombre d'entrées, et les coefficients ne sont pas affectés par le temps.

3.6.2.2 Modèle *CbKST* d'Augustin *et al.* (2013)

Selon El-Kechaï *et al.* (2015), le modèle *CbKST* est efficace pour modéliser la structure des compétences, et offre une aide précieuse pour la modélisation des prérequis lors de la conception de jeux sérieux. Toutefois, la hiérarchisation des compétences doit se faire selon les niveaux des concepts.

La méthode *CbKST* est fondée sur trois concepts :

1. La relation de préséance, qui consiste à identifier les compétences qui doivent être acquises avant de passer à la suivante.
2. L'état de compétence énumère les différentes possibilités d'acquisition de connaissances.
3. La structure de compétence qui représente l'ensemble des états de compétences possibles.

Il est possible également comme le mentionnent El-Kechaï *et al.* (2015), d'intégrer les trois concepts de la méthode *CbKST*, dans une Q-Matrice pour modéliser la structure de compétences. Cette stratégie facilite le travail de représentation du domaine de connaissances, tel qu'illustré à la figure 3.4.

Niveau	(a)				Les états de compétences (CS)
	(b)	(c)	(d)	(e)	
1	X				(b)
2	X	X			(b, c)
3	X	X			(b, c)
4	X	X			(b, c)
5	X	X	X		(b, c, d)
6	X	X	X		(b, c, d)
7	X	X	X	X	(a)

Figure 3.4 : Exemple d'une Q-Matrice inspirée de El-Kechaï *et al.* (2015)

Selon El-Kechaï *et al.* (2015), l'approche fondée sur le *CbKST* adapte un jeu sérieux selon le niveau de compétence du joueur-apprenant. Pour être efficace, un objet pédagogique doit offrir un défi intéressant, mais réalisable. Pour ce faire, il faut effectuer un diagnostic cognitif après chaque étape du jeu, et modifier les paramètres selon les nouvelles compétences développées. Le nouvel état des compétences des apprenants permet d'insérer les mécanismes d'apprentissage adéquat, c'est-à-dire les exercices qui correspondent aux compétences de l'apprenant à l'instant T.

Selon Chen *et al.* (2018), il est possible et avantageux de développer des méthodes de modélisations fondées sur les prérequis. Chen *et al.*, suggèrent de modéliser par contrainte les exercices et de les relier entre eux selon le niveau de compréhension des concepts associés. Le modèle *PDKT-C* de Chen *et al.* (2018) est fondé sur les « réseaux récurrents » de type « mémoire court-terme et long terme ».

Un réseau de type « mémoire court-terme et long terme » offre selon Piech *et al.* (2015), plusieurs avantages, entre autres de capturer les données nécessaires à l'évaluation dynamique des compétences acquises et est bien adapté à l'artefact d'apprentissage.

Les « réseaux à mémoire court-terme et long terme » offrent de meilleures prévisions, et le codage des connaissances du domaine par des experts n'est plus essentiel (Piech *et al.*, 2015). Toutefois, comme l'indiquent Piech *et al.*, l'entraînement d'un « réseaux à mémoire court-terme et long terme » demande beaucoup de données.

Lorsque les jeux de données sont limités, il peut être risqué d'utiliser un « réseau de neurones récurrent » pour l'entraînement. En revanche, il est possible de développer et entraîner avec une base de données limitée « un réseau de neurones profond » avec deux couches cachées. Comme le fait remarquer Russell et Norvig (2010), les « réseaux de neurones artificiels multicouches » avec des couches cachées permettent de représenter des fonctions non continues. Les réseaux multicouches détectent les caractéristiques du poids des neurones dans les modèles d'entrée, ces caractéristiques sont ensuite utilisées par la couche de sortie pour déterminer le motif de sortie et transmettre une erreur de signal vers la fonction d'optimisation (Russell et Norvig, 2010).

3.6.3 Description du processus d'apprentissage automatique inductif

Dans un procédé d'apprentissage inductif, le système essaie d'induire une règle générale à partir d'un ensemble d'instances observées. Domingos (2012) indique qu'il y a trois éléments qui composent l'apprentissage machine : la représentation, l'évaluation et l'optimisation.

3.6.3.1 Représentation

Selon Russell et Norvig (2010), pour représenter un événement, il faut recueillir des données d'entrées basées sur un ensemble d'informations et d'attributs qui produisent une sortie. Ensuite, il faut les regrouper dans un seul tableau, les nettoyer et les transformer pour qu'ils soient manipulables mathématiquement par les algorithmes d'apprentissages. L'objectif est de trouver une fonction qui généralise bien le phénomène observé. La représentation consiste à généraliser à partir de classes. Toutefois, il est important de vérifier si les caractéristiques d'entrées influencent suffisamment la cible recherchée, dans le cas contraire il faudra produire de nouvelles caractéristiques.

Russell et Norvig (2010) indiquent qu'il est préférable de spécialiser les tâches du classificateur, pour faciliter l'apprentissage. La classification est basée sur le niveau d'abstraction et le nombre de couches. Russell et Norvig mentionnent également la représentation distribuée, qui consiste en une liste d'attributs pour chaque type d'entrée que le réseau apprend à détecter. La spécialisation des couches permet à l'information d'être distribuée sur plusieurs niveaux. On construit une hiérarchie de catégorie, et ensuite on entraîne les nœuds, et plus on les entraîne plus le résultat est précis et représentatif.

Le RNA est un autre type de représentation. Le RNA est capable d'apprendre, il se sert de l'expérience humaine pour généraliser (Negnevitsky, 2005). De plus, comme l'indique Negnevitsky, les RNA peuvent reconnaître des modèles qui ne sont pas évidents pour les humains. En revanche, les RNA sont des boîtes noires, il faut tenir compte du problème d'explicabilité des décisions algorithmiques par les humains, lors du choix d'un modèle de représentation (Negnevitsky, 2005).

3.6.3.2 Évaluation

Selon Domingos (2012), la fonction d'évaluation permet de rechercher le classificateur qui offre le meilleur résultat, un système qui permet de reproduire de manière satisfaisante le phénomène observé. Russell et Norvig (2010) ajoutent qu'une bonne fonction doit avoir la capacité de prédire la sortie lorsqu'il reçoit un nouveau jeu de données, même si les nouvelles données d'entrées ne correspondent pas exactement aux données d'entraînement pour activer les règles.

Avant tout, comme l'indiquent Domingos (2012) et Mitchell (1997), il faut séparer les données en trois parties avant d'évaluer un algorithme. La première partie des données sera utilisée pour l'entraînement, la balance sera divisée entre les données de test pour valider le résultat de l'algorithme et les données de validation qui seront utilisées à la fin du processus lors de l'optimisation, pour vérifier la présence de surapprentissage dans le modèle. L'évaluation consiste à entraîner le système avec les données d'apprentissage et de vérifier les résultats avec les données de test. Russell et Norvig (2010) soulignent l'importance d'effectuer une « validation croisée » lors de l'évaluation, c'est-à-dire d'utiliser des données de test qui n'ont pas servi lors de l'apprentissage, pour évaluer le taux d'erreur du modèle et ainsi réduire le risque de contamination des données, notamment les biais et la variance (Domingos, 2012). Le taux d'erreur « *loss* » du système est calculé à partir de la cible anticipée. Dans le cas d'un apprentissage supervisé, la valeur des sorties dépend des poids synaptiques interreliés à chaque entrée, ainsi qu'entre chaque couche qui constitue la structure du système. L'écart entre les sorties obtenues et les sorties désirées définit l'erreur du système (Russell et Norvig, 2010). Si les résultats ne sont pas à la hauteur espérée, on modifie les poids du biais de chaque entrée jusqu'à satisfaction. Toutefois, Domingos indique l'importance de l'intuition lors de la sélection des poids pour le chercheur, il parle de créativité et même d'art sombre « *black art* », ça fonctionne, mais on ne peut expliquer les raisons de son efficacité.

Selon Domingos (2012), on mesure les performances du système, avant tout par sa précision, le nombre de fois que les prévisions sont vraies et le rappel « *recall* » le coût de prédire une observation vraie, fausse. Si l'évaluation du système correspond aux attentes, alors on passe à la troisième étape, l'optimisation.

3.6.3.3 Optimisation

L'optimisation consiste à maximiser ou minimiser une fonction pour diminuer l'entropie, en choisissant les meilleures valeurs disponibles par rapport aux caractéristiques recherchées (Russell et Norvig, 2010). Selon Negnevitsky (2005), le choix de la technique d'optimisation est primordial, puisqu'il arrive qu'une fonction d'évaluation produise plus d'un optimum. De plus, la recherche de meilleur optimum local est souvent compliquée, et même dans certains cas impossibles (Russell et Norvig, 2010). En revanche, plusieurs algorithmes d'optimisation sont disponibles pour effectuer cette tâche.

L'algorithme de « descente de gradient » est une méthode itérative qui cherche à minimiser une fonction. L'algorithme analyse l'espace de la solution initiale et utilise le dérivé de l'erreur, pour modifier légèrement la valeur de chaque paramètre et ainsi améliorer le résultat. Toutefois, la recherche par descente de gradient s'arrête lorsqu'elle rencontre un premier optimum. Russell et Norvig (2010) suggèrent l'utilisation de la méthode « des plus proches voisins » qui se déplace vers le meilleur voisin même si celui-ci n'est pas aussi bon que le premier optimum rencontré. Cette méthode garde en mémoire les positions visitées, pour ne plus y revenir et s'arrête lorsque tous les voisins ont été analysés ou qu'une solution adéquate est découverte (Russell et Norvig, 2010).

La rétropropagation du gradient est une méthode de calcul qui est utilisée comme fonction d'optimisation, elle transmet les erreurs de sorties vers les couches précédentes d'un réseau de neurones (Negnevitsky, 2005). La rétropropagation d'erreur permet de modifier graduellement les poids qui composent le système, et ainsi minimiser l'erreur de sortie (Russell et Norvig, 2010). Lorsqu'il y a plusieurs hypothèses adéquates, le principe du « rasoir d'Ocam » indique qu'il faut choisir l'hypothèse la plus simple (Russell et Norvig, 2010). La méthode utilisée est la « régularisation » qui permet de choisir la fonction la plus simple en pénalisant volontairement les fonctions les plus complexes (Russell et Norvig, 2010).

Finalement, l'optimisation se complète lors d'une « validation croisée » avec la série de données de validation, pour s'assurer que le système ne souffre pas de surapprentissage. Plusieurs facteurs peuvent interférer dans ce processus, trois d'entre eux sont couramment mentionnés dans la littérature : le « fléau de la dimension », le « surapprentissage » et le « problème du gradient en voie de disparition ».

3.6.3.4 Fléau de la dimension

Le fléau de la dimension, qui représente l'impossibilité d'avoir assez d'exemples (observations) pour couvrir toutes les variations d'un univers (Mitchell, 1997). Le fléau de la dimension est aussi observé lorsque le nombre d'attributs est élevé, l'enjeu sera de réduire la dimension du système (Russell et Norvig, 2010). Par exemple, pour un arbre de décision, il faudra élaguer les branches, en ne gardant que les attributs les plus significatifs. Or, pour un réseau bayésien, Mitchell fait remarquer qu'il est souvent impossible de calculer l'ensemble des paramètres dans un grand espace. Mitchell constate que pour un vecteur X de 30 fonctionnalités binaires, il ne faut pas moins de 3 milliards observations.

Selon Mitchell (1997), on peut réduire drastiquement la complexité du modèle, en utilisant un réseau bayésien naïf. Pour Mitchell, un système de type bayésien naïf a l'avantage de palier au problème du fléau de la dimension mentionné plus haut, puisqu'il repose sur la prémisse que chaque condition est indépendante, de plus, Russell et Norvig (2010) et Mitchell indiquent que malgré une structure simplifiée les réseaux bayésiens naïfs sont efficaces.

3.6.3.5 Surapprentissage « *overfitting* »

Selon Domingos (2012), lorsque la précision des sorties avec les données d'entraînement est de 100 %, mais se réduit à 50 % avec les données d'évaluation, il y a surapprentissage. Russell et Norvig (2010) indiquent que le surapprentissage est plus présent lorsqu'il y a trop de paramètres dans le système et que l'espace d'hypothèses s'élargit. Domingos ajoute que le surapprentissage se produit aussi lorsque nous n'avons pas assez de connaissances et de données pour déterminer avec précision une classe.

Domingos (2012) présente deux concepts reliés au surapprentissage, premièrement le biais, qui est la tendance par le système à constamment apprendre la mauvaise connaissance, et deuxièmement la variance qui correspond à acquérir des connaissances au hasard indépendamment de l'inférence demandée. Domingos mentionne qu'il est crucial d'évaluer la performance du système avec un groupe de données qui n'ont pas été utilisées lors de l'apprentissage. Domingos recommande de mettre de côté un pourcentage de données qui seront utilisées lors de l'évaluation. Selon Domingos, cette méthode réduit le risque de contamination des données.

3.6.3.6 Problème du gradient en voie de disparition

Selon Amidi et Amidi (2019) et Thomas (2019), le problème du gradient en voie de disparition, arrive quand le gradient devient trop petit, il approche alors la valeur de 0, et ne permet plus de corriger les poids du réseau, ce qui réduit considérablement sa capacité d'apprentissage. Selon les auteurs, on peut réduire le problème en utilisant des fonctions d'activation non saturantes comme la fonction « *Rectified Linear unit* » (ReLU).

Finalement, Meunier (2017) met l'accent sur l'importance pour les chercheurs de comprendre les mécanismes des fonctions sous-jacents en intelligence artificielle. Meunier fait remarquer que l'un des obstacles à l'adhésion de l'intelligence artificielle est son manque de transparence. Selon l'auteur, il est impensable d'opérer un humain, par une simple décision d'un système informatique, sans comprendre les mécanismes du raisonnement cachés du système. Nous sommes d'accord avec cette position, plusieurs systèmes en intelligence artificielle auront une incidence éthique et légale. Or, on doit pouvoir justifier les décisions qui seront prises à partir de ces systèmes. Cependant, pour le type d'artefact que nous proposons, nous croyons qu'il n'est pas nécessaire de complexifier le système pour améliorer la transparence. Puisque l'objectif du système n'est pas d'effectuer un diagnostic médical, mais plutôt, un diagnostic cognitif, dans le but de personnaliser l'outil pédagogique durant le parcours rééducatif.

3.7 Conclusion

Le chapitre 3, cadre conceptuel et théorique, établit notre position épistémologique sur le paradigme épistémologique constructiviste et cognitiviste. Par la suite, nous présentons le modèle « *Serious Games Mechanics* » proposé par Lim *et al.* (2016) et la méthode MISA, qui intègre la modélisation des connaissances au design pédagogique. Sur le plan de la conception du module pédagogique, les deux méthodes se complètent. Ensuite, nous décrivons les théories de l'apprentissage, de la psychologie cognitive et de la motivation qui influencent le design de la dimension sérieuse. Finalement, nous proposons d'aborder la question de l'adaptation et de la personnalisation du JVAS avec des modèles informatiques, notamment l'analyse des données selon la théorie des traces et la personnalisation avec l'intelligence artificielle.

Pour notre étude, qui consiste à concevoir et à valider un outil pédagogique spécifique aux difficultés d'apprentissage en lecture de jeunes enfants. Nous croyons que les méthodes décrites dans le cadre conceptuel et théorique permettent d'aborder les aspects essentiels à la réussite du projet. De plus, le cadre démontre la complexité, mais aussi les avantages de concilier les connaissances de divers domaines scientifiques.

Maintenant que nous avons défini notre approche et présenté les théories et concepts qui appuient notre étude, il est temps de passer à la conception et à l'évaluation de l'outil numérique pédagogique. Le chapitre 4, méthodologie et protocole expérimental, décrit les différentes étapes de la conception des outils numériques et le processus que nous suivons lors de l'expérimentation.

CHAPITRE 4

MÉTHODOLOGIE ET PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Ce chapitre présente la méthodologie employée lors de la préconception et de la conception de l'objet pédagogique. Par la suite, il décrit le protocole expérimental que nous suivons et présente les données essentielles qui seront recueillies, analysées et interprétées pour valider les hypothèses de départ de l'étude, figure 4.1.

Étant donné que notre projet de recherche se situe dans une démarche doctorale qui est soumise à ses propres critères de performances sur le plan de l'efficacité, de l'éthique et de l'apport scientifique, il est essentiel que le projet de conception de l'artefact soit livré à temps, sans dépassement de coût et bien entendu à la satisfaction de toutes les parties prenantes. Genest et Nguyen (2010) définissent un projet comme un « Ensemble complexe de tâches et d'activités visant à produire et à livrer un extrant déterminé à l'avance, tout en respectant des contraintes convenues de budget, d'échéance(s) et de qualité ». (p. 9)

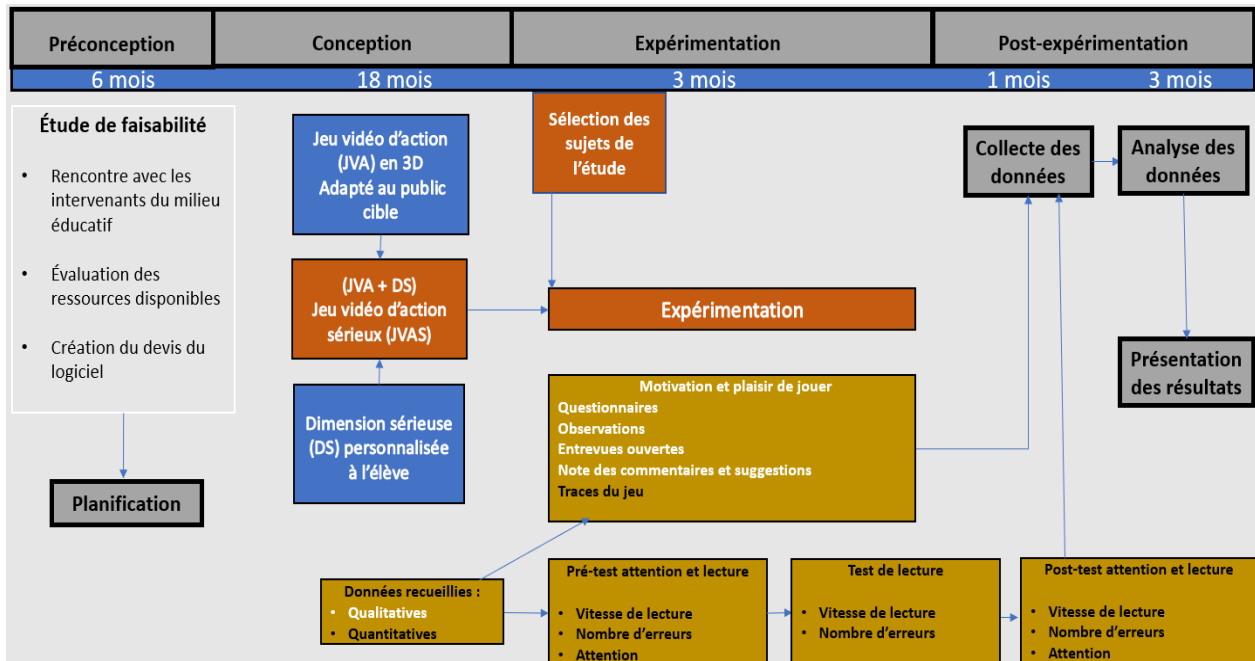


Figure 4.1 : Méthodologie et protocole expérimental.

Comme tout projet commence par une idée qui doit être dirigée du point de vue de sa gestion. Nous préconisons de suivre dans la mesure du possible les étapes représentées dans le « *Guide to the Project Management Body of Knowledge* » (*Project Management Institute, 2013*), pour la gestion de notre projet, figure 4.2.

Le « *Project Management Institute* » est la principale autorité mondiale en matière de gestion de projets, avec près de 700 000 membres. L'institut a créé plusieurs certifications entre autres le « *Project Management Professional* » pour reconnaître les chefs de projet qui ont prouvé qu'ils avaient les compétences nécessaires pour gérer avec succès des projets complexes.

Essentiellement, un projet de recherche qui possède une certaine envergure a intérêt à suivre les phases proposées par le « *Project Management Institute* ». Le domaine de la technologie éducative est un très bon exemple où l'on peut appliquer en principe, un processus de gestion de projet. En revanche, le domaine du jeu sérieux a ses propres caractéristiques et nécessite l'utilisation de méthodes, démarches et outils qui lui sont propres.

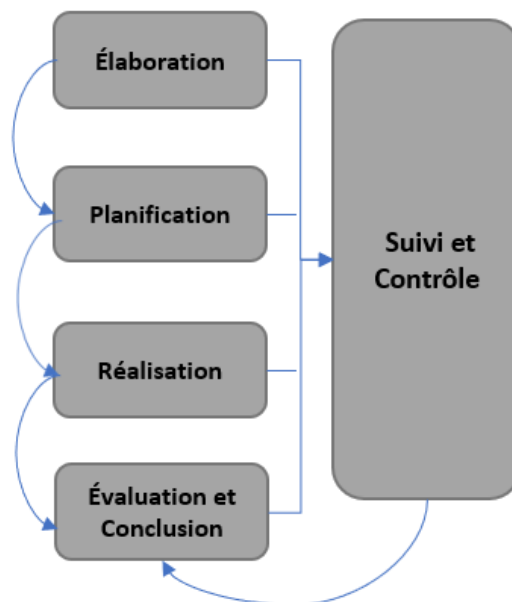


Figure 4.2 : Processus de gestion de projet inspiré du *Project Management Institute* (2013).

D'abord, dans le volet conception, nous intégrons dans la démarche présentée par le *Project Management Institute* (2013), la méthode « *Design-Based Research* » telle que proposé par Chang *et al.* (2021). La méthode « *Design-Based Research* » convient à l'application de principes d'une étude de cas de type hybride. De plus, l'identification et la sélection des mécanismes de jeu et de l'apprentissage lors de la création de l'artefact sont fondées sur le modèle « *Serious Game Mechanics* » de Lim *et al.* (2016).

Pour la réalisation du volet pédagogique de l'artefact, incluant l'intégration des UA, nous utilisons les éléments de documentation de la méthode MISA, qui apportent de la valeur ajoutée à la conception de l'artefact. Finalement, lors de la création du moteur d'inférence, nous nous sommes inspirés du modèle *PDKT-C* de Chen *et al.* (2018). Le réseau de neurones artificiels (RNA) du moteur effectue les diagnostics cognitifs de chaque joueur-apprenant et modifie les éléments de la personnalisation du jeu.

Étant donné que les objectifs du projet de recherche, ainsi que les enjeux et les risques associés sont présentés aux chapitres 1 et 2. Le chapitre 4 poursuit avec la description des étapes de préconception, notamment l'étude de faisabilité et la planification. Par la suite, nous proposons un processus pour la réalisation de l'artefact qui s'appuie sur les théories et concepts présentés au chapitre 3. Finalement, nous concluons par la présentation du protocole expérimental en explicitant chaque phase de l'expérimentation et présentons les données qui seront recueillies et traitées.

4.1 Préconception

L'étape de la préconception apparaît durant la phase de l'élaboration et de la planification. La préconception permet une gestion de projet réaliste et efficace. On doit avant tout s'assurer de mettre en place un environnement propice à la réussite du projet, notamment par une étude de faisabilité, qui comprend des mesures de réduction des risques, ainsi qu'une planification rigoureuse, de sorte que le projet se réalise dans les délais, en respectant le budget alloué et la conformité.

4.1.1 Étude de faisabilité

La version sérieuse du jeu vidéo est le concept intégrateur du projet de recherche en milieu naturel. Les objectifs sont premièrement de valider la pertinence de la démarche de conception de l'outil pédagogique ainsi que sa faisabilité. Entre autres, si l'outil peut être utilisé dans un milieu naturel, au domicile du sujet avec l'aide d'un parent tout en conservant la motivation de l'enfant. Ainsi que d'évaluer si le jeu est efficace pour l'amélioration des compétences en lecture d'enfants qui présentent des symptômes reliés à la dyslexie et un déficit d'attention.

Comme nous l'avons mentionné antérieurement, la problématique est qu'il y a des méthodes de rééducation efficaces qui sont disponibles pour les enfants dyslexiques, cependant ils doivent patienter au minimum 18 mois avant d'avoir accès à du support spécialisé. Ce temps d'attente, principalement dû à un manque de ressources, entraîne des conséquences négatives sur le développement cognitif des élèves, sans négliger, le retard scolaire et la diminution de l'estime de soi.

4.1.1.1 Le public cible et les parties prenantes

À cette étape, il nous semble important de souligner que le public cible c'est-à-dire le sujet pour cette recherche est un élève de langue française âgé de six à huit ans, qui présente un ou des symptômes associés à la dyslexie et un déficit d'attention. De plus, l'enfant doit accepter de participer à l'expérimentation. D'ailleurs, les parents ou tuteurs auront préalablement soumis le projet aux enfants et recueilli leurs consentements. Pour notre part, comme nous l'avons mentionné antérieurement, nous nous référons à quatre symptômes identifiés par l'*American Psychiatric Association* (2020) pour sélectionner les sujets :

1. Une difficulté à lire, notamment la lenteur et le nombre d'erreurs élevé.
2. Une difficulté à comprendre le sens du texte qui est lu.
3. Une difficulté à l'orthographe, notamment une conscience phonologique faible.
4. Les enfants rencontrent des difficultés de concentration et ne portent pas assez attention aux détails.

La sélection des critères pour identifier les sujets de l'étude est fondée sur la conclusion de la recherche de Nicolson *et al.* (2010), qui mentionne que les enfants âgés de cinq à huit ans sont plus réceptifs lors d'un programme de rééducation en lecture que les enfants plus âgés. D'ailleurs, comme l'indique Vygotsky (1933), l'apprentissage du langage écrit avant l'âge de huit ou neuf ans est plus facile. Sans omettre, comme le font remarquer Wang *et al.* (2018) que les effets positifs du jeu sérieux sont supérieurs avec les élèves qui ont le plus de difficultés d'apprentissage. Tandis que, les parties prenantes se composent de parents, d'enseignants, d'orthophonistes, d'orthopédagogues, de directeurs d'école, de concepteur pédagogique, sans négliger, le personnel d'organismes spécialisés.

Cette recherche a recouru aux données d'une étude précédente, celle de Lewis (2018). Rappelons brièvement que l'étude de Lewis constate le manque de ressources disponibles pour prendre en charge adéquatement les enfants dyslexiques dans les établissements scolaires au Québec. De plus, l'étude a permis d'identifier les mécanismes qui sont les mieux adaptés au public cible. Un résumé de la contribution de la recherche de Lewis sur l'ergonomie du jeu et la ludification est présenté à la section 2.3.4.

Or, nous devons nous rendre à l'évidence, l'environnement a changé de manière significative depuis 2018, notamment l'impact de la pandémie de la Covid-19 dans les écoles et pour les familles. Sans négliger les avancées technologiques de ces dernières années. Par conséquent, nous croyons qu'il était essentiel d'effectuer à nouveau une analyse des besoins avec les parties prenantes avant d'entreprendre la conception du logiciel. Nous présentons à la section 4.1.1.2, la liste des informations recueillies lors de l'analyse des besoins effectuée en 2022.

4.1.1.2 l'analyse des besoins actuels

Comme nous l'avons mentionné antérieurement, les ressources pour prendre en charge les élèves dyslexiques dans les classes sont insuffisantes. De plus, la pandémie de la Covid-19 a empiré la situation. La pandémie a confirmé le fossé entre les ressources disponibles et les besoins des élèves en difficultés d'apprentissage (Venne, 2021). En outre, Fortier (2021) souligne, à la suite d'un entretien avec une orthophoniste, qu'il y a un manque important de professionnels accessibles dans le réseau scolaire et ajoute que même au privé, il y a des listes d'attente. Selon l'orthophoniste rencontrée par Fortier, uniquement les enfants ayant un retard important sont pris en charge, elle indique également connaître un enfant qui ne peut lire et écrire et qui se retrouve sur une liste d'attente depuis plus de 18 mois.

Pourtant, comme le fait remarquer Venne (2021), les enfants qui éprouvent des difficultés d'apprentissage bénéficient d'un support spécialisé, notamment pour réduire les risques de retard scolaire. De plus, les enfants du primaire rencontrant des difficultés d'apprentissage vivent d'espoir, mais rencontrent des déceptions du découragement et ont une pauvre estime de soi (Fortier, 2021). De plus, comme le font remarquer Lambert *et al.* (2022) « la diminution des services de soutien aux élèves durant la pandémie, et particulièrement de ceux destinés aux plus jeunes d'entre eux, risque d'accroître d'une part les inégalités et d'augmenter d'autre part les coûts pour la société » (p. 13).

De son côté, la présidente de la Fédération des syndicats de l'enseignement Josée Scalabrini affirmait lors d'une entrevue dans le journal La Presse que les ressources pour prendre en charge les enfants ayant des troubles de l'apprentissage dans les classes sont insuffisantes (Leduc, 2023). Selon Josée Scalabrini, le ministère de l'Éducation abandonne les élèves qui présentent des difficultés d'apprentissage « dès la première année, dans la mesure où on ne leur offre pas les services dont ils ont besoin » (Leduc, 2023, p. 1). Selon le rapport du Vérificateur général du Québec à l'Assemblée nationale pour l'année 2020-2021⁷, un quart des enseignants ne sont pas légalement qualifiés. Les directions d'écoles indiquent que cette situation affecte les élèves, notamment par une diminution de la qualité de l'enseignement, une baisse des interventions auprès des élèves qui présentent des difficultés d'apprentissage, et accroît l'anxiété chez les élèves.

Il est important d'observer un problème de communication entre les établissements scolaires et le ministère de l'Éducation. Par exemple, le volet deux de la mesure 30810, du ministère de l'Éducation du Québec⁸, vise l'achat d'aides technologiques nécessaires aux apprentissages scolaires des élèves en difficulté. Cependant, comme le mentionne le ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur « le plan d'intervention de ces élèves doit démontrer le caractère essentiel de cette aide pour la réalisation des apprentissages » (p. 20). Avec la pénurie de personnel de soutien, il n'est pas évident de satisfaire à cette requête. De plus, aucun encadrement obligatoire n'est prévu.

⁷ Récupéré le 18 juin 2023 du site https://www.vgq.qc.ca/Fichiers/Publications/rapport-annuel/203/VGQ_Fiches%20descriptives_mai2023.pdf

⁸ Récupéré le 20 juin 2023 du site http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/PSG/ress_financieres/rb/21-090-03_RB-CS-21-24-INV-21_v2.pdf

Plusieurs élèves se retrouvent encore, sans portable ou avec un portable désuet, sans soutien et sans avoir bénéficié d'une formation appropriée. Pourtant, comme le fait remarquer l'Institut des troubles d'apprentissage (2021), plusieurs difficultés associées aux troubles d'apprentissages durent toute la vie, mais il est possible d'apprendre des stratégies compensatoires et ainsi réduire leurs impacts négatifs sur les individus.

Il importe de souligner que la pandémie de la Covid-19 a réduit l'accès des élèves présentant des troubles d'apprentissages à du support spécialisé. Sans oublier les effets néfastes de la pénurie de main-d'œuvre qui sévit présentement au Québec. Dans un tel contexte, il faut évaluer toutes les solutions possibles, notamment l'utilisation d'outils éducatifs numériques pour les élèves. Selon l'Association DYS-POSITIF⁹, les ordinateurs portables sont une option intéressante pour les élèves qui souffrent de dyslexie, entre autres plusieurs logiciels compensent leur manque d'attention, de concentration et leur mémoire. L'Association DYS-POSITIF indique qu'il existe des logiciels qui permettent d'adapter la mise en page des textes pour faciliter au maximum la lecture à voix haute. Un ordinateur portable permet également de prendre des notes facilement et est peu encombrant. Par ailleurs, ses fonctionnalités et ses performances le rendent plus intéressant qu'une tablette. Sans omettre, que seuls les ordinateurs portables ou de table avec les périphériques et logiciels appropriés peuvent être remboursés selon la mesure 30810, du ministère de l'Éducation du Québec.

Pour ces raisons, nous avons développé le logiciel éducatif pour qu'il soit compatible avec les ordinateurs qui utilisent les systèmes d'exploitation « *Windows* » ou « *macOS* », et qui sont équipés de périphériques standards, notamment d'un clavier, d'une souris, d'une carte de son et d'un microphone. De plus, le logiciel est disponible en version « *Web Graphics Library* » (*WebGL*), qui est une interface de programmation qui optimise la présentation des graphiques interactifs 3D. Le *WebGL* utilise le standard « *Open Graphics Library* » à partir de code « *JavaScript* » d'une page Web. Le *WebGL* est compatible principalement avec les navigateurs, « *Google Chrome* », « *Apple Safari* » et « *Mozilla Firefox* ».

⁹Récupéré le 10 juillet 2023 du site <https://www.dys-positif.fr/trouble-dys-et-informatique-le-role-de-lordinateur/#:~:text=La%20dyslexie%20concerne%20200%20000%20enfants%20dans%20le,PC%20et%20tablette%20E2%80%93%20sp%C3%A9cialement%20adapt%C3%A9%20C3%A0%20l'E2%80%99enseignement.>

4.1.1.3 Évaluation des ressources humaines et financières

Étant donné que la conception d'un JVAS en 3D réaliste demande un apport financier important. Nous avons construit un outil pédagogique simple et fantaisiste qui respecte l'esprit d'un jeu. À priori, avant de commencer la réalisation de l'outil, nous nous sommes formés à l'apprentissage du moteur de jeu « Unity », au logiciel libre de modélisation 3D « Blender¹⁰ », ainsi qu'aux langages de programmations « C# » et « Python ». L'introduction aux multiples fonctions de création du moteur de jeu « Unity » a particulièrement été utile. La pratique de conception d'un jeu vidéo d'action en 3D permet de faire des liens directs avec les théories et concepts qui sont explicités dans les textes, que ce soit l'utilisation des « Games objects » ou de la programmation des algorithmes avec une intelligence artificielle.

Le moteur de jeu « Unity » est versatile, puisqu'il offre la possibilité de concevoir un artefact pédagogique qui permet un accès aux différentes plateformes disponibles, notamment les ordinateurs, les tablettes tactiles, les téléphones intelligents ainsi que les casques autonomes en réalité virtuelle ou augmentée. De plus, la direction du projet a mis à notre disposition un programmeur d'expérience et des ressources universitaires essentielles à la réalisation du projet.

4.1.1.4 Évaluation de l'artefact éducatif

La participation aux études scientifiques est une composante indispensable à la recherche. Le recrutement des sujets de l'étude est réalisé à travers une campagne de promotion sur les médias sociaux d'organismes dédiés aux troubles d'apprentissage qui ont pour mission d'offrir du support et de la formation professionnels aux enseignements et aux parents. De même, que l'Université TÉLUQ qui a accepté notre demande, la communication est disponible à l'appendice B.

En cette période de postpandémie, nous croyons que d'effectuer les sessions de jeu à distance est pertinent. Bref, l'expérimentation pour évaluer l'efficacité pédagogique de l'artefact se fait à la maison avec un ordinateur sous la supervision d'un parent (tuteur). Selon Plante *et al.* (2021), les recherches en sciences sociales s'effectuent souvent dans la vie réelle et non dans les laboratoires. Notre recherche ne fait pas exception, puisque nous avons fait le choix d'expérimenter l'objet de notre recherche en milieu naturel.

¹⁰ Récupéré le 20 juillet 2023 du site <https://www.blender.org/>

Dans une telle situation, le contrôle sur l'environnement des sujets est complexe, sans oublier que la compréhension du phénomène étudié requiert une analyse contextuelle importante. C'est pourquoi nous avons choisi pour l'évaluation de l'outil pédagogique, une étude de cas multiple en intégrant une dimension quantitative. Comme le mentionne Yin (2018), la description approfondie d'un phénomène social est bien adaptée à une étude qualitative, et ne peut que s'enrichir si on peut lui ajouter des données quantitatives.

Selon Yin (2018), « Une étude de cas est une méthode empirique qui étudie un phénomène contemporain (le cas) en profondeur et dans son contexte réel, en particulier lorsque les frontières entre le phénomène et le contexte peuvent ne pas être évidentes » (Traduction libre) (p. 15). De plus, Yin indique que l'étude de cas est bien adaptée pour se pencher sur une question du type « comment » ou « pourquoi ».

Le choix de la méthode est cohérent avec la question de recherche puisque l'étude veut en premier lieu découvrir les éléments dans le JVAS qui influence positivement l'outil pédagogique, ainsi que comprendre la dynamique qui régit les relations parent-enfant dans un contexte d'apprentissage à la maison. En premier lieu, en interprétant les données recueillies lors des entrevues, documents d'archives, observations, questionnaires, traces numériques et l'analyse des données quantitatives des tests de lecture. Nous identifions l'occurrence des événements en utilisant le concept de triangulation. L'ensemble de la recherche est fondé à la fois sur l'utilisation des statistiques avec les données de type quantitatives et l'étude de cas multiple pour les données de type qualitative. Comme le fait remarquer Dumez (2013), la complémentarité des méthodes de recherche qualitative et quantitative peut améliorer les connaissances d'un phénomène.

4.1.2 Planification

Nous avons utilisé un « *Work Breakdown Structure* », pour réaliser l'ordonnance des tâches à effectuer lors de la création et de l'évaluation de l'artefact selon notre échancier, figure 4.3. Même si un calendrier des ordonnances de type « *Work Breakdown Structure* » n'est pas statique, en effet il peut évoluer dans le temps, pour notre part il nous permet de suivre l'évolution du projet lors de sa conception et lors de son évaluation.

PLANIFICATION DE LA CRÉATION ET DE L'ÉVALUATION DU JVAS										
WBS	ANNÉE	2021			2022		2023			2024
		ÉTÉ	AUT	HIVER	ÉTÉ	AUT	HIVER	ÉTÉ	AUT	
1.0	Préconception									
1.1	Étude de faisabilité									
1.1.1	Finaliser la recension d'écrits JVAS (Chapitre 2)									
1.1.2	Rencontre avec les intervenants du milieu									
1.2	Formation									
1.2.1	Formation en programmation C# et Python									
1.2.2	Développement des UA									
1.2.3	Formation Unity 3D et Blender									
1.3	Création du devis									
1.3.1	Concept à haut niveau									
1.3.2	Synopsis									
1.3.3	Vision globale									
1.4	Évaluation des ressources disponibles									
1.5	Budgétisation									
1.6	Plan de gestion des risques									
1.7	Planification									
2.0	Réalisation									
2.1	Finalisation de la méthodologie									
2.1.1	Choix du modèle d'intelligence artificielle									
2.1.2	Validation de la méthodologie									
2.2	Conception du JVA et du JVAS									
2.2.1	Développement des mécanismes du jeu									
2.2.1.1	Tableau des actions									
2.2.1.2	Les interfaces graphiques									
2.2.1.3	Fiches des personnages									
2.2.1.4	Fiches des objets									
2.2.1.5	Règles et but du jeu									
2.2.2	Développement des mécanismes pédagogiques									
2.2.2.1	Modélisation avec G-Mot									
2.2.2.2	Intégration des UA avec MISA									
2.2.2.3	Exercices en quatre phases									
2.2.2.4	Évaluation en continu									
2.2.2.5	Programmation du moteur d'inférence									
2.2.2.6	Rétroaction									
2.2.2.7	Adaptabilité									
2.2.2.8	Scénarisation									
2.2.2.9	Base de données SQL									
3.0	Suivie et contrôle									
3.1	JVA et JVAS									
3.1.1	Validation des mécanismes de personnalisation									
3.1.2	Validation des mécanismes d'adaptation									
3.1.3	Tests experts du domaine									
3.1.4	Tests utilisateurs									
3.1.5	Validation des risques									
4.0	Évaluation et correction des outils									
5.0	Protocole expérimental									
6.0	Collectes et analyse des données									
7.0	Présentation des résultats									

Figure 4.3 : « Work Breakdown Structure » pour la conception et l'évaluation de l'artefact pédagogique.

4.1.3 Mesures de réduction des risques

Selon Fernandez (2023), « Il est prudent de bien connaître les principales causes d'échec des projets d'entreprise afin de mieux se préparer et anticiper les dérives » (p. 1). Malheureusement, comme l'indique Fernandez, les causes d'échec se répètent d'un projet à l'autre. Connaître ses causes et ses racines les plus courantes pourrait nous aider à les prévenir ou, au moins à être proactif et à se préparer à les minimiser.

En effet, nous sommes conscients des risques associés à notre projet. C'est pourquoi dans le but de réduire leurs impacts, nous avons effectué une analyse quantitative des risques et développé des mesures d'atténuation qui seront évaluées durant les différentes étapes de la recherche. Le Plan de gestion des risques est disponible en annexe A.

Lors de la phase de préconception, nous avons identifié le public cible et circonscrit les problèmes potentiels, pour ainsi les minimiser. De plus, la préconception a permis de comprendre les exigences attendues et de produire une planification réaliste qui servira à la conception des artefacts.

4.2 Conception

Étant donné que l'un des principes phares de la recherche scientifique est que l'expérimentation soit reproductible. Nous présentons en détail les étapes de la création du logiciel pédagogique. La phase de la conception consiste à créer un artefact éducatif qui servira à valider nos hypothèses. Pour le bien de cette expérimentation, deux logiciels sont élaborés, le premier est un JVA en 3D sans dimension sérieuse, tandis que le deuxième, le JVAS, est une reproduction conforme du premier avec l'apport des éléments de stratégies de l'adaptation française du programme en rééducation pour les élèves dyslexiques *WIST*.

Premièrement, nous exposons à la section 4.2.1, la modélisation du système qui introduit le fonctionnement global du système. Nous poursuivons par la description de l'univers vidéoludique avec ses nombreux « *Game objects* », mécanismes et règles intégrées. Puis, nous présentons la démarche employée pour l'intégration du volet pédagogique et du modèle d'intelligence artificielle qui servira à personnaliser la version sérieuse du jeu.

4.2.1 Modélisation

Avant d'entreprendre la conception d'un logiciel, nous devons analyser la problématique et définir les objectifs que nous voulons atteindre. Ensuite, une planification rigoureuse doit être effectuée, notamment en modélisant les systèmes du logiciel. Étant donné que les logiciels de modélisation sont propres au domaine de connaissance. Nous employons l'éditeur graphique G-MOT en l'intégrant à la démarche MISA. Cet agencement est spécifique au domaine du développement logiciel éducatif. Une modélisation générique, statique et dynamique du modèle est proposée pour offrir une visualisation de la démarche. Nous commençons par le design générique, ensuite nous poursuivons par la description de la modélisation statique et dynamique de l'objet pédagogique.

4.2.2 Design générique

La modélisation du design générique facilite le partage de la vision globale du système à développer. Premièrement, le JVAS conçu pour cette étude et nommé « Mission Zebran » est hébergé sur un serveur Web sécurisé de l'Université TÉLUQ, et est connecté à une base de données « *Structured Query Language* » (SQL) qui gère l'identification des participants, le module pédagogique et le moteur d'inférence. De plus, la base de données capture les traces essentielles à l'expérimentation pour chaque joueur-apprenant, tel qu'illustré à la figure 4.4. Notez que le lien C représente une composition, le lien I un intrant et le lien P un produit.

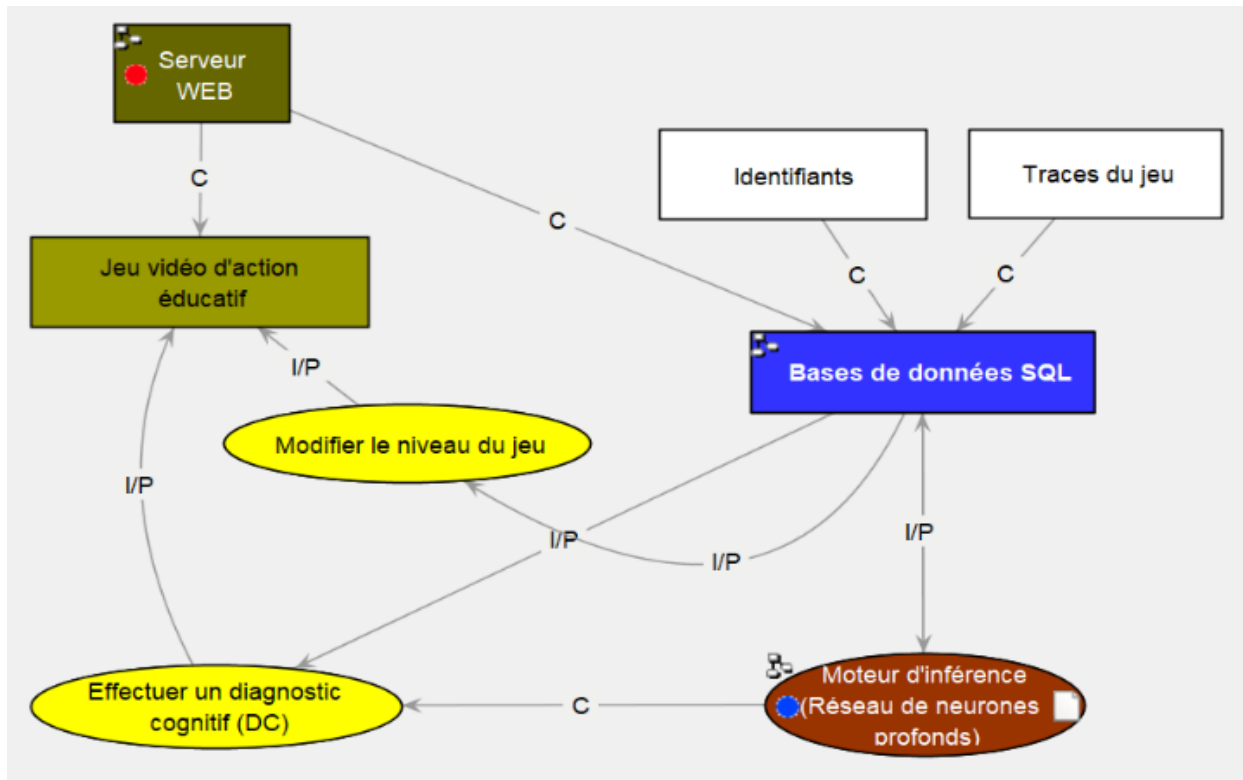


Figure 4.4 : Design générique du jeu « Mission Zebran ».

Le jeu s’adapte aux compétences de chaque joueur-apprenant. À la fin de chaque session de jeu, le résultat du temps restant de la mission principale détermine le niveau de jeu de la session suivante. Cependant, la personnalisation du jeu par le moteur d’inférence se réalise à la fin de chaque UA, le moteur d’inférence exécute un diagnostic cognitif et établit le niveau de compétence atteint de chaque joueur-apprenant.

Le résultat du diagnostic cognitif permet de définir si le joueur-apprenant doit effectuer une session de révision ou peut passer directement à l’UA suivante. Il importe de souligner que le sujet doit réaliser seize sessions de jeu, selon le protocole établi, pour compléter l’expérimentation. La représentation complète de la base de données SQL est disponible en annexe B.

4.2.2.1 Modélisation statique

Le diagramme statique du cas d'utilisation a pour objectif de prendre en charge les besoins des usagers et d'indiquer les comportements du système de manière simple et compréhensive, figure 4.5. Noter que le lien R représente une relation, le lien I/P un intrant ou un produit, et le lien U un périphérique dans le diagramme statique du cas d'utilisation.

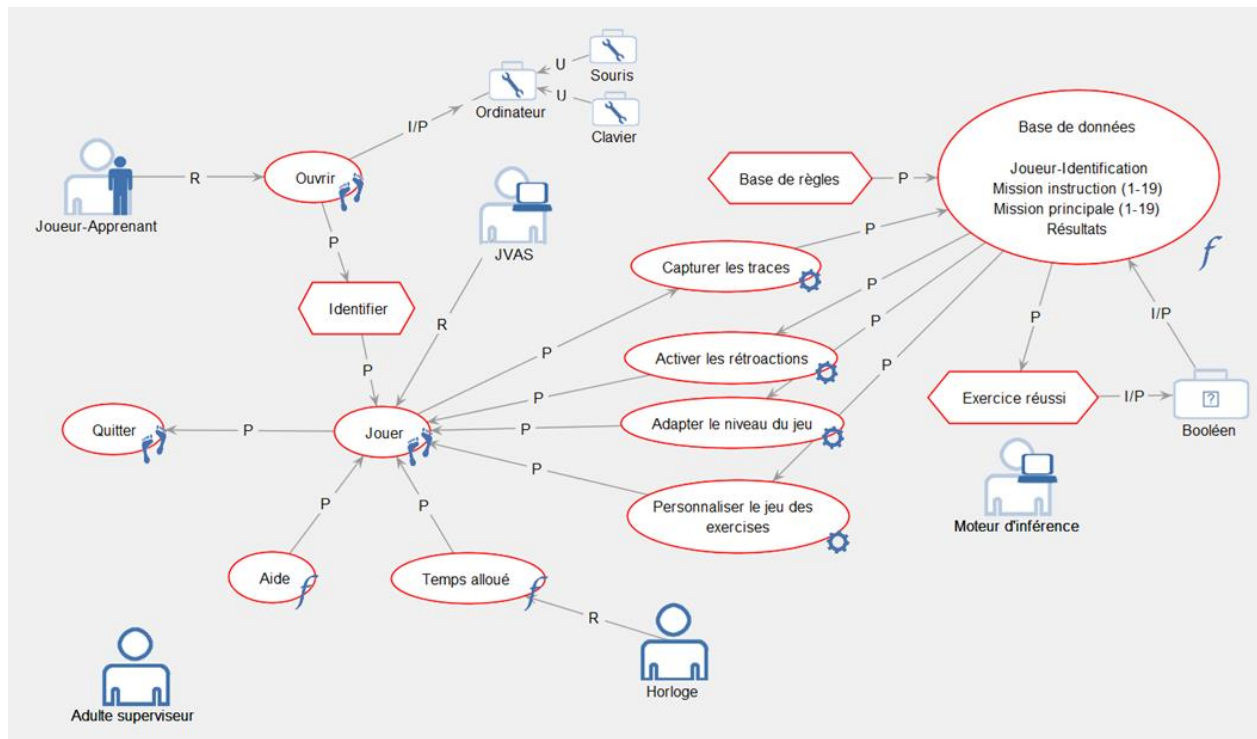


Figure 4.5 : Diagramme de cas d'utilisation de « Mission Zebran ».

Le diagramme de cas d'utilisation a identifié quatre acteurs. Le joueur et l'adulte-superviseur sont les utilisateurs du logiciel, tandis que le moteur d'inférence et l'horloge se trouvent à l'extérieur de celui-ci.

Les acteurs internes

1. L'utilisateur principal représente un enfant du public cible. Le logiciel est conçu spécifiquement pour lui. Dans ce document, les termes « sujet, joueur-apprenant et élève » désignent l'utilisateur principal.

2. Le deuxième utilisateur est l'adulte-superviseur (parent, tuteur, enseignant ou le directeur du projet durant l'expérimentation) qui devra valider le respect des consignes de l'élève durant les sessions de jeu, et capturer ses commentaires de nature qualitatifs reliés à l'expérimentation.

Les acteurs externes

1. Le moteur d'inférence est inspiré du modèle *PDKT-C* proposé par Chen *et al.* (2018) et est fondé sur des règles « si alors » qui adapte les scènes du jeu selon les résultats de chaque joueur. Le moteur d'inférence effectue le diagnostic cognitif de chaque sujet et fait parvenir l'information à la base de données, qui à travers une méthode d'inférence, effectue les modifications au contenu des mécanismes intégrés dans le jeu.
2. L'horloge gère le temps alloué pour chaque session de jeu. La période de rééducation s'échelonne sur seize sessions de trente minutes. La mission instruction dure deux minutes et demie, et la mission principale vingt-cinq minutes. Le reste du temps est réservé aux périodes de présentation des consignes et à la rétroaction.

4.2.2.2 Modélisation dynamique du jeu

La modélisation dynamique introduit le concept de temps entre chaque comportement et état du système. Nous présentons le diagramme d'états/transitions du parcours du jeu qui décrit le déroulement que l'utilisateur doit suivre pour effectuer une session de jeu, figure 4.6. Notez que le lien R représente une relation et le lien P un produit, dans le diagramme états/transitions du parcours du jeu sérieux « Mission Zebran ».

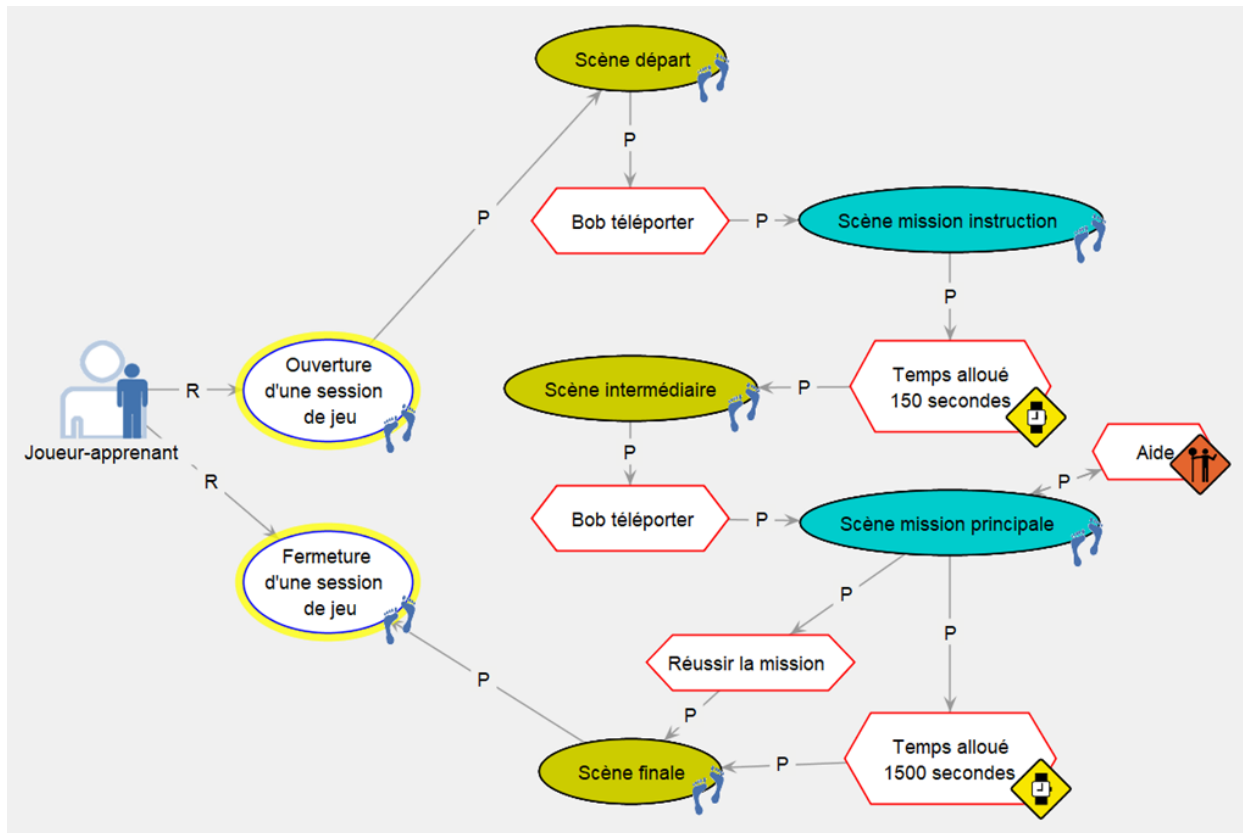


Figure 4.6 : Diagramme états/transitions du parcours du JVAS « Mission Zebran ».

Il est important de noter qu’une seule session de jeu est permise par jour durant l’expérimentation. De plus, le joueur-apprenant doit effectuer les seize sessions de jeu, lors de la période estivale qui se déroule entre juin et septembre. Rappelons brièvement que le jeu réside sur un serveur Web sécurisé et est accessible en ligne avec un lien Internet « *HyperText Transfer Protocol Secure* ». Une base de données *SQL* avec un serveur en ligne ainsi que des scripts insérés dans le jeu, recueille les traces numériques durant le parcours de jeu, par joueur-apprenant, par mission et par session de jeu.

À présent que nous avons déterminé les objectifs à réaliser, et modéliser les systèmes du logiciel. Nous passons à la sélection des mécanismes ludiques et pédagogiques qui seront intégrés dans l’artefact pédagogique.

4.2.3 Sélection et développement des mécanismes du jeu

Dans un premier temps, nous avons sélectionné les mécanismes du jeu qui permettent à l'artefact de répondre aux besoins des usagers et aux objectifs pédagogiques. D'ailleurs, le JVAS doit être conçu selon les théories actuelles et avalisées par les experts du domaine. Entre autres, comme le mentionnent Alvarez et Djaouti (2010), il faut mettre l'emphase sur la convergence entre les deux aspects du jeu sérieux, c'est-à-dire la dimension sérieuse et la dimension vidéoludique dans un scénario unique qui a du sens. Sans oublier, comme le fait remarquer Keller (2000), que l'objet pédagogique doit inclure de l'inattendue, des exercices excitants et appropriés au niveau de compétence de l'élève.

Pour l'identification des mécanismes à intégrer, nous nous sommes inspirés du modèle « *Serious Games Mechanics* » proposé par Lim *et al.* (2016), tableau 4.1.

Mécanismes ludiques (Arnab <i>et al.</i> , 2013), identifiées pour le JVAS		Nbrs	Compétences réflexives revisées de Bloom (Anderson et Krathwohl <i>et al.</i> , 2001)	Nbrs	Mécanismes de l'apprentissage (Arnab <i>et al.</i> , 2013), identifiées pour le JVAS	
Conception et édition	Jeu infini	2	Créer	3	Responsable	Modéliser
Responsable	Status				Responsabilité	
Apprendre en enseignant	Grilles				Planification	
Stratégie et planification					Orientation	
Points d'action	Optimiste	3	Évaluer	3	Évaluer	Réfléchir/discuter
Évaluer	Reconnaitances et pénalités				Collaboration	Méthodique
Collaboration	L'effet Pareto				Énoncer une hypothèse	
Découverte	Tour du jeu				Motiver	
Gestion des ressources					Intérêt	
Rétroaction	Rétroaction immédiate	2	Analyser	4	Analyser	Identifier
Réalisme					Expérimenter	Observation
Métagame					Rétroaction	Copier
Compétition	Sélection et collection	6	Appliquer	4	Action/tâche	Reproduire
Coopération	Simulation				Compétition	Simuler
Capture et élimination	Stress du temps				Coopération	
Mouvement	Défi				Démontrer	
Interactions						
Didacticiel	Rendez-vous	2	Comprendre	3	Objectiver	Instruction
Contagion	Jeu de rôle				Participation	Tuteur
Questions et réponses	Scénario du jeu				Questions et réponses	Étager
Action des scènes	La dynamique du comportement	4	Se rappeler	4	Découvrir	Observation
Jetons	Conditionnement opérant				Explorer	
Viralité	Information				Généraliser	
Plaisir	Niveau				Répéter	

Tableau 4.1 : Mécanismes identifiés du JVAS « Mission Zebran », inspirée de Lim *et al.* (2016).

De plus, le modèle « *Serious Games Mechanics* » proposé par Lim *et al.* (2016) analyse les mécanismes intégrés dans le jeu, ce qui permet de décrire l'usage de chaque mécanisme dans le parcours du jeu et de les relier avec la taxonomie numérique des compétences réflexives révisées de Bloom (Anderson et Krathwohl *et al.*, 2001), tableau 4.2.

Mécanismes ludiques	Mécanismes pédagogiques	Insertion	Utilité	Théorie/concept
Status, actions des scènes, scénario du jeu	Instruction, observation, identifier	La scène départ et intermédiaire identifie les cinq mots fréquents à mémoriser durant chaque session et décrivent les actions et défis à réaliser. Lors des missions, les niveaux de compétence (points accumulés et statuts) se modifient en temps réel en bas et en haut de l'écran. De plus, le meilleur résultat obtenu est indiqué dans le haut de l'écran lors de la mission principale.	Guider l'élève durant les missions. Comprendre le but, les défis et les activités à réaliser, avant chaque session et mission. Motiver les participants à réussir le meilleur pointage.	Cognitiviste, modèles mentaux, ARCS
Points d'action, interactions	Action/tâche, découvrir, participation, orientation, répéter	Activités multisensorielles, images, sons et textes intégrés dans les exercices. Répétition des mots fréquents à mémoriser. Le joueur-apprenant doit s'orienter dans l'univers du jeu et découvrir le meilleur parcours pour réussir le jeu.	Participation par l'apprentissage actif. Utilisation de plusieurs sens pour accomplir les activités (auditif, visuel, kinesthésique). Amélioration de la rétention.	Constructiviste, cognitiviste, behavioriste
Reconnaisances et pénalités	Motiver	Des points s'accumulent selon la performance du joueur-apprenant dans chacune des missions. De plus, la mission instruction permet d'atteindre de multiples niveaux de compétences. Finalement, à la fin de chaque session de jeu une étoile de couleur (or ou argent) est ajoutée.	Motiver les élèves à améliorer leur performance. Pouvoir commettre des erreurs et les corriger par soi-même. Renforcement positif.	Béhavioriste, ARCS
Rétroaction, rétroaction immédiate	Rétroaction	Les messages de félicitations et l'accumulation de points, de niveau et d'étoiles.	Sentiment d'immersion, défi et motivation de faire toujours mieux. Renforcement positif.	Cognitiviste, le flow
Compétition, défi, gestion des ressources, capture et élimination, mouvement	Action/tâche, compétition, intérêt, expérimenter, reproduire	Le temps est limité pour accomplir chaque mission. Il faut gagner un niveau de compétence plus élevé, en délivrant le plus d'otages possible et en gagnant le plus de points. Les différentes manipulations dans les missions, pêcher des ballons avec le bon mot, délivrer les otages en évitant les obstacles et les brigands. De plus, il faut effectuer une gestion efficace de l'énergie de Bob le robot.	Le plaisir de jouer et d'apprendre à corriger ses erreurs. Augmenter le sentiment d'immersion. Réussir à atteindre un niveau supérieur de compétences.	Constructiviste, le flow, ARCS
Stress du temps, découverte	Participation, réfléchir, identifier	Une minuterie dans le haut de l'écran affiche en permanence le temps qu'il reste pour chaque mission. Possibilité de mettre le jeu à pause en tout temps dans la mission principale en touchant le bouton <i>Aide</i> , et de faire répéter la consigne avec le bouton <i>Répéter</i> .	Améliore le sentiment d'urgence et d'immersion dans le jeu. Offre la possibilité de faire un temps de réflexion. De faire répéter la consigne de l'exercice en cours. Avoir le contrôle sur le jeu.	Constructiviste, le flow
Niveau, stratégie et planification	Observation, planification, responsabilité, motiver	Le niveau de compétence s'affiche en temps réel en bas de l'écran lors de la mission instruction. La mission principale permet de visualiser son résultat et de le comparer. De plus, la mission principale possède quatre niveaux de difficulté, qui s'élève selon les résultats du joueur-apprenant.	Améliore la motivation et favorise l'apprentissage progressif.	Constructiviste, ARCS
Conditionnement opérant, questions et réponses, reproduire	Questions et réponses, explorer, démontrer	Les bonnes réponses sont récompensées, notamment avec l'accumulation de points. On répète également chacun des exercices trois fois dans chacune des sessions.	Apprendre à corriger ses erreurs. Avoir le contrôle sur le jeu.	Cognitiviste, behavioriste
Plaisir, sélection et collection	Intérêt, motiver	Le jeu est adapté au public cible, entre autres un univers irréel qui requiert d'effectuer des actions rapides dans chaque mission du jeu. De plus, Bob le robot est immortel et les personnages à délivrer sont sympathiques. Finalement, il faut effectuer les 16 sessions de jeu pour découvrir le mot clé et faire démarrer l'autobus.	Avoir du plaisir, s'amuser et rester motivé.	ARCS, le flow

Tableau 4.2 : Analyse des mécanismes du JVAS « Mission Zebran », inspiré de Lim *et al.* (2016).

4.2.4 Univers ludique

L'univers ludique fait référence au plaisir que l'utilisateur va éprouver dans le jeu. À cet égard, l'objet pédagogique « Mission Zebran » est un jeu vidéo d'action de type progression en 3D, qui se situe dans un univers irréel avec des personnages enfantins. Selon Juul (2005), un jeu de progression s'appuie sur un scénario avec un début, une fin et des actions qui progressent tout au long du parcours, pour ainsi maintenir la motivation du joueur.

4.2.4.1 Personnages

Les personnages à l'exception de Bob le robot sont issus du logiciel « *Mixamo* »¹¹ offert gratuitement en ligne par l'entreprise « *Adode* ». Tandis que, le personnage principal Bob le robot, a été créé avec le logiciel libre de modélisation et d'animation « *Blender* ». Nous avons choisi ces deux logiciels parce qu'ils sont compatibles avec le moteur de jeu « *Unity* » et qu'ils sont en libre accès.

L'avatar (Bob) représente un robot secouriste qui est immortel et qui fonctionne à l'électricité. De plus, Bob a des pouvoirs extraordinaires, entre autres il peut se téléporter dans les univers du jeu. Sans oublier que Bob peut se déplacer dans toutes les directions et peut courir. Dans la scène instruction, Bob pêche des ballons tandis qu'il délivre les otages emprisonnés dans la scène principale. Claire, la directrice de la sécurité, décrit les consignes des missions et émet les rétroactions, figure 4.7.



Figure 4.7 : Représentation des personnages Bob le robot et de Claire la directrice de la sécurité.

¹¹ Récupéré le 20 juillet 2023 du site <https://www.mixamo.com/#/>

Il y a trois types de brigands : les mutants, les guerriers et les lutins. Ils se retrouvent aux alentours des prisons pour empêcher Bob le robot de porter secours aux otages, figure 4.8.



Figure 4.8 : Représentation des personnages, les trois types de brigands, le mutant, le guerrier et le lutin.

Les brigands ont la faculté de bouger et d’attaquer Bob pour lui faire perdre de l’énergie, notamment s’il s’approche de trop près d’une des prisons. Douze personnages enfantins représentent les otages dans le jeu. Ce sont les citoyens de la ville de Zebran qui sont enfermés par les brigands dans les prisons, figure 4.9.

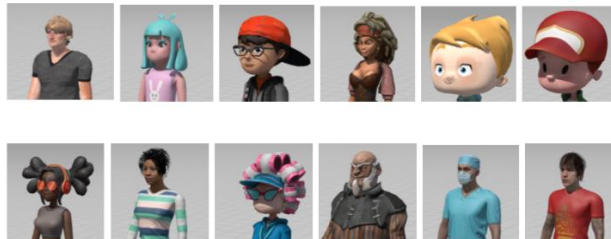


Figure 4.9 : Représentation des douze otages.

4.2.4.2 Scénario

L’artefact intègre un scénario original adapté au public cible. Le jeu sérieux se compose de six scènes, et intègre deux missions qui se complètent. Pour la conversion de l’ensemble des textes de la narration en format MP3, nous avons fait appel au synthétiseur vocal en libre accès « *Texttospeechrobot* »¹².

¹² Récupéré le 10 octobre 2021 du site <http://texttospeechrobot.com/tts/fr/synthese-vocale-en-ligne/>

La section 4.2.4 présente la sélection des mécanismes intégrés dans le jeu « Mission Zebran », un sommaire de l'univers ludique ainsi que les différents personnages. À la prochaine section, 4.2.5, volet pédagogique, nous présentons la démarche empruntée pour incorporer les éléments pédagogiques de la dimension sérieuse dans le logiciel.

4.2.5 Volet pédagogique

Le volet pédagogique représente la dimension sérieuse du JVAS. Rappelons brièvement que l'intégration de la dimension sérieuse dans un jeu vidéo est complexe. Comme le fait remarquer Lavigne (2012), incorporer dans un jeu vidéo des paramètres de nature pédagogique s'avère un défi, par exemple, effectuer des exercices scolaires dans un jeu peut être démotivant pour les enfants. Selon Lavigne, un jeu doit rester un jeu, sinon les utilisateurs vont l'abandonner. Néanmoins, Khaleghi *et al.* (2022) indiquent que si le jeu sérieux demeure ludique, il améliore la motivation des joueurs-apprenants, spécialement ceux ayant des troubles de l'apprentissage. Sans négliger, comme le fait remarquer Sauvé (2010), qu'il y a des composantes qui favorisent l'apprentissage et la motivation dans les jeux sérieux, notamment la répétition, le fractionnement du contenu, la rétroaction immédiate, le défi et le plaisir de jouer. Par conséquent, nous avons tenu compte des particularités du public cible, et des recommandations de Khaleghi *et al.* (2022) et de Sauvé (2010) pour nous assurer d'atteindre les objectifs pédagogiques fixés au départ.

Comme l'artefact que nous proposons a pour ambition d'améliorer les compétences reliées à la lecture des enfants qui présentent des difficultés d'apprentissage, tout en maintenant leurs motivations. En premier lieu, nous avons établi les critères essentiels pour la conception de l'objet dans le but de favoriser la motivation, entre autres la dimension ludique inclut un scénario cohérent et aligné avec les connaissances et les habilités visées. De plus, pour faciliter l'intégration des éléments pédagogiques dans le JVAS, nous utilisons certains éléments de la méthode MISA. Notamment, pour définir les connaissances et les compétences visées et lors de l'élaboration du scénario pédagogique. MISA propose une logique de conception spécifique comme méthode d'ingénierie pédagogique. De plus, MISA identifie les éléments essentiels à la réussite, notamment les caractéristiques qui rendent efficace un outil pédagogique.

Dans la prochaine section, nous présentons les connaissances et compétences recherchées. Nous poursuivons par la description du scénario pédagogique, et l'intégration des exercices à effectuer dans chacune des quatre UA. Finalement, nous exposons la démarche proposée pour la personnalisation du parcours pédagogique.

4.2.5.1 Connaissances et compétences

Le tableau des compétences identifie les sept connaissances et les compétences visées de l'outil. Le tableau indique pour chaque connaissance la mission et les UA présentes. De plus, le seuil du niveau de compétences visées et les énoncés de compétences y sont spécifiés, tableau 4.3.

Les énoncés de compétences se réfèrent aux travaux de Saint-Laurent et Giasson (2007). L'accès lexical désigne la capacité à retrouver un mot en mémoire pour l'exprimer à un moment précis. La conscience phonologique regroupe un ensemble de capacités à manipuler les mots dans une phrase et les syllabes dans les mots. Tandis que, la conscience phonémique est la capacité à manipuler les phonèmes, c'est-à-dire des sons qui sont combinés pour former des mots.

Tandis que, le tableau des progressions potentielles du développement des compétences établit le niveau d'activités d'apprentissage optimales pour développer les compétences visées. Nous tenons compte également de la théorie de la zone proximale de développement de Vygotsky (1933). Selon Vygotsky, un élève se situe dans une zone de confort selon ses compétences. Tant que les nouvelles connaissances à acquérir restent dans cette zone, il peut apprendre seul, tableau 4.4.

4.2.5.2 Scénario pédagogique

Les exercices sont présents dans la mission instruction et dans la mission principale. Nous préconisons « l'apprentissage distribué », le joueur-apprenant effectue les exercices une à la suite de l'autre, séparé par un laps de temps, notamment lors de la scène intermédiaire qui permet à la directrice de la sécurité de donner de la rétroaction positive à Bob le robot. De plus, nous tenons compte des facteurs qui influencent positivement la mémoire et la motivation, notamment l'importance de la répétition et du « *flow* ». Comme le fait remarquer Csikszentmihalyi (1991), l'important est l'expérience vécue par l'utilisateur, notamment qu'il a l'impression d'être en contrôle durant tout le parcours du jeu.

ID	Connaissances	Mission	UA	Niveau de compétence actuelle estimée			Niveau de compétence visée			Énoncé de compétence
				Verbe	Niv	Seuil départ, voir note 1	Verbe	Niv	Seuil fin, voir note 1	
1	Association des mots fréquents	Instruction	m	Prêter attention	1	Varié	Appliquer	4	Mesure 1 et 2	Améliorer l'accès lexical et la fluidité
2	L'identification par analogie	Principale	a	Prêter attention	1	Varié	Transposé	5	Mesure 1 et 2	Améliorer la conscience phonologique et phonémique
3	L'identification par repérage	Principale	e	Prêter attention	1	Varié	Transposé	5	Mesure 1 et 2	Améliorer la conscience phonologique et phonémique
4	L'identification par pelage du mot	Principale	i	Repérer	1	Varié	Transposé	5	Mesure 1 et 2	Améliorer la conscience phonologique et phonémique
5	L'attention	Tous	m-a-e-i	Prêter attention	3	Varié	Stimuler	6	Mesure 4	Améliorer la fluidité de la lecture
6	La motivation	Tous	m-a-e-i	Stimuler	7	7	Conserver	8	Mesure 3	Améliorer les compétences en lecture
7	Apprendre à faire les correctifs nécessaires	Tous	a-e-i	Repérer	1	Varié	Appliquer	6	Mesure 1, 2 et 4	Introduis la métacognition

Note 1 : Le seuil de compétence de départ est établi pour chaque sujet selon les tests préexpérimentation. De plus, nous évaluons le niveau de la motivation à la fin de chaque semaine. L'évaluation des performances visées, c'est-à-dire le niveau de compétence acquise durant l'expérimentation, sera effectuée à la fin de l'expérimentation après l'analyse des données recueillies :

Mesure 1 : Test BALE, nombre de mots lus.

Mesure 2 : Test BALE, nombre d'erreurs.

Mesure 3 : Nombre de sessions de jeu effectué par semaine (minimum 4).

Mesure 4 : Test AR-RAN, temps en secondes.

Tableau 4.3 : Tableau des compétences du JVAS « Mission Zebran », inspiré de Basque (2016).

Niveau	Sensibilisation			Familiarisation			Maîtrise			Expertise	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Prêter attention											
Repérer/mémorisé											
Instancier/précisé											
Transposer/traduire											
Appliquer											
Analyser											
Réparer/stimuler											
Synthétiser											
Évaluer											
Autocontrôler											

Compétences :	Connaissances et compétences	Habilitété	Niveau	Habilitété	Niveau
1	Association graphèmes-phonèmes	Prêter attention	1	Appliquer	4
2	L'identification par analogie	Prêter attention	1	Transposer	5
3	L'identification par repérage	Prêter attention	1	Transposer	5
4	L'identification par pelage du mot	Repérer	2	Transposer	5
5	L'attention	Prêter attention	3	Stimuler	6
6	La motivation	Stimuler	7	Conserver	8
7	Apprendre à faire les correctifs nécessaires	Repérer	1	Appliquer	6

Tableau 4.4 : Le tableau des progressions potentielles du développement des compétences du JVAS « Mission Zebran » inspiré de Basque (2016).

À chacune des sessions, cinq nouveaux mots fréquents sont introduits. Premièrement, à la scène départ, le personnage Claire, introduit les mots verbalement et visuellement en même temps. Selon Moreno et Mayer (2007), il est préférable pour l'apprentissage de combiner plusieurs sources d'informations simultanément. Par la suite, lors de la mission instruction, le joueur-apprenant doit pêcher les ballons qui incluent le mot qu'il entend. Lors de cette mission, chaque mot revient à deux reprises.

Durant la mission principale, nous intégrons alternativement, trois stratégies inspirées de l'adaptation française du programme en rééducation pour les élèves dyslexiques *WIST*. Le joueur-apprenant doit identifier les pierres avec le mot qui correspond à la consigne de l'exercice qu'il entend. Chaque mot revient à cinq reprises durant cette mission. Comme nous l'avons mentionné antérieurement, nous tenons compte des travaux de Lefebvre (2016), qui indique que les élèves ont besoin de décoder un nouveau mot jusqu'à huit fois avant de le mémoriser dans leur mémoire lexicale.

Nous soulignons également la présence de plusieurs éléments de rétroaction, dans le but de stimuler la motivation des joueurs-apprenants. D'abord, le personnage Claire a comme fonction d'expliquer les consignes des missions, mais également de donner des renforcements positifs et de la rétroaction. De plus, lors des missions, des éléments de rétroactions sont prévus, notamment le pointage qui s'affiche en permanence et qui s'actualise en temps réel. Plus le joueur-apprenant trouve de bonnes réponses, plus les résultats sont élevés. Le joueur-apprenant visualise sa performance et peut la comparer avec la meilleure performance qu'il a accomplie précédemment. Après chaque mission, l'élève sera dirigé à travers différentes interfaces, recevra une rétroaction sous forme auditive et visuelle, par exemple il gagnera des étoiles de couleur argent ou or.

Finalement, lorsque le joueur-apprenant rencontre des difficultés, il peut demander de l'aide en cliquant avec la souris sur la touche Aide à l'écran, qui lui permet d'identifier la bonne réponse. Sans omettre que le joueur-apprenant peut sans pénalité faire répéter la consigne de la mission principale.

4.2.5.3 Exercices intégrés dans les UA

Le jeu « Mission Zebran » est basé sur un cheminement ludique qui demande de faire des choix, suivre un parcours, une direction, etc. Ces choix sont basés sur la compréhension des exercices que doivent réaliser les élèves. Les exercices sont basés sur les erreurs fréquentes, par exemple l'inversion d'une ou de plusieurs lettres au sein d'un mot, et des confusions auditives par exemple fille au lieu de ville. Les exercices les amènent à commettre des erreurs, cependant plusieurs éléments imbriqués dans le jeu permettent une rétroaction immédiate et adaptée à l'élève. Notamment, la possibilité de demander de l'aide peut soutenir les joueurs-apprenants à comprendre les erreurs commises. L'objectif est d'introduire des mécanismes métacognitifs aux élèves. Notamment, une réflexion pour éviter de répéter une même erreur.

Il importe de souligner qu'il y a quatre UA intégrées (m, a, e, i) dans le parcours du jeu. Les UA utilisent toutes les facettes du jeu vidéo d'action, mais en ajoutant une composante éducative. La première UA nommée m, représente les 60 mots fréquents qui sont introduits à chacune des sessions de jeu. Premièrement à la scène départ et ensuite lors de la mission instruction, tableau 4.5.

<i>Liste des mots fréquents par session de la scène départ et de la mission instruction</i>											
Numéro de la session	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Section des nouveaux mots fréquents	2.5 minutes	La	Besoin	École	Révision	Pour	As	Ton	Révision	Jouer	Dire
		Tu	Regarder	Première		Soir	Fête	Mon		Porte	Place
		Du	Année	Être		Voir	Sur	On		Plus	Leur
		Famille	Semaine	Mère		Peur	Père	Son		Feuille	Terre
		Ami	Animal	Lune		Vite	Maison	Brun		Lire	Il
Section revision des mots fréquents	2.5 minutes				La				Soir		
					Tu				Vite		
					Ami				Sur		
					Année				Mon		
					Être				Brun		
Numéro de la session	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Section des nouveaux mots fréquents	2.5 minutes	Air	Révision	An	Lui	Chien	Révision	Révision	Révision	Révision	
		Été		Dur	Eau	Comme					
		Faire		Ou	Beau	Personne					
		Tête		Moi	Oiseau	Soleil					
		Jour		Toi	Bien	Grande					
Section revision des mots fréquents	2.5 minutes			Jouer				Du	Peur	Voir	Lire
				Plus				Été	Pour	Fête	Place
				Dire				Beau	Moi	Ton	Il
				Terre				Dur	Jour	On	Père
				Faire				Feuille	Porte	Bien	Lui

Tableau 4.5 : L'index de l'UA m.

D'un autre côté, les trois autres UA (a, e, i,) représentent les trois stratégies inspirées de l'adaptation française du programme en rééducation pour les élèves dyslexiques *WIST* (Myre-Bisaillon, 2009). Les UA (a, e, i,) sont intégrées uniquement dans la mission principale.

1. UA a, l'identification par analogie est la reconnaissance des rimes (Myre-Bisaillon, 2009).
 - Pour délivrer les otages, tu dois toucher les pierres qui indiquent un mot qui rime avec le mot fréquent que tu entends. Ensuite, touche la cage pour faire disparaître les barreaux de la prison. Sois prudent Bob, évite les méchants.
2. UA e, l'identification par repérage d'une partie connue s'applique à trouver un plus petit mot dans un mot (Myre-Bisaillon, 2009).
 - Bonjour, Bob, pour délivrer les otages, tu dois toucher les pierres avec un mot qui inclut le mot fréquent que tu entends. Ensuite, touche la cage pour faire disparaître les barreaux de la prison. Sois prudent Bob, évite les méchants.
3. UA i, l'identification par pelage de mot a pour objectif de discerner un mot racine, en retirant soit le suffixe soit le préfixe ou bien les deux (Myre-Bisaillon, 2009).
 - Bob, la situation est critique. Il faut libérer les personnes, malheureusement le temps nous est compté. Pour délivrer les otages, tu dois toucher les pierres qui indiquent un mot qui a comme racine le mot fréquent que tu entends. Ensuite, touche la cage pour faire disparaître les barreaux de la prison. Sois prudent Bob, évite les méchants.

4.2.5.4 Personnalisation du parcours pédagogique

Nous avons utilisé une Q-Matrice pour établir les états de compétences des trois UA qui composent la mission principale. Chaque UA doit être complétée avant de passer à la suivante. Nous commençons par l'UA a, pour ensuite passer à l'UA e et finalement terminer par l'UA i, tableau 4.6.

Niveau	L'identification par analogie			L'identification par repérage			L'identification par pelage du mot			Les états de compétences (CS)
	(a)			(e)			(i)			
	(b)	(c)	(d)	(f)	(g)	(h)	(j)	(k)	(l)	
1	X									(b)
2	X	X								(b, c)
3	X	X	X							(a)
4	X	X	X	X						(a, f)
5	X	X	X	X	X					(a, f,g)
6	X	X	X	X	X	X				(a, e)
7	X	X	X	X	X	X	X			(a, e, j)
8	X	X	X	X	X	X	X	X		(a, e, j, k)
9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	(a, e, i)

Tableau 4.6 : Q-Matrice des états de compétences.

Pour compléter chaque UA, le joueur-apprenant doit atteindre le niveau de compétence établi lors du diagnostic cognitif prévu, ou bien terminer une session de révision, figure 4.10.

- Pour réussir UA a, il faut réussir le diagnostic cognitif à la session 3 ou terminer la session 4.
- Pour réussir UA e, il faut réussir le diagnostic cognitif à la session 7 ou terminer la session 8.
- Pour réussir UA i, il faut réussir le diagnostic cognitif à la session 11 ou terminer la session 12.

Un diagnostic cognitif positif est fondé sur trois mesures. Premièrement, le joueur-apprenant doit atteindre à la fin de la session de jeu au minimum vingt-cinq points, ne pas faire plus de trois erreurs et finalement, ne pas utiliser le bouton aide plus de deux fois lors des sessions d'évaluations.

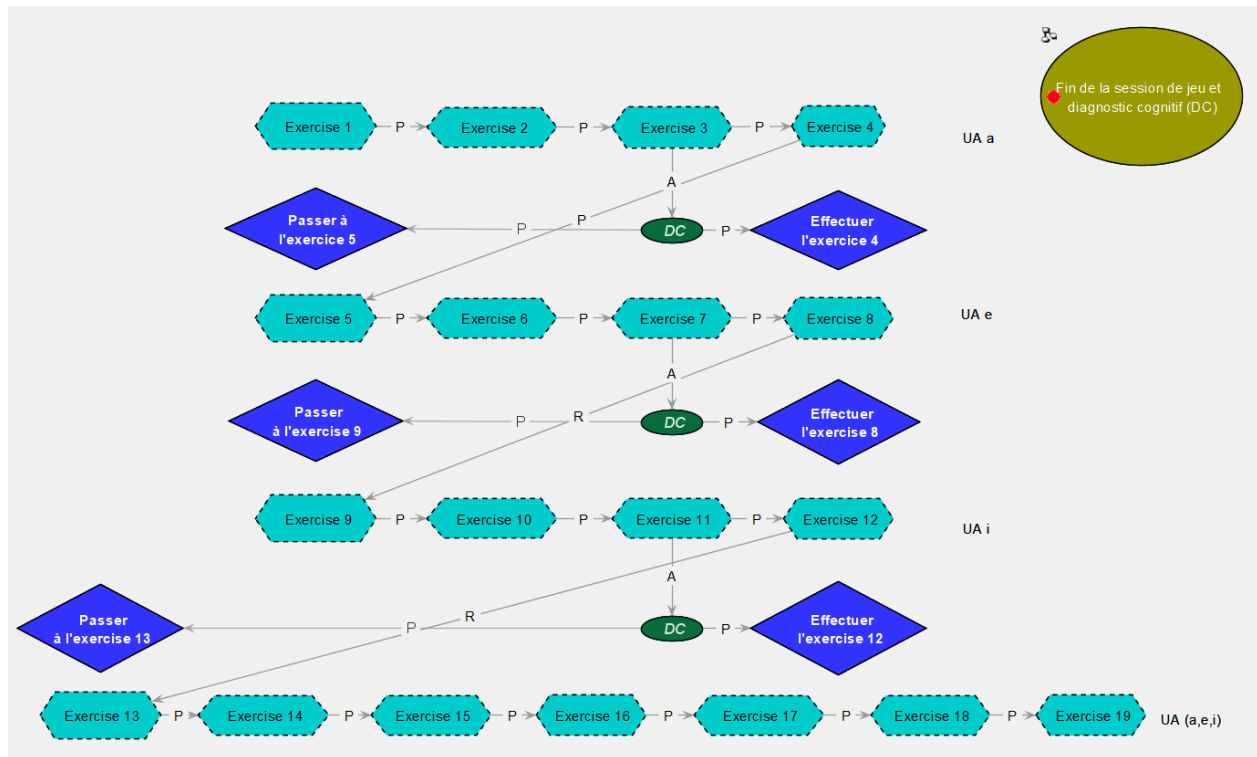


Figure 4.10 : Personnalisation du parcours pédagogique.

À présent que nous avons présenté les éléments du volet pédagogique. Nous passons à la section 4.2.6, systèmes d'inférence, qui décrit la méthode que nous proposons pour réaliser la personnalisation du parcours pédagogique.

4.2.6 Systèmes d'inférence

La personnalisation du jeu est un élément essentiel lors de la conception de l'artefact. La personnalisation permet de suivre le cheminement individuel des apprenants et d'ajuster le niveau des exercices selon les résultats obtenus, ce qui permet d'avoir une incidence positive sur la motivation des apprenants.

Notre modèle est fondé sur l'inférence inductive. L'inférence inductive est faite par analogie, elle ajuste les assertions et génère de l'information modale et probabiliste (Russell et Norvig, 2010). L'inférence inductive est créative et non monotone, en revanche elle est incertaine. L'inférence inductive se base sur des arguments, et ses arguments sont construits à partir de données d'échantillon et d'un modèle théorique qui est lui-même une hypothèse statistique (Hacking, 2001). De plus, Hacking soutient que « la logique inductive concerne les arguments risqués. Il analyse les arguments inductifs en utilisant la probabilité » (Traduction libre) (p. 11).

Le système d'inférence inductive probabiliste intégré dans l'artefact représente l'incertitude cognitive des experts. Notamment, lorsqu'un enseignant utilise un test avec une série d'indicateurs pour évaluer si l'apprenant a assimilé les nouvelles connaissances, ou doit revoir certains éléments.

Comme le raisonnement est un outil de traitement de l'information, et en informatique le raisonnement doit être calculable (Russell et Norvig, 2010). Le but de notre système d'inférence est de repérer une fonction qui généralise bien une série d'exemples de couple d'entrées-sortie, pour prédire le diagnostic cognitif et prendre une décision à partir de nouvelles données d'entrées. Selon Russell et Norvig, il y a plusieurs modèles de logique inductive pour calculer de manière satisfaisante, la probabilité d'un événement fondée sur un ensemble d'observations, notamment les réseaux bayésiens et les RNA.

4.2.6.1 Le modèle d'intelligence artificielle

Le modèle d'intelligence artificielle intégré dans notre étude est inspiré du modèle *PDKT-C* de Chen *et al.*, (2018). Il importe de souligner que nous utilisons un RNA de type réseau de neurones profond, puisque comme le mentionne Negnevitsky (2005), un RNA est capable d'apprendre et son apprentissage requiert moins de données qu'un « réseau de neurones récurrents ». Le RNA intégré dans notre modèle classe le niveau de compétence d'un élève selon la liste de caractéristiques, et par la suite décide si l'élève doit changer de niveau d'exercice, figure 4.11. Le principal avantage de notre modèle est la précision des prédictions recherchées lors du diagnostic cognitif.

En premier lieu, nous avons conçu une base de données pour entraîner en mode supervisé le « réseau de neurones profond ». Par la suite, lors de la conception de l'outil pédagogique, nous avons connecté le réseau entraîné dans un moteur d'inférence.

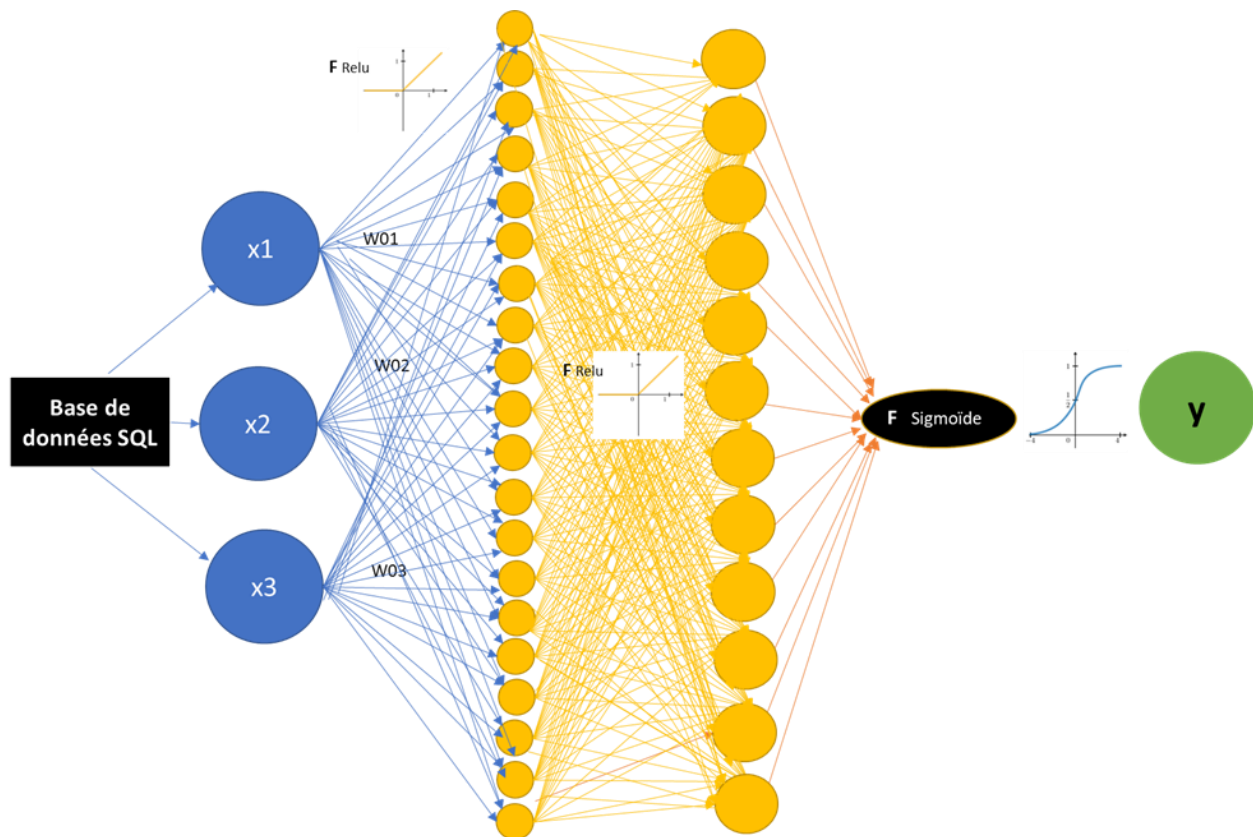


Figure 4.11 : Représentation du moteur d'inférence de type RNA.

Le moteur d'inférence est développé en langage « *Python* ». Le RNA est entraîné en mode supervisé et mémorisé dans un fichier « *Hierarchical Data Format* », qui contient un tableau multidimensionnel. Pour faciliter la communication entre le fichier « *Hierarchical Data Format* » et le jeu sérieux, on utilise le protocole « *HyperText Transfer Protocol Secure* ».

Le RNA est composé de trois données d'entrées (x_1 , x_2 , x_3), de deux couches cachées de 20 et de 12 neurones. Chaque couche est reliée à une fonction d'activation de type *ReLU*. Une fonction de type *ReLU* améliore la convergence du réseau, puisqu'elle modifie les résultats négatifs par zéro. Cependant, la fonction d'activation sigmoïde est utilisée pour la couche de sortie (Y), puisque les prédictions recherchées sont comprises entre 0 et 1, figure 4.12.

```

# Charger l'ensemble de données

dataset = numpy.loadtxt(r'C:\Users\lewis\OneDrive\Documents\mission_jse_dataF.csv',
delimiter=';')

x = dataset[:,0:3]
y = dataset[:,3]

# Définir le modèle Keras

model = Sequential()
model.add(Dense(20, input_dim=3, activation='relu'))
model.add(Dense(12, activation='relu'))
model.add(Dense(1, activation='sigmoid'))

```

Figure 4.12 : Code du modèle « Keras » qui représente le RNA en langage « Python ».

Les trois variables d'entrée (x) du modèle d'entraînement correspondent aux traces recueillies lors de la mission principale du JVAS.

1. Le nombre de points accumulés durant la session de jeu (x1).
2. Le nombre d'erreurs commises (x2).
3. Le nombre de fois que l'apprenant demande de l'aide (x3).

La base de données SQL capture les trois traces qui représentent les variables d'entrées à la fin de chaque session de jeu. Par la suite, les trois données sont envoyées sous forme de paramètres via le protocole « *HyperText Transfer Protocol Secure* » vers le moteur d'inférence qui effectue le diagnostic. Le diagnostic divise le résultat obtenu en deux classes. La classe 0, qui signifie que l'apprenant à un échec et la classe 1, qui signifie qu'il a réussi, figure 4.13.

Nous employons pour l'entraînement du réseau « *TensorFlow* » et « *Keras* ». La plateforme « *TensorFlow* » est un outil conçu par Google d'apprentissage automatique pour concevoir des RNA. Tandis que « *Keras* » est une interface de programmation pour réaliser un prototype de réseaux de neurones artificiels en utilisant la plateforme « *TensorFlow* ».

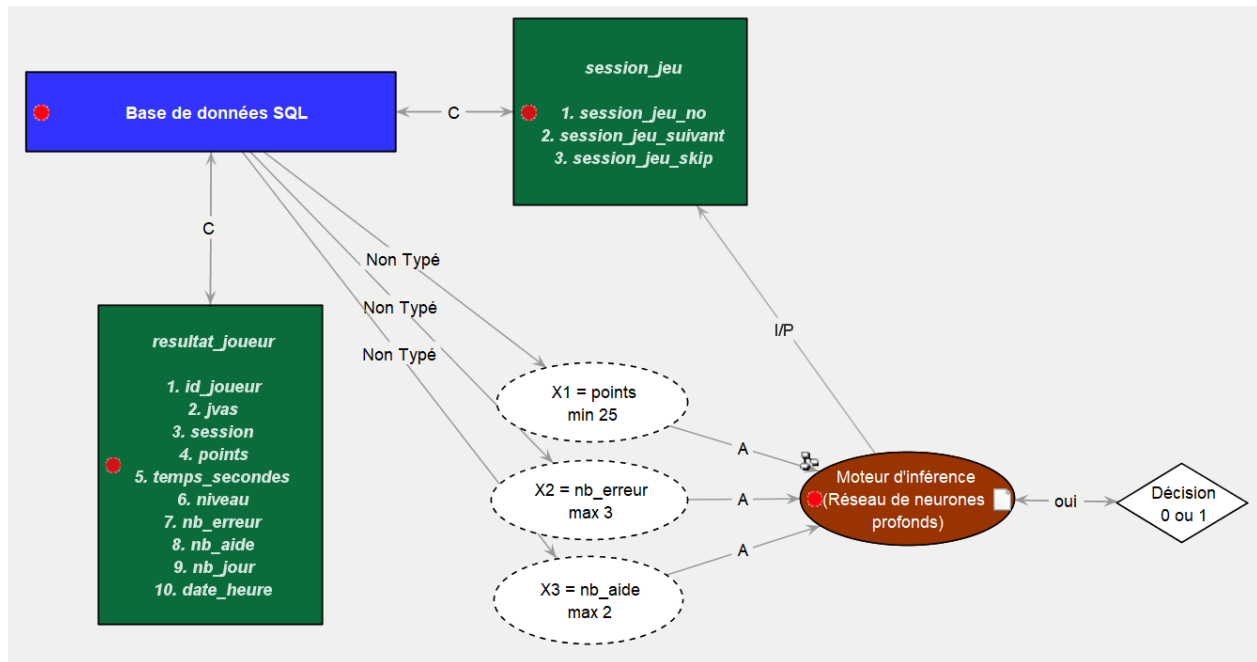


Figure 4.13 : Représentation du modèle d'inférence.

L'interface « *Keras* » permet de conserver une partie des données d'entraînement, dans un ensemble de données de validation. Les données de validation permettent d'évaluer la précision du modèle à chaque itération. Nous tenons à mentionner que dans notre modèle vingt-cinq pour cent des données sont conservées pour la validation « *validation_split=0.25* », figure 4.14.

```
# Compiler le modèle Keras
model.compile(loss='binary_crossentropy', optimizer='adam', metrics=['accuracy'])
# Ajuster le modèle Keras sur le jeu de données
model.fit(x, y, validation_split=0.25, epochs=800, batch_size=5, verbose=1)
```

Figure 4.14 : Code pour l'optimisation et la validation du modèle en langage « *Python* ».

Notre modèle effectue 800 itérations « *Epoch* » avec les données d'entraînement et met à jour ses valeurs de biais (w). L'optimisation du modèle se fait par une descente de gradient stochastique de type « *adam* ». Selon Thomas (2019), l'algorithme « *adam* » est efficace et permet d'obtenir de bons résultats. Le diagnostic est transmis vers le jeu sérieux sous le format « *JavaScript Object Notation* » qui interprète le résultat et décide quelle session de jeu, le joueur-apprenant doit effectuer.

À la lumière de ce qui précède, il est important de souligner la précision du modèle pour chaque itération. La précision de la prédiction « *val_accuracy* » est supérieure à 97 %, figure 4.15.

```
# Résultat de la validation du modèle  
Epoch 800/800  
45/45 [=====] - 0s 643us/step - loss: 0.0701 - accuracy: 0.9778 -  
val_loss: 0.0653 - val_accuracy: 0.9733  
Saved model to disk
```

Figure 4.15 : Résultat de la validation du modèle.

Finalement, avant d'amorcer le protocole de recherche. Nous avons effectué une série de tests pour valider la conformité du jeu. L'objectif des tests était de confirmer que chaque paramètre programmé dans le jeu correspond à ceux décrits dans le devis. Notamment, l'adaptation qui s'exécute à la fin de chaque session de jeu, et qui permet les changements de niveaux de jeu, et la personnalisation des UA du JVAS, qui s'exécute après que le diagnostic cognitif soit réalisé. La série de tests a été complétée et les corrections nécessaires terminées à la fin avril 2023. Rappelons brièvement, que le jeu est hébergé sur un serveur distant sécurisé de l'Université TÉLUQ, et est accessible à partir d'une connexion Internet sécurisée.

4.2.7 Les cycles de conception du logiciel

La version définitive du JVAS décrit précédemment a été conçue selon la méthode « *Design-Based Research* », figure 4.16. La première étape a été réalisée lors de l'étude de préconception et durant la rédaction du cadre conceptuel et théorique. Nous avons conçu un prototype du jeu et nous l'avons soumis à l'évaluation d'experts du domaine de l'éducation et du jeu vidéo, ainsi qu'au public cible. Les commentaires et suggestions des experts et du public cible ont permis d'améliorer plusieurs éléments de l'objet. Les modifications apportées améliorent également l'ergonomie du jeu et par le fait même l'expérience utilisateur.

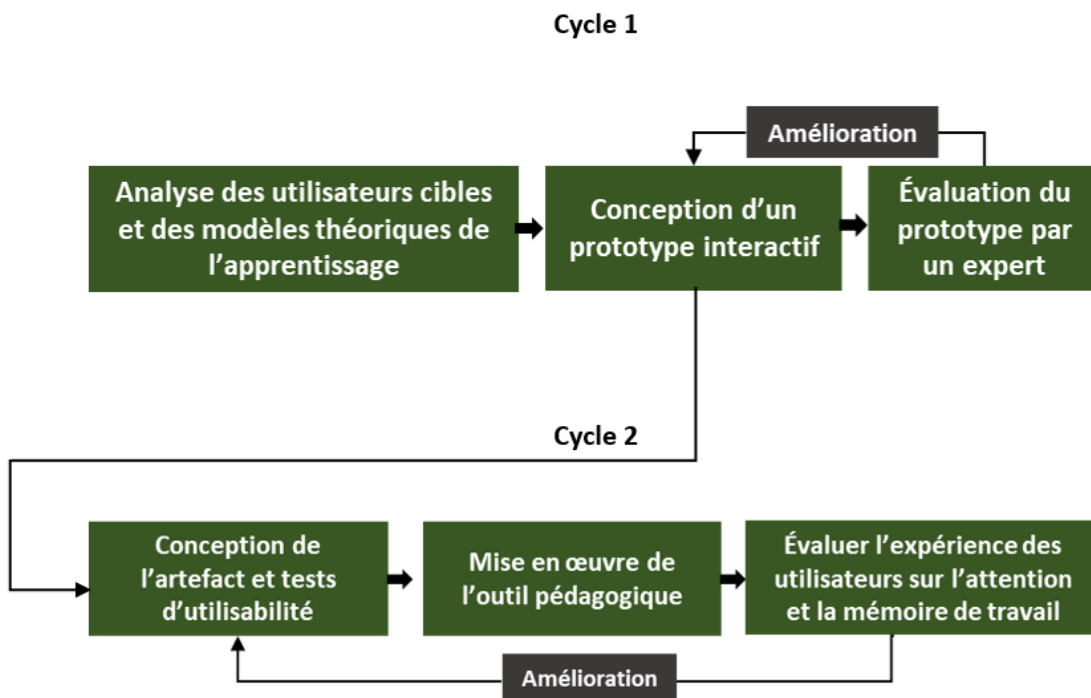


Figure 4.16 : Représentation de la méthode « *Design-Based Research* » (Traduction libre) (Chang *et al.*, 2021, p. 4).

4.3 Questions d'éthiques

Entre-temps, nous avons présenté le devis au comité d'éthique de la recherche de l'Université TÉLUQ pour le faire approuver. Bien entendu, comme cette proposition de thèse inclut des contacts directs avec des êtres humains, nous devons nous assurer de mettre en place des mesures pour respecter la réglementation sur l'éthique. Nous aurons accès à des informations qui sont confidentielles lors de l'examen des documents et lors des entretiens. Pour minimiser les risques que représente l'accès aux données sur la vie privée et la confidentialité, nous mettrons en place une série de mesures et de règles, ainsi donc :

- lors de la rédaction des résultats de l'étude, nous ne mentionnons pas les noms des personnes interviewées, ils resteront anonymes. Toute l'information restera confidentielle et les risques de préjudices très faibles. Nous recherchons des tendances à travers des moyennes, la divulgation de nom n'apporte aucune valeur aux résultats de cette étude ;
- les parents et les élèves doivent signer un formulaire de consentement pour participer au projet de recherche ;
- nous allons codifier les identifiants des élèves afin de ne pas dévoiler l'identité en cas de vol d'ordinateur et retirer à la fin de l'analyse des traces, toute l'information personnelle de la base de données ;
- comme nous sommes plusieurs à avoir accès aux informations, une lettre de non-divulgence des renseignements est signée par chaque membre de l'équipe du projet et remise au comité d'éthique de la recherche (CÉR) de l'Université TÉLUQ ;
- la sécurité des données et la fiabilité de la plateforme sont essentielles à la bonne marche de l'étude. Nous nous assurons d'intégrer dans la plateforme Web, des mesures et techniques des plus sécuritaires pour protéger les informations recueillies lors de l'expérimentation. Finalement, nous allons nous assurer qu'à la fin de ce projet de recherche, les informations confidentielles recueillies lors du projet de recherche seront détruites. Nous sommes persuadés que les risques que représente cette recherche sont faibles en comparaison au bénéfice que pourrait procurer un outil efficace pour le support en lecture d'enfants qui présentent des difficultés d'apprentissage.

4.4 Protocole expérimental

Le protocole expérimental est l'ensemble des procédures que nous avons mis en place pour valider ou non nos hypothèses de recherche, tel que représenté à la figure 4.17. Comme nous l'avons mentionné antérieurement, nos hypothèses sont :

- il est possible de concevoir un outil pédagogique numérique en intégrant une dimension sérieuse personnalisée à un JVA en 3D, tout en conservant la motivation de jeunes élèves ;
- le JVAS permet d'améliorer les compétences en lecture de notre public cible lors d'un test calibré de lecture.

Il importe de souligner que notre étude se déroule en milieu naturel et non dans un laboratoire avec un nombre limité de participants. Dans ce contexte, nous avons déterminé comme Alexander *et al.* (1991) et Myre-Bisaillon (2004, 2009), qu'une recherche expérimentale combinant des données de type qualitatives et quantitatives est appropriée pour répondre à notre question de recherche.

En fait, nous procédons par une étude de cas multiple en combinant des données qualitatives recueillies lors des entrevues, dans les réponses aux questionnaires et lors d'observations avec des données quantitatives qui sont issues des tests et des traces numériques. Barlatier (2018) indique que l'étude de cas est une méthode qui permet de recueillir divers types de données sur une personne, une organisation ou un événement, dans le but de comprendre le fonctionnement d'un phénomène complexe ou nouveau dans un contexte de vie réel. Cependant, un des défis de l'étude de cas est la sélection du sujet. Puisque dans une étude de cas, l'accent est mis sur le sujet et non sur les données pour nous permettre de justifier nos arguments (Dumez, 2013).

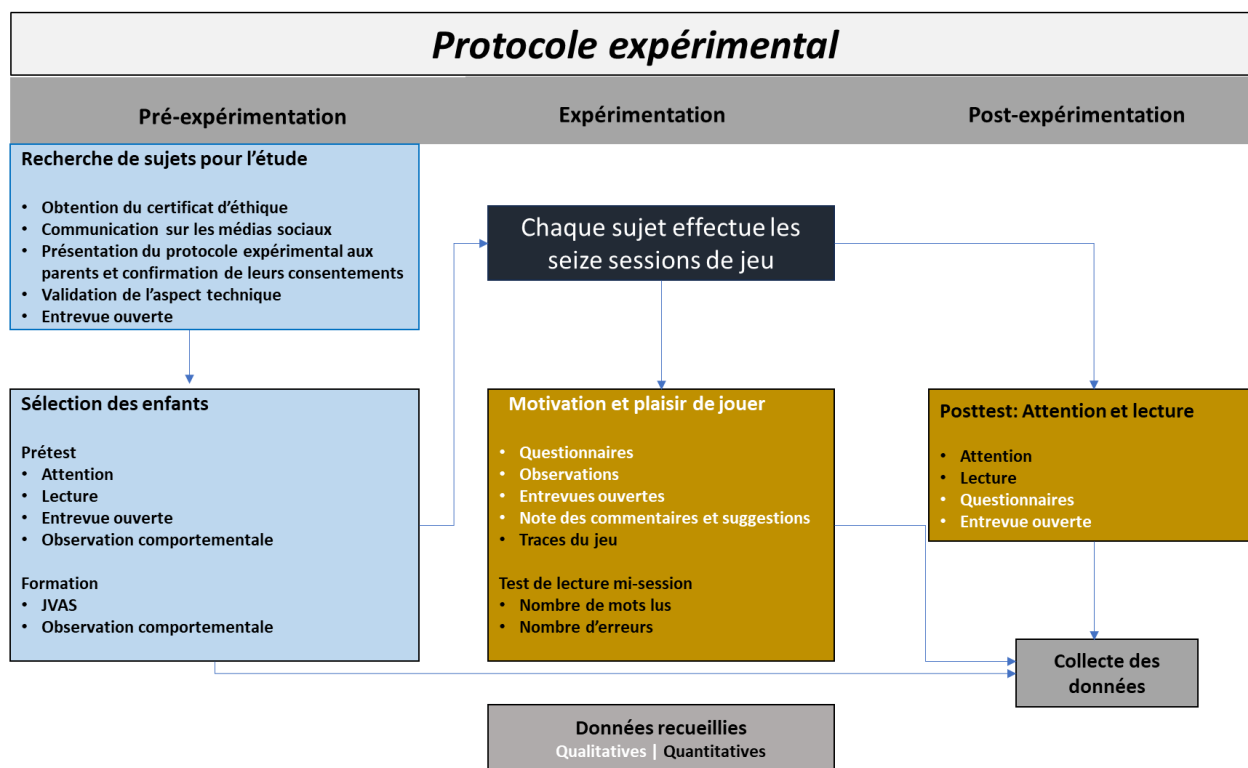


Figure 4.17 : Protocole expérimental

Rappelons brièvement que le comité d'éthique de la recherche de l'Université TÉLUQ a certifié avoir examiné la proposition de recherche soumise pour le projet et avoir conclu que la recherche proposée est entièrement conforme aux normes d'éthique en recherche selon la Politique d'éthique de la recherche avec les êtres humains. Nous avons reçu le certificat en date du 9 janvier 2023 et il est valide pour une durée de douze mois. Le certificat d'éthique est disponible en annexe C.

Après avoir obtenu le certificat d'éthique, nous avons présenté notre projet de recherche aux organismes pour qu'ils nous autorisent à communiquer avec leur auditoire à travers leurs médias sociaux. Le but était d'intéresser un nombre suffisant de parents pour nous permettre de choisir un minimum de deux sujets lors du processus de sélection.

À la suite de la communication dans les médias sociaux, onze parents ont communiqué avec nous. Nous leur avons présenté le projet d'étude. En fin de compte, huit parents ont accepté que leurs enfants participent à l'expérimentation.

Nous avons expliqué à chaque parent qui a communiqué avec nous, l'intention du projet d'étude et le protocole expérimental que doit suivre leur enfant durant la recherche. Si le parent ou tuteur accepte de participer à l'étude, nous validons l'aspect technique, c'est-à-dire la performance de l'ordinateur des parents, et la vitesse de leur connexion Internet. D'ailleurs, les parents doivent se connecter avec le lien Internet du site du jeu que nous leur avons fait parvenir en utilisant le navigateur Web Google Chrome. À partir du moment où l'ensemble des critères de sélection et l'aspect technique sont certifiés avec les parents, ceux-ci doivent signer le formulaire de consentement et le faire parvenir au directeur du projet par courriel.

De plus, lors de la première rencontre une entrevue ouverte est réalisée avec le parent pour se familiariser avec la situation de l'enfant dans son milieu scolaire, ainsi qu'avec ses compétences en lecture. Par ailleurs, nous avons vérifié que les enfants choisis ne participent à aucune formation scolaire ou de programme de rééducation durant la période de l'expérimentation.

Nous avons par la suite rencontré individuellement les huit enfants pour valider leurs intérêts au projet d'étude. Or, seulement cinq enfants voulaient réellement participer à l'expérimentation. Nous tenons également à souligner, qu'étant donné que les tests d'attention et que certains paramètres du jeu requièrent la reconnaissance des couleurs, un enfant daltonien ne pouvait être choisi.

Une deuxième rencontre est effectuée avec l'enfant accompagné d'un parent, pour ainsi valider l'intérêt de l'enfant à participer à l'étude. Ensuite, nous invitons les enfants intéressés à passer un test de compétences en lecture, qui évalue la conscience phonologique. Chaque enfant doit lire le texte « Monsieur Petit » inclus dans la « batterie analytique du langage écrit » (BALE) développé par le laboratoire des Sciences de l'Éducation et le laboratoire de Psychologie et NeuroCognition de l'université Pierre Mendès située à Grenoble en France (Jacquier-Roux *et al.*, 2010, p. 52). Le nombre de mots lus correctement en une minute et le nombre d'erreurs sont comptabilisés pour chaque enfant.

Puis les participants effectuent le test « *Arkansas Rapid Automated Naming Screener* » (AR-RAN)¹³ qui consiste à énumérer une liste de couleurs le plus rapidement possible. Selon Norton (2020), un test de dénomination rapide permet de prédire la capacité de lecture de jeunes enfants. Car un test de dénomination rapide simule le processus de lecture, notamment le processus visuoattentionnel, c'est-à-dire l'attention focalisée, le mouvement des yeux et le traitement cognitif nécessaire à la lecture (Norton, 2020). Cornily (2018) ajoute qu'un test qui valide la conscience phonologique et un test de dénomination rapide représentent les meilleurs prédicteurs de la capacité de lecture de jeunes enfants.

Nous vérifions également lors de nos entrevues, si les symptômes décrits à la section 4.1.1.1 sont observables chez l'enfant. Les résultats des tests de lecture et d'attention nous permettent aussi de sélectionner les sujets pertinents à l'étude. Entre autres, le résultat des tests d'attention *AR-RAN* et les résultats des tests de lecture doivent se situer en bas de la moyenne de leur groupe d'âge.

Étant donné que, la mission de l'étude n'est pas l'apprentissage d'un nouveau jeu vidéo, mais plutôt évaluer l'amélioration des compétences en lecture des apprenants et leur motivation, nous procédons à une brève présentation en ligne avec chaque sujet sélectionné, sur les règles, les consignes et les défis du jeu à réaliser. Ensuite, le sujet suit une formation pratique qui lui permet d'interagir avec la souris et le clavier. Cette formation permet à l'enfant de déplacer Bob le robot, dans l'univers des différentes scènes. Le but de la présentation est de s'assurer que les sujets sélectionnés auront les connaissances nécessaires pour jouer avec l'outil de façon optimale.

¹³ Récupéré le 24 novembre 2022 du site https://decodingdyslexiaca.org/wp-content/uploads/2017/03/Arkansas_Rapid_Naming_Screener.pdf#:~:text=The%20Arkansas%20Rapid%20Automatized%20Naming%20Screener%20%28AR-RAN%29%20is,Wendling%20in%20Essentials%20of%20Dyslexia%20Assessment%20and%20Intervention.

Selon Keller (2000), il est essentiel d'explicitier aux participants les objectifs à atteindre, ce qui permet d'implanter un environnement où l'apprenant se sent en confiance. De plus, comme le mentionne Csikszentmihalyi (1990), pour favoriser la motivation, il faut que l'élève éprouve du plaisir et qu'il croie en ses chances de gagner. La présentation du jeu permet d'éviter des frustrations inutiles, et met l'accent sur l'apport du jeu pour l'amélioration des compétences recherchées. Finalement, nous présentons aux enfants un exemple de chacun des trois exercices intégrés dans la mission principale du jeu.

4.5 Processus de collecte des données

Cette section décrit les outils et les méthodes utilisées pour la cueillette des données durant l'expérimentation. L'ensemble des données qualitatives et quantitatives sont issues des entrevues, des observations, des résultats de tests avant pendant et après l'expérimentation, à l'intérieur des traces numériques et des commentaires du retour synthèse, sans omettre, les informations pertinentes des documents d'archives, tableau 4.7.

Durant l'étape préliminaire, nous avons recueilli et validé les informations nécessaires pour identifier les connaissances et les compétences en lecture que les apprenants doivent acquérir durant les séances de formation ainsi que l'environnement et les ressources disponibles en milieu naturel. Nous recueillons les données quantitatives et qualitatives auprès de chaque participant qui effectue les sessions de jeu en respectant le protocole établi. Les données qualitatives représentent l'intérêt du sujet pour compléter les sessions de jeu, notamment la motivation, la frustration et l'ergonomie du jeu.

Les sujets sont invités à passer avec le directeur de projet, un test à mi-parcours et un posttest dans la semaine qui suit la fin de l'expérimentation. Le nombre de mots lus en une minute et le nombre d'erreurs sont comptabilisés pour chaque joueur-apprenant. Puis les sujets effectuent le test *AR-RAN* de nouveau.

Étape	Documents ou instruments	Description
Recrutement des participants	Communication du document de recrutement	Un message pour le recrutement de sujets a été publié sur les sites web des médias sociaux, de l'Université TÉLUQ et des groupes privés : Entraide trouble d'apprentissage — parents du Québec, géré par Institut des troubles d'apprentissage et Pour la recherche en éducation au Québec.
Présentation du projet aux parents et validation technique	Document de présentation Test des équipements informatiques	Une rencontre en ligne d'une durée de 30 minutes a lieu avec chaque parent ou tuteur qui nous a contactés. Nous présentons le projet d'étude, ainsi que les rôles des parents et des élèves qui acceptent de participer. Si le parent ou tuteur accepte, nous validons la compatibilité technique de leur ordinateur, et la vitesse d'Internet au domicile.
Consentements des parents ou tuteurs	Formulaire de consentement	Chaque parent ou tuteur nous fait parvenir par courriel leur consentement.
Sélection et inscription des sujets (enfants)	Test de lecture et d'attention Présentation du JVAS	Chaque enfant fait un test individuel de lecture et d'attention. Une séance de jeu est effectuée par le sujet avec le directeur du projet.
	Entrevue ouverte Réponses et notes	Validation de la motivation de l'enfant pour participer à cette recherche. Entretien sur les difficultés qu'il rencontre dans son cheminement scolaire. Évaluation et sélection du sujet pour la recherche.
	Traces individuelles du jeu	L'enfant effectue les 16 sessions de jeu accompagné d'un parent (une session par jour est autorisée). L'étude est effectuée durant la période estivale entre juin et septembre 2023.
Évaluation mi-terme	Test de lecture Entretien ouvert Traces individuelles du jeu	Chaque enfant fait un test individuel de lecture au milieu de l'expérimentation. Validation de la motivation des sujets et de la stratégie de jeu. Rapport sur les résultats des sujets à mi-terme.
	Test de lecture et d'attention	Chaque enfant fait un test individuel de lecture et d'attention dans la semaine qui suit la fin des séances de jeu.
	Questionnaires	Les fiches d'évaluation des parents et des enfants doivent être remplies et retournées par courriel au chercheur.
Évaluation finale	Entrevue ouverte	Validation de la motivation des sujets et du plaisir de jouer avec l'outil pédagogique. Noter les commentaires et suggestions des enfants et des parents sur l'expérience de jeu. Noter le comportement des sujets selon le point de vue des parents.
	Traces individuelles du jeu	Rapport sur les résultats des sujets à la fin de l'étude.

Tableau 4.7 : Documents et instruments pour la collecte de données.

4.6 Processus d'analyse et d'interprétation des données recueillies

Étant donné que l'étude cherche à comprendre le comment et le pourquoi d'une expérience d'apprentissage dans la vie réelle, et que nous n'avons que peu de contrôle sur les facteurs externes. Nous avons opté pour une étude de cas multiple avec des données de type hybride. Partant de ce fait, nous allons dans un premier temps identifier et regrouper les données significatives, dans un deuxième temps traiter et analyser les données, par la suite interpréter et présenter les résultats dans le but de confirmer ou d'infirmer nos hypothèses de recherche, tel que représenté à la figure 4.18.

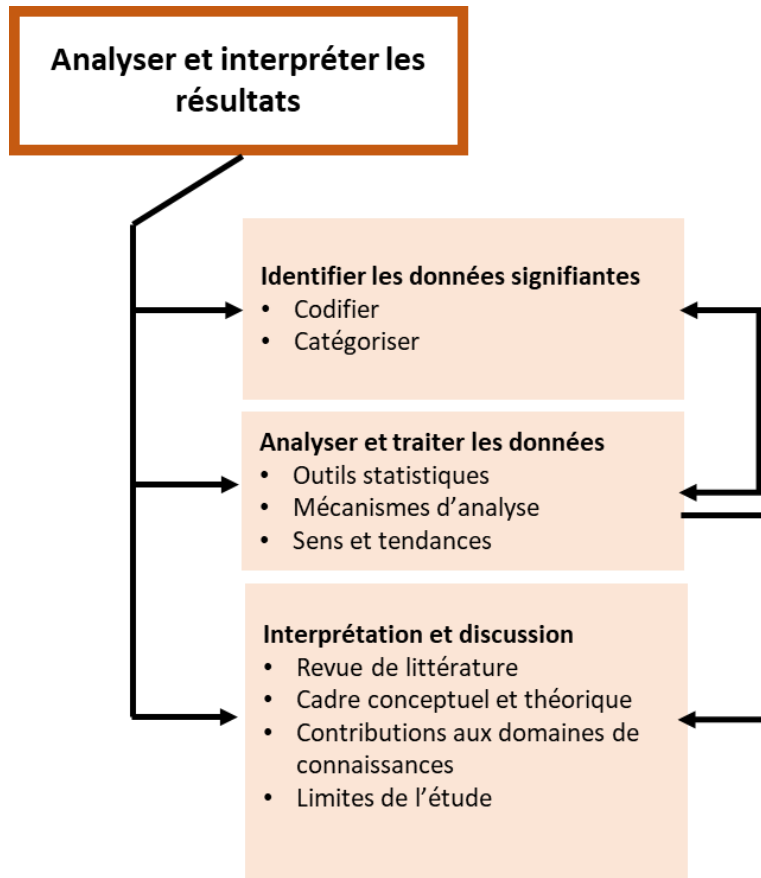


Figure 4.18 : Processus d'analyse et d'interprétation des données recueillies, inspiré du document Essai-1234 de l'université Téléq¹⁴.

En premier lieu, nous identifions les données significantes, ceux qui apportent des éléments de réponse aux hypothèses de départ et à la question de la recherche, tableau 4.8. Nous tenons compte également lors de la collecte et de l'analyse des données, de l'interaction parents-sujets, puisque l'étude se déroule dans un contexte d'apprentissage au domicile familial. Nous recherchons des données qui procurent un sens à travers des tendances.

¹⁴ Récupéré le 6 décembre 2023 du site <https://essai-1234.teluq.ca/phases-recherche/analyser-interpreter-resultats-recherche/>

Les données sont regroupées par thème ainsi que par sujet. Chaque thème propose des éléments de réflexion pour chacune des hypothèses de l'étude. Nous comparons les données classées par sujet et par la suite, entre eux. À travers différents graphiques, nous catégorisons les informations retenues, et recherchons des liens causals.

Hypothèses de recherche	Données qualitatives et quantitatives recueillies
Le JVAS permet d'améliorer les compétences en lecture de notre public cible lors d'un test calibré de lecture.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Nombre de mots lus lors des tests BALE. 2) Nombre d'erreurs de lecture commises, lors des tests BALE. 3) Temps en secondes des tests «AR-RAN». 4) Nombre d'erreurs commises, lors des tests «AR-RAN». 5) Niveau de motivation des sujets. 6) Commentaires et données d'observations.
Il est possible de concevoir un outil pédagogique numérique efficace en intégrant une dimension sérieuse personnalisée à un JVA en 3D, tout en conservant la motivation de jeunes élèves qui présentent des symptômes reliés à la dyslexie et un déficit d'attention.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Les résultats à chaque session de jeu. 2) Le changement de niveau de jeu. 3) Résultats de l'inférence du RNA. 4) Le niveau de motivation des sujets. 5) Commentaires et données d'observations.

Tableau 4.8 : Données recueillies par hypothèse de recherche.

Les données significatives sont catégorisées dans trois thèmes. Le premier, les compétences en lecture, notamment la fluidité et l'attention, le deuxième, la motivation des participants, et le troisième, l'évaluation de la conception du JVAS. Selon Giasson (2011), la fluidité en lecture apparaît lorsque l'élève lit un texte rapidement avec précision et expression. Tandis qu'un déficit d'attention se définit lorsque l'élève rencontre des difficultés de concentration et ne porte pas assez attention aux détails (*L'American Psychiatric Association*, 2020). Franceschini *et al.* (2013) ajoutent que l'amélioration de l'attention a une incidence positive sur la vitesse de lecture, et par le fait même sur la compréhension.

Rappelons brièvement que la motivation à persévérer dans une activité peut être intrinsèque ou extrinsèque (Ryan et Deci, 2000). La motivation intrinsèque est liée au simple plaisir qu'a une personne à accomplir une tâche. En revanche, la motivation extrinsèque est associée à des éléments externes, comme la probabilité d'avoir une récompense (Ryan et Deci, 2000).

L'évaluation de la conception de l'artefact se réfère à l'harmonie de l'intégration des deux dimensions, c'est-à-dire la dimension ludique et la dimension sérieuse dans l'outil pédagogique. Entre autres, que le jeu soit conçu en tenant compte des goûts et préférences du public cible, que la personnalisation soit basée sur des règles et des techniques qui adaptent le contenu au profil du joueur-apprenant. Enfin, que le l'artefact accompli des actions qui intéressent les participants et les incitent à vouloir connaître la suite (Göbel et Wendel, 2016).

4.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous précisons la démarche et les méthodes employées lors de la préconception et la conception de l'artefact pédagogique. D'ailleurs, pour que notre étude respecte le principe de reproductibilité, nous décrivons chaque étape de la création de l'outil pédagogique. Par la suite, nous présentons le protocole expérimental incluant le processus utilisé pour la collecte des données, l'identification, le traitement, l'analyse, et l'interprétation des informations recueillies lors de l'expérimentation. Dans le chapitre 5, résultats et discussion, l'ensemble des données identifiées est regroupé par thème, et par la suite analysé et interprété. Finalement, nous brosons un tableau des résultats obtenus, exposons la contribution de l'étude et ses limites.

CHAPITRE 5

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Ce chapitre décrit dans un premier volet, l'objet pédagogique que nous avons conçu pour cette étude. Dans un deuxième volet, présente les résultats de l'expérimentation selon le processus d'analyse et d'interprétation des données recueillies, présenté à la section 4.6. Finalement, nous justifions la contribution de l'étude à l'avancement des connaissances et mettons en évidence ses limites.

À cette étape, il nous semble important de revenir sur le but et les objectifs de l'étude. Le but de notre recherche est d'approfondir les connaissances sur les JVAS et d'énoncer des lignes directrices en appui au développement de futurs projets de recherche, impliquant la conception de logiciels personnalisés favorisant l'apprentissage de la lecture auprès de jeunes enfants, qui présentent des symptômes reliés à la dyslexie, et un déficit d'attention. Les objectifs sont de valider la démarche de conception de l'outil pédagogique ainsi que de valider son efficacité. L'efficacité du JVAS en 3D est mesurée selon quatre critères : la vitesse de lecture, le nombre d'erreurs commises, le niveau de l'attention et de la motivation des sujets.

5.1 Résultats de la phase conception

Rappelons brièvement que la conception du logiciel s'effectuait en deux cycles. Lors du premier cycle, le prototype du jeu a été soumis à l'évaluation d'experts du domaine de l'éducation et du jeu vidéo, ainsi qu'au public cible. Il importe de souligner que les commentaires et suggestions des experts et du public cible ont permis d'améliorer plusieurs éléments de l'objet. À la lumière de ce qui précède, il nous semble important de les présenter.

5.1.1 Commentaires et suggestions du prototype du jeu

Selon les experts en jeux vidéo :

- *scène départ avec Claire la directrice de la sécurité : Pour bouger à droite et à gauche, j'ai eu le réflexe d'utiliser les touches A et D et non W et S. Pour cette scène, je changerais les touches pour que A et D bouge le personnage à gauche et à droite et je bloquerais les touches W et S, car c'est une scène avec des contrôles en deux dimensions et non en trois dimensions. Aussi, j'afficherais les flèches à l'écran pour bien expliquer les contrôles au joueur ;*

- *scène instruction avec le bateau : Je trouve que le bateau va trop lentement. Je n'entends pas de bruit de moteur quand je pèse sur la touche W pour le faire avancer. Je suggère d'accélérer la vitesse du bateau, d'ajouter un bruit subtil de moteur qui joue en continu ainsi que de raccourcir le temps de la scène ;*
- *scène principale : Il y a encore le même problème avec les personnages ennemis. Quand je me fais tuer par un ennemi, il continue de m'attaquer même si je me suis téléporté. Bob peut mourir plusieurs fois au point de départ ;*
- *lors de la scène principale, je trouve que perdre de l'énergie parce que je cours est un irritant. Être pénalisé parce que je suis enthousiaste à découvrir le monde, c'est quelque chose qui bloque mon élan. Je n'ai pas de solution, en revanche vérifie auprès des enfants qui essaient le jeu ce qu'ils en pensent. De plus, je trouve que la touche Z n'est pas ergonomique pour courir. Je prendrais plutôt les touches Shift ;*
- *la voix de la directrice est monotone. Dans la mission principale, il est préférable de ne pas voir les visages des personnages, car ils sont trop réalistes. En ce qui nous concerne, ils manquent de défis et de mouvement.*

Selon les experts en pédagogie :

- *selon moi, je trouve la scène instruction trop longue pour une pratique ;*
- *scène principale : Il n'y a pas de rétroaction quand je libère un prisonnier. Je suggère de mettre un son par exemple : bravo, tu as libéré un prisonnier ;*
- *à la fin, quand on complète la session, je mettrais une musique de célébration, car c'est un grand moment. Ensuite, après quelques secondes, je terminerais la scène. Actuellement, la scène se termine comme si de rien n'était et on est coupé dans notre élan ;*
- *j'ai fait deux sessions de jeu, et je n'ai pas grand-chose à dire. Tout fonctionne bien. L'expérience a été bonne. J'ai cependant eu quelquefois de la difficulté à comprendre le mot, ou je ne m'en souvenais plus. Dans ce cas, j'attendais le mot suivant ;*
- *scène instruction avec le bateau : Je n'ai pas réussi à atteindre le niveau amiral en ne commettant aucune erreur. Donc, peut-être augmentez le nombre de points de la jauge du bas lorsqu'on a une bonne réponse.*

Selon les représentants du public cible :

- *scène principale : Je trouve que les mines font beaucoup trop de dégât. On marche sur une mine et on perd 100 % de notre énergie. Je suggère de réduire l'impact négatif des mines. Même chose pour les ennemis qui font trop de dommage. Ils ne nous laissent pas le temps de nous éloigner pour les éviter et on est déjà mort. Il est difficile de trouver les prisons dans l'univers du jeu. De plus, je n'entends pas toujours bien les consignes, ou je les oublie ;*
- *scène instruction avec le bateau : J'aime bien pêcher les ballons, c'est amusant ;*
- *en général, c'est compliqué d'employer les touches de l'ordinateur pour jouer. J'aime mieux jouer avec ma tablette.*

5.1.2 Description de l'objet pédagogique « Mission Zebran »

Lors du deuxième cycle, nous avons effectué les modifications requises au JVAS. Entre autres, nous avons ajouté une rétroaction positive qui apparaît à l'écran lorsque le participant réussit à délivrer un otage. Nous avons réduit l'impact négatif des mines, serpents et personnages ennemis. De plus, nous avons réduit le temps de jeu de la scène instruction, et finalement ajouter dans la scène principale une touche qui permet de faire répéter les consignes, sans pénaliser le joueur. Par la suite, nous avons actualisé une nouvelle version de l'outil pédagogique. Finalement, une nouvelle série de tests de conformités est réalisée avant la mise en œuvre du logiciel, et son évaluation par les sujets.

L'artefact intègre un scénario original adapté au public cible. Le jeu sérieux se compose de six scènes, et intègre deux missions qui se complètent. À priori, le joueur-apprenant doit inscrire son identifiant et son code secret directement dans la scène identification. Par la suite, cliquer avec la souris sur le bouton **JOUER** pour changer de scène et commencer la session de jeu, tel qu'illustré à la figure 5.1.



Figure 5.1 : Représentation de l'interface de la scène identification du jeu « Mission Zebran ».

Par la suite, la scène départ s'affiche à l'écran, figure 5.2. Dans la scène départ, la directrice de la sécurité introduit les cinq mots fréquents que le joueur-apprenant doit apprendre durant la session de jeu. De plus, la directrice décrit les consignes de la mission instruction. Après avoir écouté les consignes de la mission, le joueur-apprenant fait avancer Bob le robot en utilisant les touches directionnelles du clavier vers la section téléportation, Bob le robot est rapidement téléporté dans la scène mission instruction.



Figure 5.2 : Représentation de l'interface de la scène départ du jeu « Mission Zebran ».

La mission instruction dure deux minutes et trente secondes. La mission fait interagir le joueur-apprenant avec la souris pour tourner un navire de pêche et les touches directionnelles du clavier pour avancer ou reculer l'objet. Une horloge de type sablier située en haut à droite de l'écran indique le nombre de secondes qu'il reste au joueur-apprenant pour compléter la mission, figure 5.3.

Lors de la mission instruction, le joueur-apprenant doit faire bouger le navire de pêche pour qu'il touche les ballons qui indiquent le mot fréquent qu'il entend, s'il réussit il gagne deux points, ce qui lui permet d'atteindre différents niveaux de compétences, en outre, de passer de Matelot à Amiral, en bas de l'écran. En revanche, si le joueur-apprenant se trompe de mot, il perd un point. Le but du jeu est de reconnaître les mots fréquents qui lui permettront par la suite d'effectuer la mission principale.



Figure 5.3 : Représentation de l'interface de la mission instruction du jeu « Mission Zébran ».

À la fin de chaque session de jeu de la mission instruction, le joueur est automatiquement dirigé dans la scène intermédiaire pour recevoir une rétroaction sous forme auditive, figure 5.4. Lors de la première session de jeu, Claire présente également les consignes de la mission principale.



Figure 5.4 : Représentation de l'interface de la scène intermédiaire du jeu « Mission Zebran ».

Après avoir écouté les consignes de la mission, le joueur-apprenant fait avancer Bob le robot vers la station de téléportation. Bob est rapidement téléporté dans la scène mission principale. L'univers de la mission principale, figure 5.5, d'une durée de vingt-cinq minutes se déroule dans les décombres de la ville Zebran qui a vécu un tremblement de terre. Les édifices sont en partie détruits et des brigands en ont profité pour prendre le contrôle de la ville et incarcérer les citoyens dans des prisons. Douze citoyens sont emprisonnés, ils sont représentés par une image en bas à gauche de l'écran.



Figure 5.5 : Représentation de l'interface de la mission principale du jeu « Mission Zebran ».

L'objectif pour le joueur-apprenant est de délivrer le plus rapidement possible les otages avec l'aide de Bob le robot, tout en accumulant le plus grand nombre de points. À la fin du temps alloué, le jeu change automatiquement vers la scène finale, figure 5.6. La mission se termine également lorsque les douze otages sont libérés. Une horloge de type sablier située en haut à droite de l'écran indique le nombre de secondes qu'il reste au joueur-apprenant pour compléter la mission. Dans la scène finale, le joueur-apprenant reçoit une rétroaction personnalisée sous forme auditive et visuelle à l'écran. Ensuite, le joueur-apprenant fait avancer l'avatar à la section téléportation, le jeu se termine et l'utilisateur doit fermer la page du fureteur.

Durant le parcours de la mission principale, le joueur-apprenant accumule trois points lorsque Bob le robot touche la pierre avec le mot qui correspond à l'exercice qu'il entend. Par la suite, Bob peut délivrer l'otage en touchant les barreaux de la prison. Lorsqu'un otage est libéré, l'otage se dirige vers la station d'autobus et son image disparaît. De plus, une rétroaction positive apparaît à l'écran.



Figure 5.6 : Représentation de l'interface de la scène finale du jeu « Mission Zebran ».

En revanche, s'il touche la mauvaise pierre, la pierre explose et le joueur-apprenant perd un point. Le joueur-apprenant doit poursuivre l'exercice de la session jusqu'à sa réussite, pour ainsi amener l'avatar à délivrer l'otage en touchant les barreaux de la prison. Si le sujet réussit à délivrer tous les otages avant la fin du temps alloué, une rétroaction positive apparaît à l'écran, de plus, le joueur-apprenant gagne cinq points supplémentaires.

Il est important d'observer que les otages sont emprisonnés dans l'univers du jeu. Or, pour trouver où sont les prisons, le joueur-apprenant en interaction avec l'avatar doit parcourir un monde parsemé d'obstacles, notamment des mines et des serpents qui sont dissimulés dans le décor, sans omettre, les brigands qui font le guet aux alentours des prisons.

Les obstacles peuvent faire perdre de l'énergie à Bob le robot, il doit les éviter. D'autre part, si l'énergie de Bob le robot descend à moins de zéro, il retourne à son point de départ, ce qui lui fait perdre du temps précieux. Cependant, le joueur-apprenant peut recharger Bob en touchant les stations de recharge en rouge qui se situent à différents endroits dans l'univers du jeu.

Le système permet également de varier la cadence du jeu, notamment le joueur-apprenant peut faire avancer Bob le robot plus rapidement, en touchant la touche directionnelle avant et par la suite la touche Maj ou Shift du clavier. En revanche, faire avancer Bob le robot plus rapidement, lui fait perdre de l'énergie. Le joueur-apprenant peut faire répéter également la consigne de l'exercice en touchant avec la souris le bouton **Répéter**. Sans oublier que s'il rencontre une difficulté trop importante, le joueur-apprenant peut demander de l'aide en cliquant avec la souris sur le bouton **Aide**, les pierres avec les mauvais mots disparaîtront. Cependant, chaque fois que le joueur-apprenant utilise la touche **Aide**, il perd deux points.

Le joueur-apprenant doit interagir directement avec l'interface du jeu durant les seize sessions de jeu. Dans le but de motiver le joueur-apprenant à compléter les seize sessions, il doit connaître le MOT CLÉ, qui fera démarrer l'autobus et ainsi transporter les otages dans un endroit sécurisé. Une pièce du casse-tête est ajoutée en bas à droite de l'écran, au début de chaque session du jeu. Le MOT CLÉ sera lisible lors de la seizième session de jeu, figure 5.7.



Figure 5.7 : Représentation de l'interface en cours de la mission principale du jeu « Mission Zebran ».

Essentiellement, la section 5.1 présente les commentaires obtenus lors de la première phase de la conception de l'artefact et par la suite, décrit les différentes scènes du JVAS et le fonctionnement de ses multiples mécanismes. À la prochaine section, nous présentons les résultats de l'expérimentation.

5.2 Les résultats de l'expérimentation

5.2.1 La sélection des sujets

À la suite de l'évaluation, deux sujets sont sélectionnés, le sujet B et le sujet E, tableau 5.1. Les sujets sélectionnés sont invités à commencer les sessions de jeu d'ici une journée. L'expérimentation pour les participants consiste à réaliser seize sessions de jeu d'une durée d'environ trente minutes sans aide, mais accompagné d'un parent. La période allouée pour compléter les seize sessions de jeu se situe durant la période estivale, c'est-à-dire entre juin et septembre 2023. Veuillez noter qu'une seule session de jeu par jour peut être complétée.

					TEST de l'attention (AR-RAN)			Test de lecture (BALE)	
					Prétest			Prétest	
				DATE	T	TESTS A & B		Texte (BALE)	
Sujet	Sexe	Âge	Niveau scolaire terminé	Prétest	RAPIDE	Temps en secondes	Nombre d'erreurs	Nombre de mots lus en 1 minute	Nombre d'erreurs
A	G	8	1	2023-06-06	OK	79	1	73	9
B	G	7	1	2023-06-26	OK	115	2	26	4 Sélectionné
C	G	7	1	2023-07-04	OK	84	0	95	5
D	F	8	2	2023-06-29	OK	92	0	34	2
E	F	7	1	2023-07-19	OK	169	2	16	5 Sélectionné
					Moyenne	107,8	1	48,8	5,00

Tableau 5.1 : Données des prétests et sélection des sujets

5.2.2 Les sources des données recueillies

5.2.2.1 Les données quantitatives

Les données quantitatives sont recueillies à partir des tests d'aptitudes en lecture et des tests d'attention réalisés durant l'expérimentation, tableau 5.2. Les données capturées par l'environnement d'apprentissage, les traces, sont également recueillies et analysées pour valider l'utilité de la personnalisation, notamment par rapport aux comportements des sujets et leurs interrelations avec l'artefact, tableau 5.3 et tableau 5.4.

				Test de l'attention (AR-RAN)				Test de lecture (BALE)					
				Prétest		Posttest		Prétest		Test		Posttest	
DATE				Départ		Fin de l'étude		Départ		Mi-session		Fin de l'étude	
				TEST A & B		TEST A & B							
Prétest	Test	Posttest	Sujet	Temps en secondes	Nombre d'erreurs	Temps en secondes	Nombre d'erreurs	Nombre de mots lus en 1 minute	Nombre d'erreurs	Nombre de mots lus en 1 minute	Nombre d'erreurs	Nombre de mots lus en 1 minute	Nombre d'erreurs
2023-06-26	2023-07-13	2023-08-06	B	115	2	119	0	26	4	31	3	33	2
2023-07-19	2023-07-28	2023-09-09	E	169	2	162	1	16	5	18	3	25	2

Tableau 5.2 : Données des tests de lecture et d'attention par sujet.

session	points	temps_secondes	nb_erreur	nb_aide	date
1	15	0	0	0	2023-06-26 16:58
2	13	0	4	1	2023-06-28 15:29
3	18	0	1	1	2023-06-29 19:39
4	12	0	3	0	2023-07-08 08:54
5	0	0	4	3	2023-07-09 07:33
6	19	0	0	1	2023-07-10 16:53
7	27	0	0	0	2023-07-11 16:57
9	27	0	2	1	2023-07-12 16:31
10	38	74	1	1	2023-07-17 19:29
11	27	0	2	2	2023-07-24 16:27
13	36	30	6	0	2023-07-25 16:37
14	40	197	1	0	2023-07-26 17:15
15	37	565	0	3	2023-08-02 20:34
16	40	417	1	0	2023-08-03 15:54
17	39	466	2	0	2023-08-04 16:08
18	39	632	3	0	2023-08-05 15:23

Tableau 5.3 : Traces numériques du sujet B.

session	points	temps_secondes	nb_erreur	nb_aide	date
1	0	0	8	8	2023-07-19 11:22
2	6	0	8	3	2023-07-21 09:18
3	3	0	7	4	2023-07-22 18:34
4	0	0	6	8	2023-07-25 12:13
5	5	0	9	16	2023-07-27 16:31
6	0	0	2	15	2023-07-28 10:30
7	21	0	0	0	2023-07-29 10:18
8	11	0	4	7	2023-08-10 09:44
9	21	0	3	0	2023-08-12 09:21
10	20	0	5	1	2023-08-19 13:42
11	26	0	2	1	2023-08-26 12:22
13	28	0	3	0	2023-08-27 19:07
14	30	83	5	3	2023-08-28 15:11
15	38	529	1	1	2023-08-29 17:21
16	39	251	2	0	2023-09-04 16:35
17	41	31	0	0	2023-09-09 09:27

Tableau 5.4 : Traces numériques du sujet E.

5.2.2.2 Les données qualitatives

Les données qualitatives recueillies lors des sessions de jeu nous renseignent sur la motivation, l'intérêt et la persévérance des sujets. Ces données sont recueillies dans les grilles comportementales, tableau 5.5 et tableau 5.6, et dans les fiches d'évaluation des sujets, figure 5.8 et figure 5.9. Nous capturons également toutes les informations qualitatives issues des observations et des commentaires des participants et de leurs parents.

Il importe de souligner que notre étude cherche à comprendre le comment et le pourquoi d'une expérience d'apprentissage. Dans ce contexte, nous invitons les parents à faire parvenir par courriel durant toute la durée de l'expérimentation leurs commentaires, observations et suggestions. Sans oublier que lors des tests de compétences nous avons effectué des entrevues ouvertes avec les sujets et leurs parents. Les commentaires et observations lors des trois entrevues ainsi que l'ensemble des informations obtenues font partie des données qualitatives. Enfin, nous présentons les informations recueillies par parent et par sujet.

PARENT/TUTEUR :								
Sujet	B							
Date :	6 août, 2023							
GRILLE COMPORTEMENTALE								
Nombre de sessions	Heureux		Agressif		Motivé		Concentré	
	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
1	X				X			X
2		X		X		X		X
3		X		X		X		X
4		X		X		X		X
5		X		X		X		X
6		X		X		X	X	
7		X		X		X	X	
8		X		X		X	X	
9	X			X		X	X	
10	X			X		X	X	
11	X			X		X	X	
12	X			X		X	X	
13	X			X		X	X	
14	X			X		X	X	
15	X			X	X		X	
16	X			X	X		X	

Tableau 5.5 : Grille comportementale du sujet B.






Fiche d'évaluation du Jeu «Mission Zebran»					
QUESTIONS					
	HORRIBLE	PAS BIEN	BIEN	TRÈS BIEN	SUPER
Sujet : B	1	2	3	4	5
TON OPINION SUR LES PERSONNAGES		x			
TON OPINION SUR LES IMAGES					x
TON OPINION SUR LE SON		x			
TON OPINION SUR LES MISSIONS			x		
TON OPINION SUR LE CLAVIER/SOURIS					x
TON OPINION SUR LES CONSIGNES					x
TON OPINION SUR LES ÉTOILES			x		

Figure 5.8 : Fiche d'évaluation du sujet B, fondée sur le « Smileyometer » de Read (2008).

PARENT/TUTEUR :								
Sujet	E							
Date :	9 septembre, 2023							
GRILLE COMPORTEMENTALE								
Nombre de sessions	Heureux		Agressif		Motivé		Concentré	
	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
1	X				X		X	
2	X			X	X		X	
3		X		X		X	X	
4		X		X		X	X	
5		X		X		X	X	
6		X		X		X	X	
7		X		X		X	X	
8		X		X		X	X	
9		X		X		X	X	
10		X		X		X	X	
11	X			X	X		X	
12	X			X	X		X	
13	X			X	X		X	
14	X			X	X		X	
15	X			X	X		X	
16	X			X	X		X	

Tableau 5.6 : Grille comportementale du sujet E.






Fiche d'évaluation du Jeu «Mission Zebran»					
QUESTIONS					
	HORRIBLE	PAS BIEN	BIEN	TRÈS BIEN	SUPER
Sujet : E	1	2	3	4	5
TON OPINION SUR LES PERSONNAGES			X		
TON OPINION SUR LES IMAGES			X		
TON OPINION SUR LE SON	X				
TON OPINION SUR LES MISSIONS			X		
TON OPINION SUR LE CLAVIER/SOURIS					X
TON OPINION SUR LES CONSIGNES					X
TON OPINION SUR LES ÉTOILES				X	

Figure 5.9 : Fiche d'évaluation du sujet E, fondée sur le « Smileyometer » de Read (2008).

Les commentaires et observations des parents du sujet B :

- *je vous avoue que la tâche n'a pas été si facile pour mon enfant. Il doit avant tout apprendre à manipuler les touches du clavier. Les contrôles directionnels sont très difficiles à maîtriser pour les enfants ;*
- *difficulté avec la navigation durant les premières sessions. C'est plus facile à partir de la deuxième session, mais c'est complexe pour lui ;*
- *au début, mon enfant craignait un peu les personnages qui foncent vers lui. Il était malgré tout content de voir qu'il progresse ;*
- *la voix qui indique au Robot Bob quelle pierre toucher n'est pas toujours claire, on se demande souvent quel est le mot de la consigne ;*
- *la scène avec le bateau est simple et facile pour l'apprentissage des nouveaux mots. Le concept de grade par rapport à son résultat est super, car mon enfant peut voir sa progression en temps réel ;*
- *je tiens à vous mentionner que durant la première partie, mon enfant aime trouver les rimes. De plus, il était motivé et concentré durant les premières parties. Cependant, il est frustré de ne pas pouvoir compléter le jeu ;*
- *malheureusement, mon ex-conjoint n'a pas effectué les exercices la semaine dernière avec notre fils. J'ai donc eu de la difficulté à le faire participer à son retour chez moi. Il trouve cela difficile. Bref, les deux premières sessions à son retour chez moi ont été pénibles pour lui. C'est comme s'il avait perdu tous ses acquis de la semaine précédente. Cependant, hier en usant d'une nouvelle stratégie pour le faire participer, l'exercice s'est bien déroulé et à la fin il était fier de lui. J'ose croire que nous sommes sur une belle lancée, à suivre ce soir. Mon objectif est de le faire jouer tous les jours cette semaine ;*
- *mon enfant a reconnu tous les lettres et mots qu'il devait identifier. De plus, il a compris toutes les consignes ;*
- *avoir offert un abonnement lors du test de mi-session à une revue a motivé mon enfant à continuer l'expérimentation.*

Les commentaires et observations des parents du sujet E :

- *les sons et les monstres lui font peur. Mon enfant craignait de faire le jeu au début ;*
- *beaucoup de difficultés avec les touches directionnelles, la navigation est difficile ;*
- *à noter que mon enfant préfère le jeu avec le bateau. Elle aime moins la mission principale. Les déplacements sont trop linéaires à son goût. Ensuite, les gardes lui faisaient peur. Finalement le jeu est trop répétitif dans les actions ;*
- *j'ai remarqué que la lecture de ma fille est plus fluide. Elle commence à prendre de la confiance en elle ;*
- *mon enfant trouve que l'activité dure longtemps ce qui la décourage. Elle dit être fatiguée après quinze minutes ;*
- *son niveau de motivation a connu des hauts et des bas, au début elle était motivée par l'expérience, par la suite moins. Or, lui offrir un présent lors du test de mi-session, si elle terminait l'expérimentation l'a motivée.*

Les commentaires du sujet B :

- *difficile de faire bouger Bob le robot dans certains endroits ;*
- *le jeu serait bien adapté pour l'apprentissage de l'anglais ;*
- *j'aime pêcher des ballons, c'est facile ;*
- *les consignes sont faciles à comprendre et j'aime bien trouver les rimes ;*
- *certains sons me font peur, notamment lorsque l'on touche à une mine ou un serpent ;*
- *les méchants me font peur, en plus, il y en a beaucoup trop.*

Les commentaires du sujet E :

- *ce que j'ai aimé le plus, c'est de pêcher ;*
- *j'ai appris à utiliser un clavier d'ordinateur ;*
- *je trouve le jeu trop long, je suis fatiguée à la fin ;*
- *je suis fière de mes performances, surtout durant les dernières sessions de jeu. J'ai délivré tous les otages ;*
- *les personnages m'ont fait peur au début.*

Nos observations sur les sujets durant l'expérimentation :

- les enfants sont enthousiastes au début de l'expérimentation, en revanche ils ne demeurent pas motivés très longtemps ;
- ne sont pas familiers avec les touches du clavier d'un ordinateur ;
- le sujet B est hyperactif tandis que le sujet E est calme et très attentif. Cependant, tous les deux sont concentrés et suivent mes conseils lors de la formation ;
- sans l'assiduité des parents, les sujets n'auraient pas poursuivi l'expérimentation ;
- la situation parentale peut-être un obstacle, notamment lors de garde partagée entre les parents. Il est possible qu'un des parents soit moins intéressé par la démarche pédagogique ;
- nous avons constaté que la plateforme *WebGl* n'est pas stable, ce qui occasionne des anomalies mineures lors des sessions de jeu. Notamment, les pierres avec les mauvais mots des prisons disparues réapparaissent soudainement. De plus, lorsque le robot Bob retourne au point de départ parce qu'il a été attaqué par un brigand et qu'il n'a plus d'énergie, il continue de recevoir durant quelques secondes des coups qui lui font perdre de l'énergie. Les anomalies observées ne sont pas majeures, mais peuvent être une source de distraction pour le joueur ;
- la motivation intrinsèque n'était pas au rendez-vous. Or, l'intérêt des sujets à recevoir un abonnement annuel à une revue de lecture s'ils complétaient les seize sessions les a motivés.

5.2.2.3 Les documents d'archives

Les résultats d'une recherche récente, celle de Pasqualotto *et al.* (2022) indiquent que les enfants qui font partie du groupe contrôle n'améliorent pas leur compétence en lecture même en relisant un texte identique après quelques semaines. Tandis que, les enfants qui ont joué durant six semaines en raison de deux heures par semaine à un JVA qui intègre des exercices pour améliorer l'attention, ont augmenté leur vitesse de lecture et diminué le nombre d'erreurs lors des mêmes tests (Pasqualotto *et al.*, 2022). De plus, Pasqualotto *et al.*, indiquent que les enfants contrôlent également mieux leur attention.

Les données de l'étude sont présentées selon la règle statistique « *Z-score* ». Le « *Z-score* » indique combien d'écarts types la valeur mesurée du sujet a performés par rapport à la moyenne. La moyenne des « *Z-score* » des sujets qui ont joués avec un JVA a augmenté de 0.42 pour la vitesse de lecture et diminué de 0.196 pour le nombre d'erreurs.

Or pour les sujets du groupe contrôle, les résultats pour l'attention, la vitesse de lecture et le nombre d'erreurs de lecture ne révèlent aucune amélioration (Pasqualotto *et al.*, 2022). Tandis que, les résultats de l'étude de Franceschini *et al.* (2013) compare les données obtenues en valeur absolue d'un groupe expérimental qui a fait usage d'un JVA, par rapport à un groupe contrôle qui a joué avec un jeu vidéo durant douze heures. Selon Franceschini *et al.*, les compétences attentionnelles se sont améliorées pour le groupe expérimental. De plus, les enfants du groupe expérimental ont amélioré en moyenne la vitesse de lecture de 19.6 pour cent. Tandis que, la moyenne de l'amélioration pour le groupe contrôle se limite à 0.9 pour cent. En revanche, aucune amélioration sur les erreurs de lecture n'a été décelée pour les deux groupes (Franceschini *et al.*, 2013).

Selon la méta-analyse de Cooper *et al.* (1996), les résultats des tests d'élèves diminuent après la période estivale par rapport aux résultats du printemps. Cooper *et al.*, ajoutent que ce sont les élèves qui présentent des difficultés d'apprentissage, qui ont davantage de risques. La conclusion de la recherche de Alexander *et al.* (2007) confirment que la majorité des élèves perdent une partie de leurs acquis durant l'été. En revanche, comme l'indique le Réseau réussite Montréal¹⁵, si les élèves ont accès à de la formation durant cette période, ils conservent leurs acquis et peuvent même améliorer certaines compétences.

5.2.3 Identification et regroupement des données significantes

Comme nous l'avons mentionné antérieurement, à cette étape, les données identifiées doivent nous être utiles. Comme nous recherchons des données qui apportent un sens à travers des tendances, ils doivent nous fournir des éléments de réponse aux hypothèses de départ et à la question de la recherche. De plus, les données sont catégorisées dans trois thèmes. Le premier, les compétences en lecture, notamment la fluidité et l'attention, le deuxième, la motivation des participants, et le troisième, l'évaluation de la conception du JVAS.

¹⁵ Récupéré le 21 septembre 23 de <https://www.reseautreussitemontreal.ca/dossiers-thematiques/glissade-de-l-ete/#note1>.

5.2.3.1 Les données qualitatives signifiantes identifiées

Les données qualitatives représentent les informations qui ont été enregistrées lors des multiples rencontres, que nous avons effectuées avec les parents et les enfants, dans les réponses aux questionnaires, dans les documents d'archives, de même que dans les communications par courriel des parents au cours de l'expérimentation.

5.2.3.1.1 Les données qualitatives signifiantes reliées aux compétences en lecture

Le sujet B :

- selon la grille comportementale, la concentration s'est améliorée à partir de la sixième session de jeu ;
- selon les commentaires et observations des parents : *Mon enfant a reconnu tous les lettres et mots qu'il devait identifier. De plus, il a compris toutes les consignes. La scène avec le bateau est simple et facile pour l'apprentissage des nouveaux mots. Notre enfant était malgré tout content de voir qu'il progresse, l'expérience a été bénéfique.*

Le sujet E :

- selon la grille comportementale, la concentration est demeurée constante durant toute l'expérimentation ;
- selon les commentaires et observations des parents : *J'ai remarqué que la lecture de ma fille est plus fluide. Elle commence à prendre confiance en elle.*

Le sommaire des données qualitatives sur la fluidité de la lecture indique que les sujets améliorent ou conservent leurs niveaux de concentration. Lors des entrevues, nous avons observé que le sujet B est hyperactif, tandis que le sujet E est calme et très attentif. Or, tous les deux sont concentrés et suivent les consignes lors de la formation. De plus, les sujets prennent confiance en eux et reconnaissent les mots durant l'expérimentation.

D'ailleurs, les informations recensées dans les documents d'archives mentionnent que les compétences attentionnelles s'améliorent lorsque les enfants font usage d'un jeu vidéo d'action (Franceschini *et al.*, 2013 ; Pasqualotto *et al.*, 2022).

5.2.3.1.2 Les données qualitatives significantes reliées à la motivation

Le sujet B :

- selon la grille comportementale, la motivation n'est pas constante. Au départ, le sujet est heureux et motivé par l'expérience. Par la suite, le niveau de plaisir et de motivation se détériore. Toutefois, le niveau de plaisir et de motivation s'améliore vers la fin de l'expérimentation ;
- selon les commentaires et observations des parents : *notre enfant était malgré tout content de voir qu'il progresse. Je tiens à vous mentionner que durant la première partie, mon enfant aime trouver les rimes. Le concept de grade par rapport à son résultat est super, car mon enfant peut voir sa progression en temps réel. De plus, il était motivé et concentré durant les premières parties. En revanche, il est frustré de ne pas pouvoir compléter le jeu. Avoir offert un abonnement à une revue de lecture lors du test de mi-session était opportun, par la suite mon enfant était motivé à poursuivre l'expérimentation ;*
- selon les commentaires du sujet : *les consignes sont faciles à comprendre et j'aime bien trouver les rimes.*

Le sujet E :

- selon la grille comportementale, le niveau de motivation a varié. Au départ, le sujet est heureux et motivé par l'expérience. Par la suite, le niveau de plaisir et de motivation se dégrade. D'un autre côté, le niveau de plaisir et de motivation s'améliore à partir de la onzième session ;
- selon les commentaires et observations des parents : *Mon enfant trouve que l'activité dure longtemps ce qui la décourage. Elle dit être fatiguée après quinze minutes. Son niveau de motivation a connu des hauts et des bas, au début elle était motivée, mais par la suite moins. Or, lui offrir un présent lors du test de mi-session si elle terminait l'expérimentation l'a motivé ;*
- selon les commentaires du sujet : *Je suis fière de mes performances, surtout durant les dernières sessions de jeu. J'ai délivré tous les otages. Toutefois, je trouve le jeu trop long, je suis fatiguée à la fin.*

Le sommaire des données qualitatives démontre que le niveau de la motivation des sujets varie durant l'expérimentation. Les enfants sont enthousiastes au début de l'expérimentation, néanmoins ils ne demeurent pas motivés très longtemps. Les premières sessions de jeux sont ardues, notamment avec la manipulation du clavier et de la souris. Il faut avouer que les sujets ne sont pas familiers avec les touches d'un clavier d'ordinateur. Or, comme le fait remarquer Lavigne (2012), il est très difficile d'intégrer une dimension sérieuse dans un jeu vidéo sans perdre la motivation des élèves. Bref, nous avons observé que la motivation intrinsèque n'était plus au rendez-vous. Les enfants avaient dès lors perdu le plaisir de jouer. Partant de ce fait, nous avons offert lors du test de mi-session un abonnement annuel à une revue de lecture s'ils complétaient bien entendu les seize sessions de jeu. Le présent a eu l'effet escompté, les deux sujets ont complété l'expérimentation. Enfin, nous aimerions porter à votre attention qu'en ce qui nous concerne, sans l'assiduité des parents, les sujets n'auraient pas poursuivi l'expérimentation.

5.2.3.1.3 Les données qualitatives significatives reliées à l'évaluation de la conception du JVAS

Le sujet B :

- selon la fiche d'évaluation, les consignes et les images correspondantes aux exercices sont claires et précises. L'ergonomie du clavier et de la souris dans le jeu est excellente, les rétroactions et les missions sont acceptables. En revanche, les personnages et les sons dans le jeu sont trop agressifs ;
- selon les commentaires et observations des parents : *La tâche n'a pas été si facile pour mon enfant. Au départ, il devait avant tout apprendre à manipuler les touches du clavier. Les contrôles directionnels sont très difficiles à maîtriser pour les enfants. De plus, au début, mon enfant craignait un peu les personnages qui foncent vers lui. La voix qui indique au Robot Bob quelle pierre toucher n'est pas toujours claire, on se demande souvent quel est le mot de la consigne ;*
- selon les commentaires du sujet : *lors de la mission principale, il est difficile de faire bouger Bob le robot dans certains endroits. Certains sons me font peur, notamment lorsque l'on touche à une mine ou un serpent. De plus, les méchants dans la mission principale me font peur, il y en a beaucoup trop. Toutefois, j'aime pêcher des ballons, c'est facile et amusant.*

Le sujet E :

- selon la fiche d'évaluation, les consignes correspondantes aux exercices sont claires et précises. L'ergonomie du clavier et de la souris dans le jeu est appréciée. De plus, les rétroactions et le parcours de jeu dans la mission instruction sont excellents. Les personnages, les images et le parcours de jeu dans la mission principale sont acceptables. En revanche, certains sons nécessitent des modifications importantes, entre autres les sons des obstacles et des brigands sont trop agressifs ;
- selon les commentaires et observations des parents : *Au début les sons et les monstres lui font peur. À noter que mon enfant préfère le jeu avec le bateau. Elle aime moins la mission principale. Les déplacements sont trop linéaires à son goût. Ensuite, les gardes lui faisaient peur. Finalement, le jeu est trop répétitif dans les actions. Aussi mon enfant a eu beaucoup de difficultés avec les touches directionnelles, au départ la navigation était difficile ;*
- selon les commentaires du sujet : *Ce que j'ai aimé le plus, c'est de pêcher les ballons. Les personnages de la mission principale m'ont fait peur au début.*

Le sommaire des données qualitatives reliées à la conception du JVAS comporte des éléments convergents et divergents. Notamment, les sujets mentionnent la peur qu'ils ont ressentie lorsque les brigands les attaquent. Comme le fait remarquer Mori (2017), la perception qu'a le joueur de l'intervention des personnages dans l'univers du jeu peut favoriser le plaisir, mais aussi le désagrément. Du côté des éléments convergents, les sujets ont apprécié la mission instruction, ils aiment notamment pêcher les ballons, et la reconnaissance des mots était simple. Les sujets ont également trouvé les consignes des missions claires et précises. Un élément divergent est la manipulation du clavier et de la souris avec l'ordinateur. On indique que les sujets ont rencontré des difficultés lors de la manipulation des périphériques, et par la suite à l'évaluation du jeu, les sujets les ont notés excellents. Un élément de réponse à cette contradiction est la période où nous avons recueilli les commentaires et les observations. Il est évident qu'au départ, les sujets n'avaient pas d'expérience avec ces périphériques. Or, après quelques sessions de jeu, ils ont appris à les manipuler.

Nous avons observé également que la plateforme *WebGl* n'est pas stable, ce qui occasionne des anomalies mineures lors des sessions de jeu. Notamment, les pierres avec les mauvais mots des prisons disparues réapparaissent soudainement. De plus, occasionnellement lorsque le robot Bob retourne au point de départ parce qu'il a été attaqué par un brigand et qu'il n'a plus d'énergie, il continue de recevoir durant quelques secondes des coups qui lui font perdre de l'énergie. Les anomalies observées ne sont pas majeures, mais peuvent distraire le joueur.

5.2.3.2 Les données quantitatives significatives identifiées

Les données quantitatives sont des données qui sont mesurables, notamment des nombres et autres valeurs. L'objectif avec la collecte de données quantitatives est de comparer le résultat de chaque sujet et de produire des tendances. Pour notre étude, les données se composent des résultats des tests de lecture et d'attention, mais aussi des informations saisies dans les traces du JVAS.

5.2.3.2.1 Les données quantitatives significatives reliées aux compétences en lecture

Les données quantitatives retenues pour évaluer les compétences en lecture sont directement liées aux informations sur les mesures un, deux et quatre indiquées dans le tableau des compétences du JVAS « Mission Zebran », voire le tableau 4.3 :

- le nombre de mots lus lors des tests de lecture BALE ;
- le nombre d'erreurs de lecture commises lors des tests de lecture BALE ;
- le temps en seconde pour réaliser les tests d'attention *AR-RAN*.

5.2.3.2.2 Les données quantitatives significatives reliées à la motivation

Dans le tableau des compétences, tableau 4.3, nous avons indiqué que nous considérons qu'un sujet motivé devait jouer un minimum de quatre sessions par semaine. Or, cette mesure est subjective et ne représente qu'une indication pour les chercheurs, notamment pour valider l'intérêt du sujet à poursuivre le parcours du jeu.

5.2.3.2.3 Les données quantitatives significantes reliées à la conception du JVAS

Toutes les données des traces ont un rôle à jouer lors de l'analyse et de l'interprétation des résultats. Notamment pour l'évaluation de la qualité des inférences réalisées par le RNA. En effet, il est possible en liant le numéro de la session d'exercice effectuée avec les résultats des trois critères entraînés de la session précédente, d'évaluer la validité de l'inférence. Les données des traces par sujet permettent également :

- d'estimer le niveau d'immersion et l'adaptabilité du jeu en traçant le parcours des résultats du jeu par session ;
- de mesurer l'adaptabilité du jeu, en comparant les points obtenus, le niveau de jeu atteint et le nombre de secondes restantes par session de jeu ;
- d'évaluer la stratégie employée pour atteindre les objectifs du jeu de chaque sujet, entre autres en évaluant les points obtenus, le nombre de fois que l'on fait appel au bouton Aide et le nombre d'otages libérés par session ;
- d'estimer les compétences en lecture, en analysant le nombre de fois que l'on fait appel au bouton Aide, en calculant le nombre d'erreurs et le nombre de points accumulés par session d'exercice de chaque UA ;
- de juger de la pertinence de nombre du jour écoulé entre chaque session de jeu, par rapport aux résultats obtenus.

De plus, toutes les données quantitatives des sujets sont comparées pour découvrir les convergences et les divergences. Dans la section qui suit, nous traitons et analysons les données qualitatives et quantitatives significantes identifiées. Le but est de présenter de manière concrète les éléments dégagés qui indiquent des tendances.

5.2.4 Traitement et analyse des données

L'analyse est une étape intermédiaire entre l'identification des données et leur interprétation (Dumez et Rigaud, 2008). Lors de l'analyse, nous recherchons à travers les différents modèles que nous avons créés, des informations nouvelles qui apportent du sens et de nouvelles connaissances. Nous désirons repérer des informations qui nous permettent de répondre à nos hypothèses de recherche. Les informations pourront également servir comme le fait remarquer Yin (2018), à appuyer, à contredire ou même modifier une des théories actuelles du domaine.

Puisque les données identifiées à la section 5.2 sont hétérogènes, et nous apparaissent difficilement interprétables. Nous avons créé dans un premier temps, une série de modèles qui permettent de traiter des combinaisons de données pour qu'ils deviennent un tant soit peu homogènes. Selon Dumez et Rigaud (2008), il faut configurer les données, et par la suite comparer les informations en les superposant.

D'un autre côté, il est important de vérifier si les données recueillies ne comportent pas de biais, ceux-ci pourraient fausser l'interprétation des résultats. À partir des modèles, nous avons scruté périodiquement durant l'expérimentation et avec soin l'ensemble des données identifiées.

Lors de cette étape, nous avons détecté des données qui comportent des irrégularités, par la suite nous avons contacté les sujets et leurs parents pour comprendre les incohérences observées. Nous présentons les trois anomalies observées, de même que les informations saisies lors de nos conversations avec les sujets et leurs parents.

La première anomalie observée est apparue avoir étudié les traces du sujet B, figure 5.10, nous avons identifié une particularité au niveau du résultat des points lors de la session cinq. Nous avons contacté le parent du sujet, essentiellement pour comprendre cette singularité. La réponse du parent est la suivante : *malheureusement, mon ex-conjoint n'a pas effectué les exercices la semaine dernière avec notre fils. J'ai donc eu de la difficulté à le faire participer à son retour chez moi. Il trouve cela difficile. Bref, les deux premières sessions à son retour chez moi ont été pénibles pour lui. C'est comme s'il avait perdu tous ses acquis de la semaine précédente. Cependant, hier en usant d'une nouvelle stratégie pour le faire participer, l'exercice s'est bien déroulé et à la fin il était fier de lui. J'ose croire que nous sommes sur une belle lancée, à suivre ce soir. Mon objectif est de le faire jouer tous les jours cette semaine.* À partir de cette session de jeu, un changement important s'est produit, on peut constater une augmentation régulière du nombre de points par session.



Figure 5.10 : Nombre de points par session de jeu du sujet B.

Une deuxième anomalie est observée dans les traces du jeu du sujet E, figure 5.11, le nombre de points des six premières sessions demeure relativement bas. Nous avons communiqué avec le parent du sujet pour nous assurer qu'il n'éprouvait pas trop de difficultés. Lors de l'entretien, nous avons réalisé que l'objectif principal du sujet était de libérer le plus d'otages possible. Pour ce faire, le sujet n'a pas hésité à utiliser la touche Aide. Or, l'utilisation de cette touche fait perdre deux points, en revanche elle permet d'identifier rapidement la bonne pierre. Nous avons expliqué au sujet que le but du jeu était d'amasser le plus possible de points tout en délivrant les otages. Par la suite, nous avons remarqué, une amélioration significative du nombre de points par session de jeu. De plus, le nombre d'otages libérés est en progression, et le nombre d'erreurs a diminué.

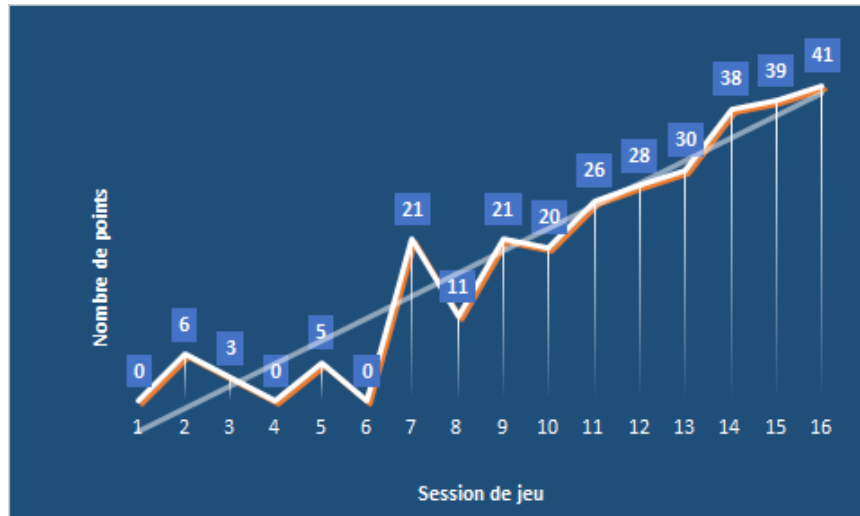


Figure 5.11 : Nombre de points par session de jeu du sujet E.

La troisième anomalie observée démontre l'incohérence de la mesure : jouer un minimum de quatre sessions par semaine. À cette étape, il nous semble important de revenir sur le choix de cette mesure.

Cette mesure est fondée sur les résultats de l'étude de Boyadjian et Zogheib (2011) qui démontrent que la prise en charge rééducative doit être intensive, plusieurs fois par semaine, pour ainsi aider à développer des stratégies de contournement. De plus, Case (2013) souligne l'importance que l'outil puisse repérer les traces numériques liées à la motivation. En effet, identifier un changement dans l'apprentissage de l'élève, permet au tuteur d'effectuer les modifications pour améliorer l'engagement d'un apprenant (Dewan *et al.*, 2019).

Toutefois, notre étude se situe dans la vie réelle et non dans un laboratoire, sans oublier que l'expérimentation est réalisée en période estivale. Les parents quittent le domicile pour les vacances et veulent se reposer. Sans omettre, que la situation parentale peut-être un obstacle, notamment lors d'une garde partagée entre les parents. Il est possible qu'un des parents soit moins intéressé par la démarche pédagogique. Par conséquent, nous nous sommes rendus à l'évidence, dans le contexte de notre étude, cette mesure ne sera pas retenue, figure 5.12.

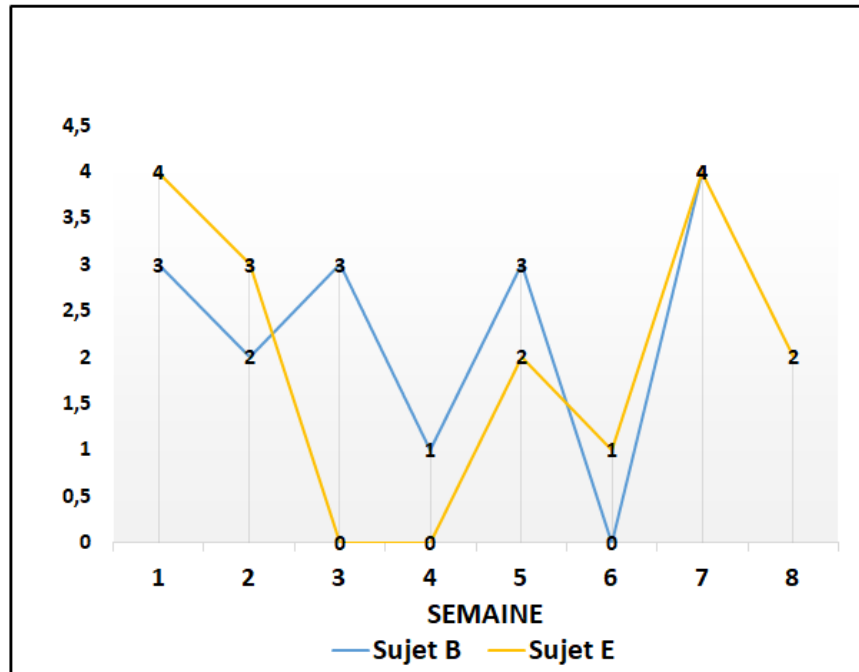


Figure 5.12 : Nombre de sessions de jeu par semaine et par sujet.

5.2.4.1 Traitement et analyse des données reliés aux compétences en lecture

Notre première analyse se fonde sur les résultats aux trois tests d'aptitudes. Notamment, les résultats entre le prétest, le test de mi-parcours et le posttest. D'ailleurs, si nous calculons le pourcentage de différences entre le test de mi-parcours et le prétest, comme exemple $(40 - 35/35 \times 100)$, cela représente une amélioration de 14.28 pour cent.

Nous comparons également les notes obtenues lors du posttest avec ceux du test de mi-parcours, ainsi que ceux du prétest. On recherche une tendance entre les résultats des tests, pour nous permettre de valider ou non la progression de l'apprentissage. Les résultats sont calculés sur deux mesures, la vitesse de lecture et le nombre d'erreurs commises lors de la lecture du texte. Par la suite, en superposant les résultats des deux sujets, nous établissons des liens dans le but de faire ressortir les convergences et les divergences.

Le Sujet B :

- le nombre de mots lus s'est accru de 19.2 % entre le prétest (1) et le test (2) effectué à la session huit (2) et s'est accru de 6 % entre le posttest (3) effectué à la session seize et le test (2) ;
- la vitesse de lecture s'est accrue de 26.9 % entre le prétest (1) et le posttest (3) ;
- le nombre d'erreurs de lecture est passé de quatre à trois, et ensuite deux, une amélioration finale de 50 % ;
- le résultat des tests sur l'attention a révélé une détérioration négligeable. Le temps en secondes est passé de 113 à 119 secondes, ce qui représente une augmentation non significative de 5.3 %, figure 5.13.

Le sujet E :

- le nombre de mots lus s'est accru de 12.5 % entre le prétest (1) et le test (2) effectué à la session sept et s'est accru de 38.9 % entre le posttest (3) effectué à la session seize et le test (2) ;
- la vitesse de lecture s'est accrue de 56.3 % entre le prétest (1) et le posttest (3) ;
- le nombre d'erreurs de lecture est passé de cinq à trois et ensuite deux, une amélioration finale de 60 % ;
- le résultat des tests de l'attention n'est pas concluant. Le sujet est passé de 167 à 161 secondes, l'amélioration ne représente qu'une diminution non significative de 3.6 %, figure 5.13.

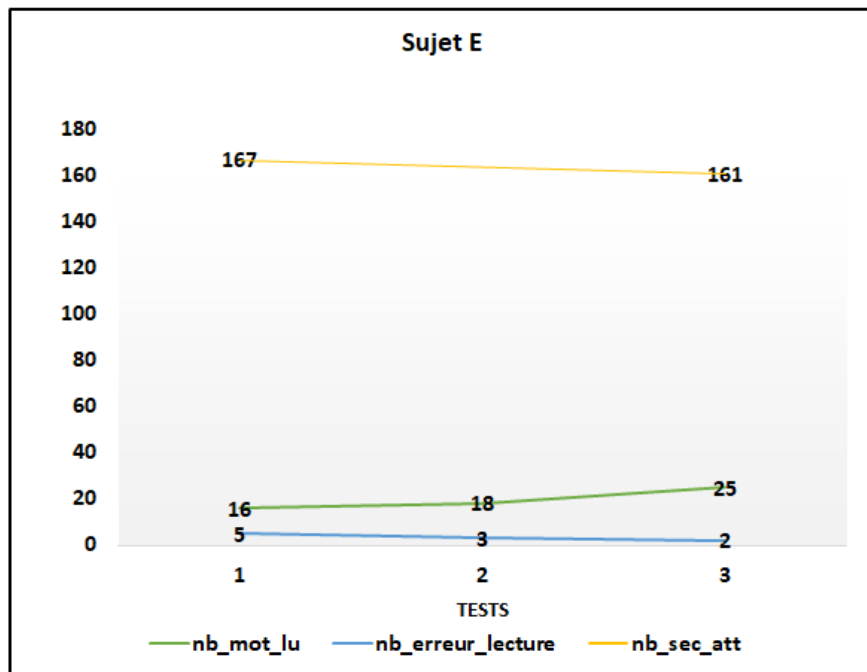
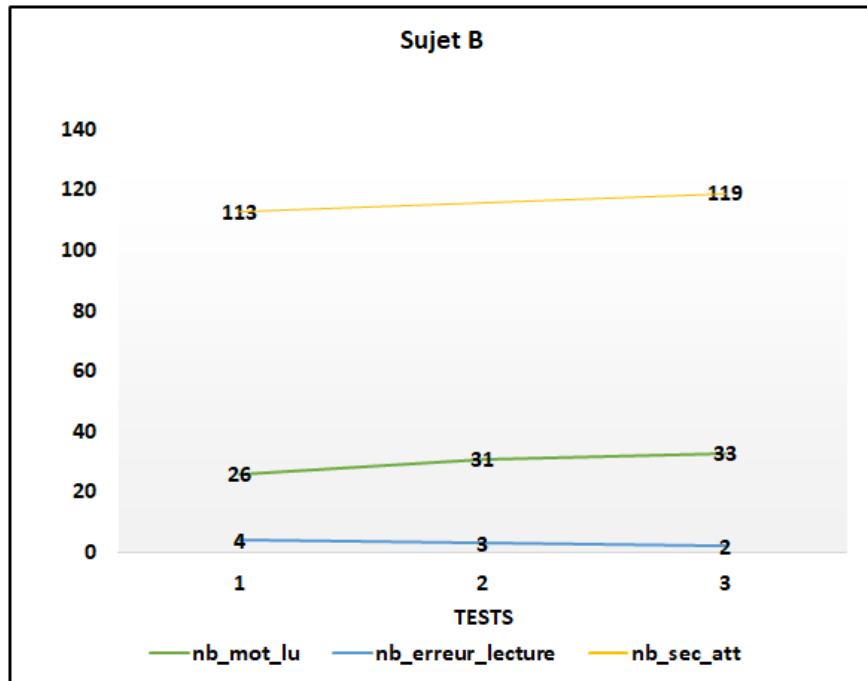


Figure 5.13 : Résultats aux tests de lecture et d'attention, sujet B et E.

La figure 5.14 présente la superposition du nombre de points accumulés par session de jeu et par sujet. Nous observons que les courbes des tendances sont similaires. Ils sont en hausse constante dans les deux cas. Si nous tenons compte des anomalies qui ont été présentées précédemment, les résultats sont équivalents. De plus, il est intéressant de souligner que l'UA (e) a été introduite lors de la session cinq, pour les deux sujets. Ensuite, pour le sujet B, l'UA (i) est insérée à la session de jeu huit et l'UA révision à la session de jeu onze. Tandis que, pour le sujet E, l'UA (i) est introduite à la session de jeu neuf, et UA révision à la session de jeu douze. Ces informations peuvent amener des éléments de réponse à certains écarts observés.

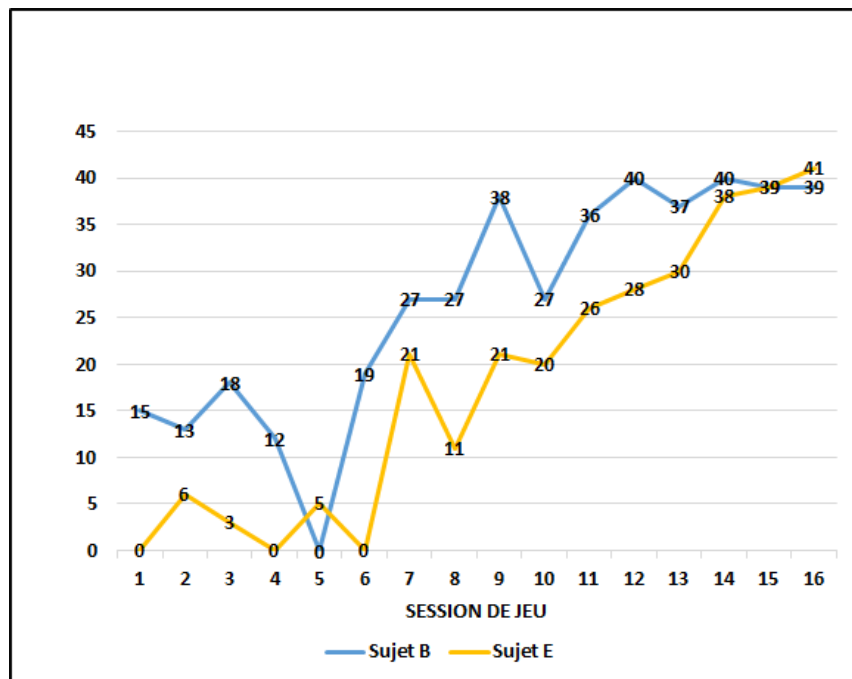


Figure 5.14 : Superposition des points obtenus par session de jeu et par sujet.

La figure 5.15 présente le nombre d'erreurs commises et le nombre de demandes d'aide par session pour le sujet B. La moyenne des erreurs commises par session est de 1.9 et la moyenne de demande d'aide se limite à 0.8 par session de jeu.

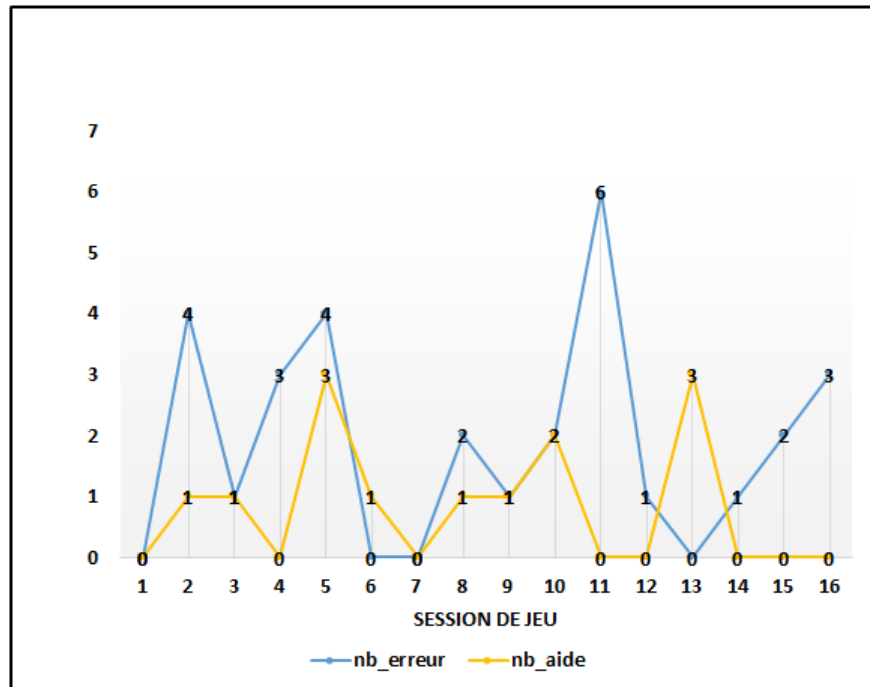


Figure 5.15 : Le nombre d'erreurs commises et le nombre de demandes d'aide par session de jeu pour le sujet B.

La figure 5.16 présente le nombre d'erreurs commises et le nombre de demandes d'aide par session de jeu pour le sujet E. La moyenne des erreurs commises est de 4.1 par session de jeu, tandis que la moyenne de demande d'aide atteint 4.2 par session de jeu. Les moyennes du sujet E sont largement plus élevées que le sujet B. En revanche, si nous tenons compte des explications sur l'anomalie deux, il faudrait retirer les résultats des six premières sessions de jeu. Alors, la moyenne d'erreurs commises par session de jeu n'est plus que de 2.5 et la moyenne de demande d'aide par session de jeu se limite à 1.3. Ces ajustements nous permettent d'observer que les tendances se rapprochent entre les deux sujets, figure 5.17.

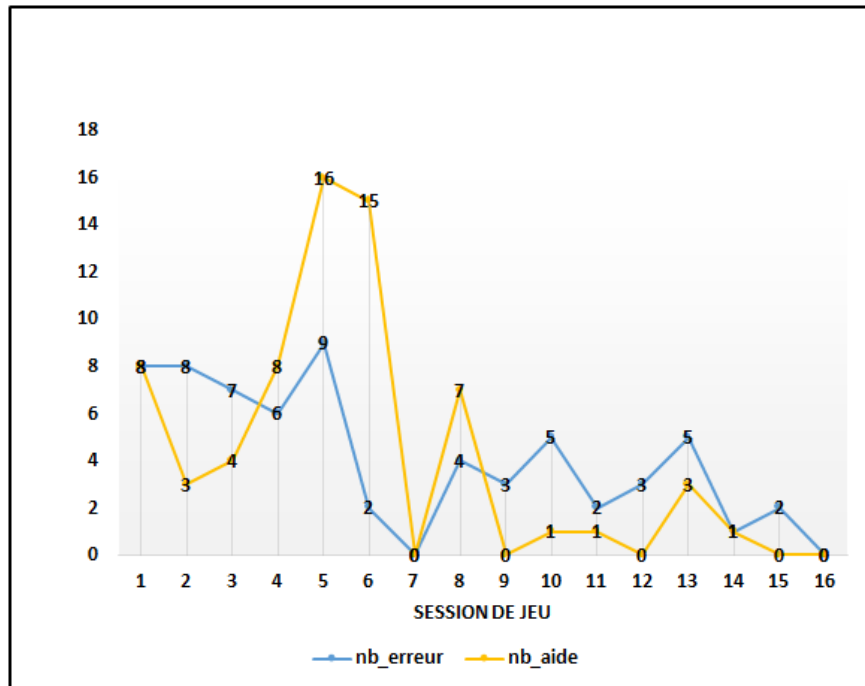


Figure 5.16 : Le nombre d’erreurs commises et le nombre de demandes d’aide par session de jeu pour le sujet E.

Les données qualitatives recueillies sur les compétences en lecture appuient les données quantitatives. Notamment, les sujets améliorent leur fluidité en lecture et prennent confiance en eux. Quoique, la concentration demeure inchangée tout au long de l’expérimentation pour le sujet E, et s’améliore à partir de la session de jeu six, pour le sujet B. Les deux sujets mentionnent qu’ils ont bien aimé jouer à la mission instruction. Cette mission est fondée sur la répétition, elle demande au sujet de pêcher des ballons qui indiquent le mot qu’il entend.

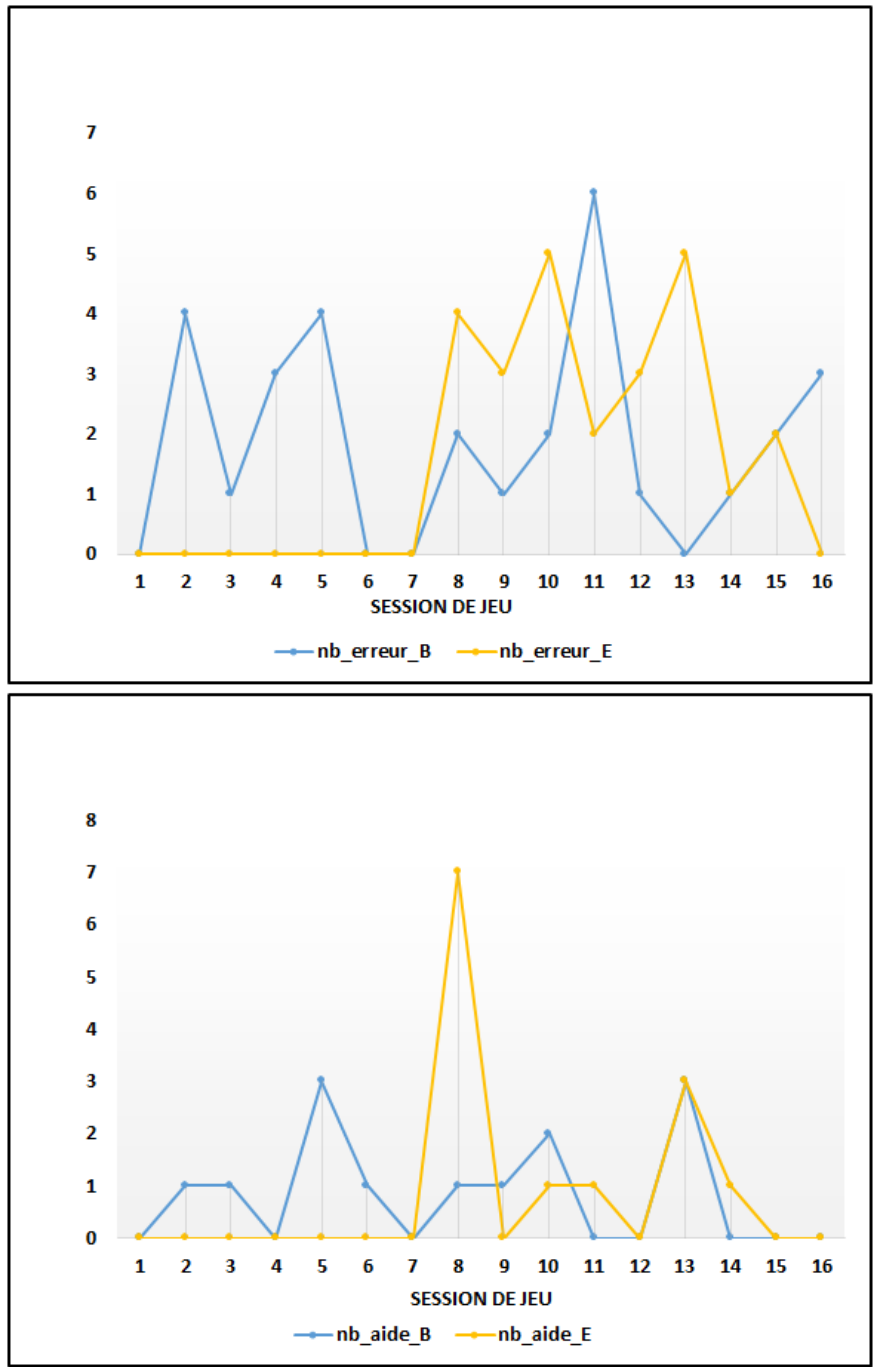


Figure 5.17 : Nombre d'erreurs commises et nombre de demandes d'aide par session et par sujet.

5.2.4.2 Traitement et analyse des données reliés à la motivation

Le niveau de motivation a varié tout au long de l'expérimentation. Au départ, les sujets étaient contents de participer à l'étude. Mais les difficultés rencontrées lors des premières sessions de jeu ont rapidement eu un impact négatif sur la motivation. De plus, le contexte de l'étude ne permet pas d'utiliser la mesure trois, prévue au tableau des compétences. Cette mesure correspond au nombre de sessions de jeu que chaque sujet complète par semaine, figure 5.18.

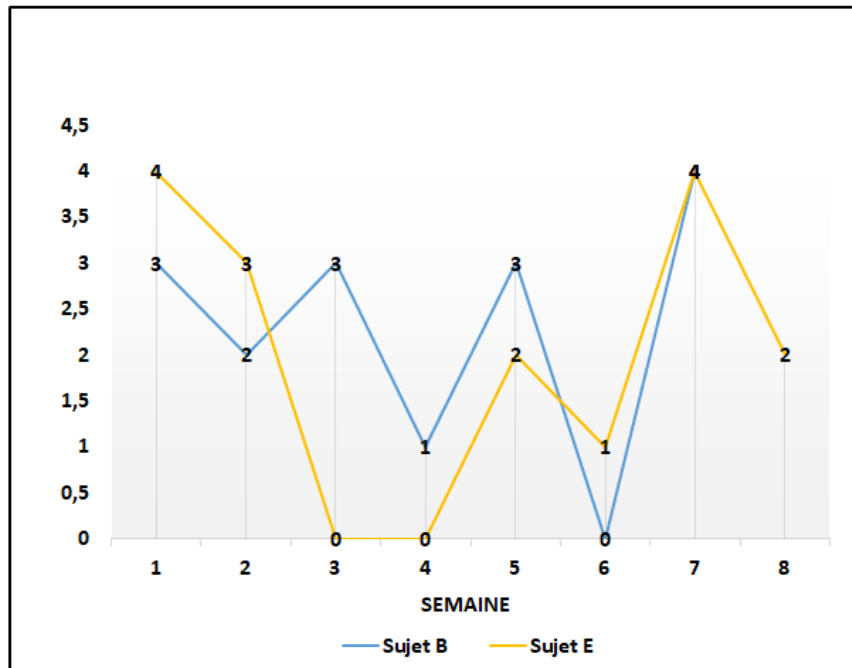


Figure 5.18 : Nombre de sessions de jeu par sujet et par semaine.

La mesure trois du tableau des compétences, figure 4.3, est une donnée de type quantitative qui a pour objectif d'identifier si le niveau de motivation d'un sujet diminue. Toutefois, les canaux de communications avec les parents des sujets sont demeurés ouverts durant toute l'expérimentation. L'échange d'informations avec les parents nous a permis d'interagir rapidement avec les sujets, notamment, lorsqu'on percevait une chute de la motivation d'un enfant. Étant donné que la motivation intrinsèque des deux sujets avait diminué à la mi-session. Nous leur avons offert un abonnement à une revue éducative s'ils complétaient l'expérimentation, et ainsi conservé leurs intérêts.

5.2.4.3 Traitement et analyse des données reliés à la conception des JVAS

Dans la section 5.2.4.3, nous mettons en évidence plusieurs données recueillies à travers les traces du jeu, mais également à travers les données qualitatives. Les données sélectionnées ont pour objectif de nous permettre d'évaluer la qualité de conception de l'artefact.

En premier lieu, nous allons vérifier les données générées par le modèle d'intelligence artificielle intégrée dans l'artefact. L'objet utilisé est un RNA de type réseau de neurones profond. Le RNA est composé de trois données d'entrées (x_1 , x_2 , x_3), et de deux couches cachées de vingt et de douze neurones. En somme, x_1 représente le nombre de points, x_2 le nombre d'erreurs commises, et x_3 le nombre de fois que le sujet demande de l'aide. Le RNA a été entraîné en utilisant soixante-quinze pour cent d'une série des trois données d'entrées. Nous avons conservé vingt-cinq pour cent des données pour la validation.

Tout d'abord, un diagnostic positif s'exécute seulement si, le sujet réussit un minimum de vingt-cinq points, ne fait pas plus de trois erreurs et demande de l'aide qu'un maximum deux fois durant les exercices d'évaluation de chaque UA. Par ailleurs, la personnalisation des UA du JVAS s'exécute après que le diagnostic cognitif soit effectué. Les diagnostics cognitifs sont réalisés lors des sessions d'exercices trois, sept et onze. Désormais nous savons comment le modèle mis en place pour effectuer un diagnostic cognitif doit se comporter, il nous reste maintenant à présenter les données recueillies dans les traces du jeu, par sujet.

Pour le sujet B :

- lors du diagnostic cognitif de la session d'exercice trois, le sujet a amassé dix-huit points, a commis une erreur et a demandé de l'aide qu'une seule fois. Le résultat est négatif et doit être négatif puisque le nombre de points est inférieur à vingt-cinq ;
- lors du diagnostic de la session d'exercice sept, le sujet a amassé vingt-sept points, n'a commis aucune erreur et n'a pas demandé d'aide. Le résultat est positif et devrait être positif, puisque le nombre de points est supérieur à vingt-cinq, et les deux autres critères pour un diagnostic positif sont respectés ;
- lors du diagnostic de la session d'exercice onze, le sujet a amassé vingt-sept points, a commis deux erreurs et a demandé de l'aide deux fois. Le résultat est positif et devrait être positif, puisque les trois critères pour un diagnostic positif sont respectés, figure 5.19.

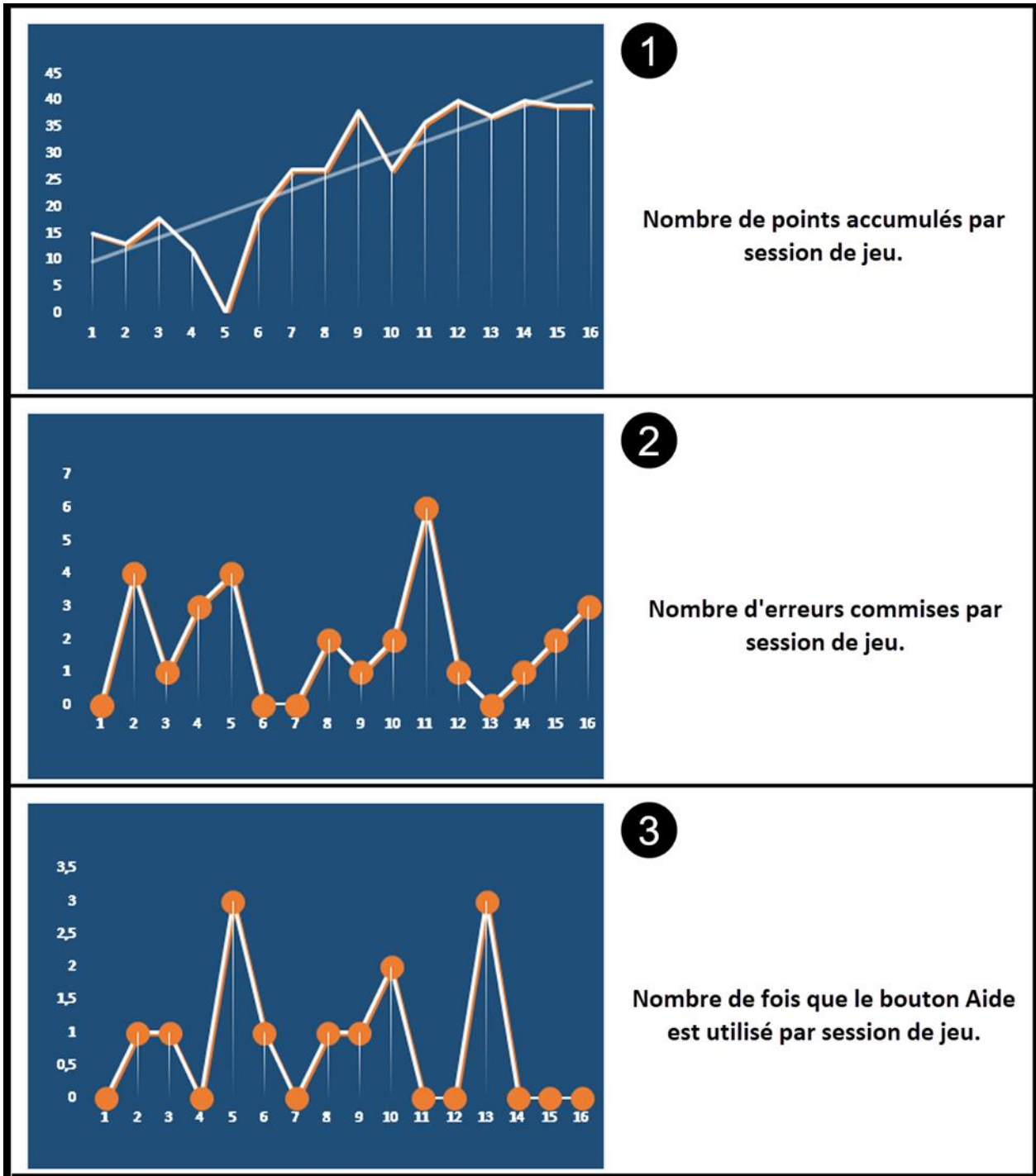


Figure 5.19 : Résultats des données des diagnostics cognitifs, pour le sujet B.

Pour le sujet E :

- lors du diagnostic de la session d'exercice trois, le sujet a amassé trois points, a commis huit erreurs et a demandé de l'aide huit fois. Le résultat est négatif et doit être négatif puisque le nombre de points est inférieur à vingt-cinq ;
- lors du diagnostic de la session d'exercice sept, le sujet a amassé vingt et un points, n'a commis aucune erreur et n'a pas demandé d'aide. Le résultat est négatif et devait être négatif, puisque le nombre de points est inférieur à vingt-cinq ;
- lors du diagnostic de la session d'exercice onze, le sujet a amassé vingt-six points, a commis deux erreurs et a demandé de l'aide une fois. Le résultat est positif et devrait être positif, puisque le nombre de points est supérieur à vingt-cinq, il les deux autres critères pour un diagnostic positif sont respectés, figure 5.20.

Il est important de souligner que le modèle d'intelligence artificielle intégré dans l'artefact pédagogique a fourni à chaque diagnostic cognitif un raisonnement conforme aux données d'entraînements.

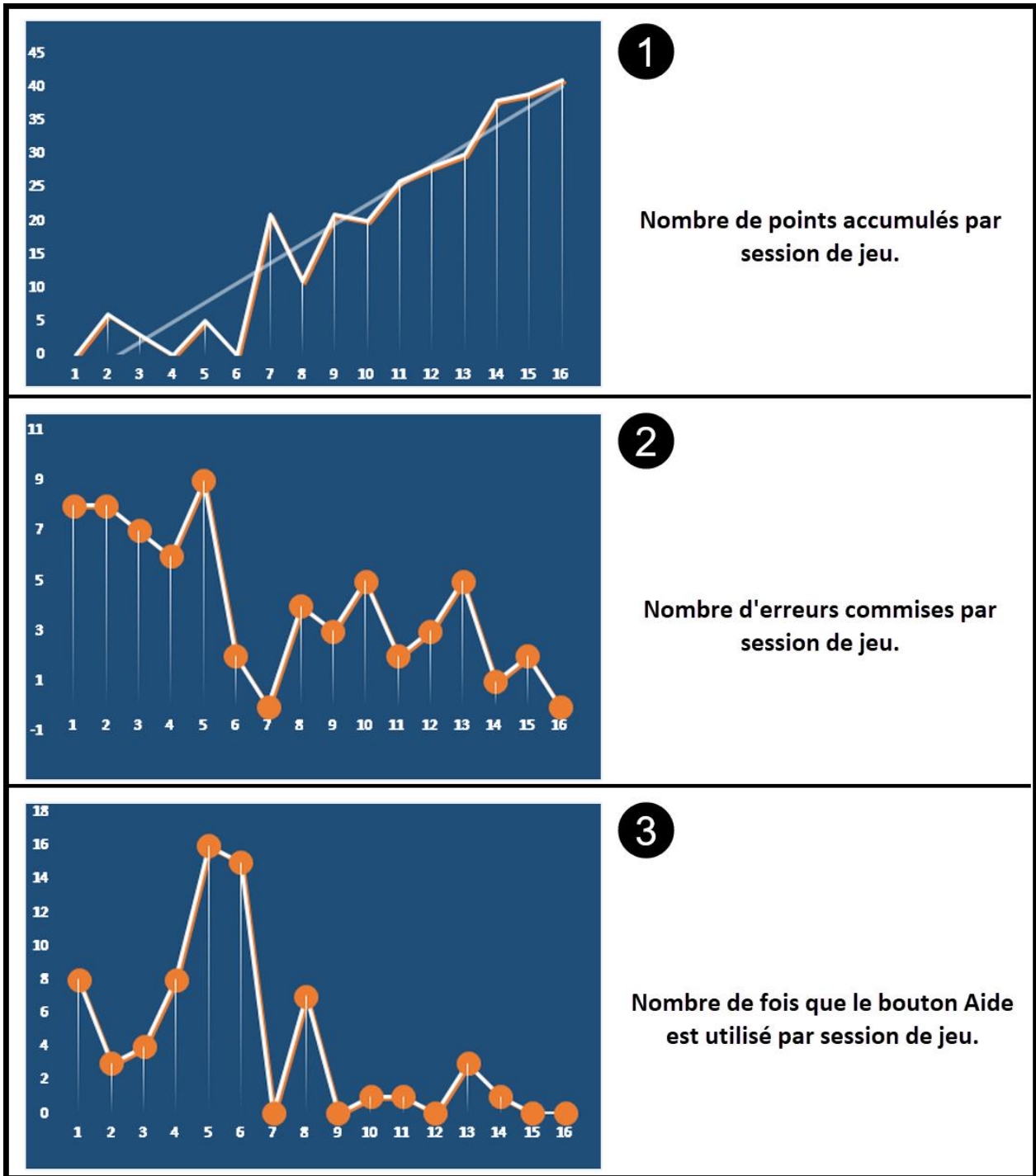


Figure 5.20 : Résultats des données des diagnostics cognitifs, pour le sujet E.

En second lieu, nous vérifions si chaque paramètre programmé dans le jeu correspond à ceux décrits dans le devis. Notamment, l'adaptation qui s'exécute à la fin de chaque session de jeu, et qui permet les changements de niveaux de jeu. Le jeu comporte quatre niveaux de complexité, tableau 5.7. À la fin de chaque session de jeu, l'artefact ajoute ou non des brigands et des d'obstacles, dans le but de complexifier le parcours du jeu selon les habiletés du joueur.

<i>Résultats temps_secondes des sessions précédentes</i>				
Résultats	Moins de 200 secondes	Plus de 200 secondes et moins de 350 secondes	plus de 350 secondes et moins de 550 secondes	Plus de 550 secondes
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
Adaptation : Ajout de brigands et obstacles		Lutin (A.J.)	Lutin (docteur)	Lutin (Annita)
		Paladin (Annita)	Mutant (Mimi)	Lutin (grand-père)
				Lutin (Liam)
				Paladin (Bryce)
		11 mines	14 mines	21 mines
		10 serpents	10 serpents	13 serpents

Tableau 5.7 : Les niveaux de jeu de « Mission Zebran ».

Étant donné que lorsque l'on commence un nouvel apprentissage, il est difficile de régulariser le flux des nouvelles connaissances (Moreno, 2006). L'adaptabilité augmente les chances de succès en termes d'amusement et d'apprentissage. Néanmoins, pour qu'il soit efficace les paramètres doivent être adaptés aux compétences de chaque joueur-apprenant (Göbel et Wendel, 2016).

Nous constatons que les sujets sont demeurés longtemps au premier niveau. En somme, le sujet B a réalisé treize sessions de jeu avant de changer de niveau. Tandis que pour le sujet E, il a dû effectuer quatorze sessions de jeu avant de changer de niveau. Du reste, les sujets n'ont pas suivi un parcours linéaire, mais sont plutôt passés du niveau un à quatre pour le sujet B, et du niveau un à trois pour le sujet E, sans négliger, qu'à partir du moment où les deux sujets ont changé de niveau de jeu, ils ont pu terminer leur session de jeu, dans le temps prescrit, tel que représenté à la figure 5.21. Cette dichotomie aurait pu être évitée si lors de la création de l'artefact, nous avions commencé par un cheminement de jeu plus facile, et par la suite augmenté graduellement le niveau de difficulté. D'ailleurs, une ligne de code aurait permis de changer progressivement le niveau de jeu et ainsi éviter de franchir plus d'un niveau à la fois.

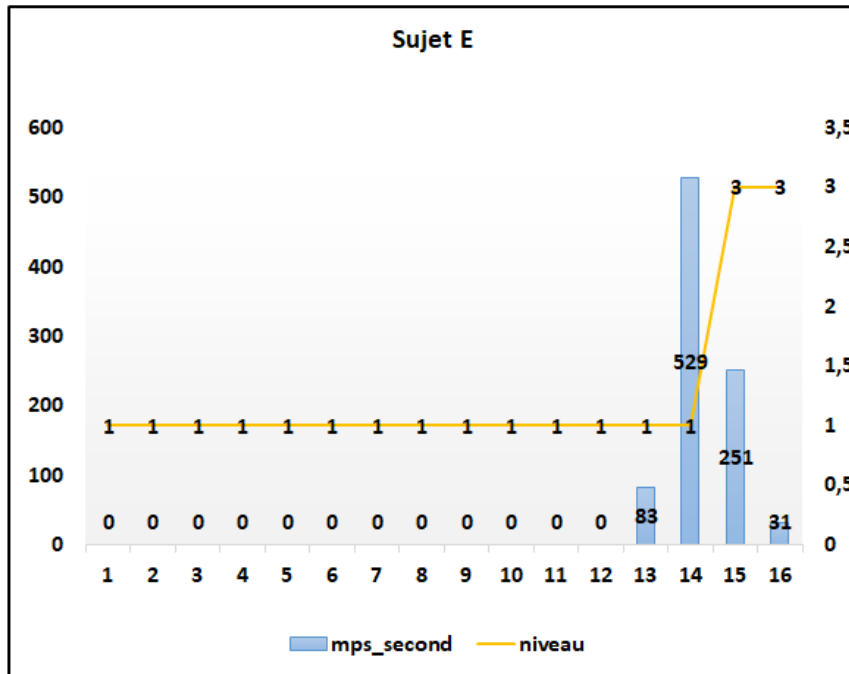
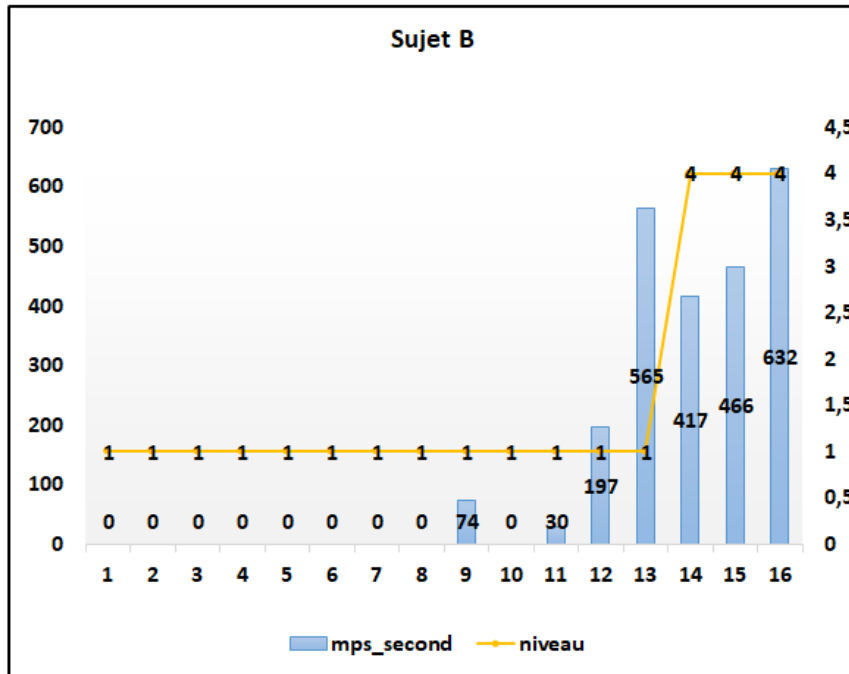


Figure 5.21 : Niveau du jeu versus la session de jeu par sujet.

Göbel et Wendel (2016) mentionnent qu'en ce qui concerne les aspects motivationnels, un jeu doit avoir une histoire captivante, qui favorise l'intrigue en étant amusante. Selon les commentaires et observations saisis, nous constatons que certains objets imbriqués dans le jeu ne sont pas optimaux. Entre autres, le choix des personnages, des obstacles et certains sons n'ont pas eu les succès escomptés. En effet, les sujets ont mentionné au début de l'étude qu'ils ont craint les brigands lorsqu'ils s'approchent des prisons et que certains sons sont trop agressifs, notamment ceux des mines et des serpents.

D'un autre côté, plusieurs paramètres du JVAS présentent des aspects intéressants. Selon les sujets et leurs parents, les directives et les images liées aux exercices sont limpides et cohérentes. Les deux sujets ont apprécié également les rétroactions et la qualité graphique des missions. Comme nous l'avons mentionné antérieurement : au départ la manipulation des touches du clavier d'ordinateur et de la souris n'a pas été évidente pour les participants. Or les deux sujets ont rapidement développé de nouvelles compétences lors de l'utilisation des périphériques. Ils ont même indiqué au moment d'évaluer le logiciel que le clavier et la souris étaient bien adaptés au jeu. Il est important d'observer que les deux sujets ont préféré jouer à la mission instruction. Ils ont souligné que l'épreuve qui consiste à pêcher des ballons était simple et amusante. Enfin, la barre de progression intégrée dans la mission instruction qui permet à l'enfant d'évaluer sa progression en temps réel, a été un élément positif.

À cette étape, il nous semble important de souligner que les paramètres du jeu « Mission Zebran » peuvent être transformés simplement, pour un autre domaine de connaissances. Par exemple, le sujet B nous a mentionné qu'il aimerait bien que le jeu soit modifié pour l'apprentissage de la langue anglaise. Selon Romero et Barma (2015), envisager la conception et l'intégration d'un jeu sérieux dans les classes du primaire peut être problématique, étant donné les compétences technopédagogiques limitées des enseignants et le temps nécessaire pour développer un jeu à partir de zéro. Romero et Barma conseillent de choisir un jeu sérieux disponible et de l'adapter au domaine de connaissances visé.

Maintenant que nous avons traité, analysé et regroupé les éléments signifiants qui ont été dégagés lors de l'expérimentation de notre étude. Il nous reste à les interpréter et à leur donner un sens. La section qui suit expose notre interprétation des données traitées et analysées, de sorte que nous pourrions premièrement valider ou invalider les prémisses des hypothèses énoncées. Et deuxièmement, apporter des éléments de réponse à la question de recherche.

5.2.5 Interprétation

L'interprétation des résultats signifie le raisonnement qui s'opère à partir des données recueillies et analysées. L'intention est de valider ou non les hypothèses de départ, et d'apporter des éléments de réponses à la question de recherche. D'ailleurs, les inférences réalisées lors de l'interprétation des résultats doivent avant tout être reliées au cadre conceptuel et théorique de l'étude. En somme, nous avons observé un certain nombre d'informations lors de l'expérimentation, à présent il faut leur donner un sens.

À cette étape, il nous semble important de revenir à la raison d'être de ce projet de recherche. L'origine de notre étude repose sur le manque de personnels spécialisés pour prendre en charge les jeunes élèves rencontrant des difficultés d'apprentissage en lecture, plus précisément les élèves qui présentent des symptômes liés à la dyslexie et un déficit d'attention.

Comme le mentionne Billard (2016), la dyslexie affecte négativement les compétences phonologiques des lecteurs, de plus, la dyslexie peut amoindrir la capacité de la mémoire lexicale. Billard (2016) ajoute que la dyslexie est d'origine neurologique et permanente. Par conséquent, les élèves dyslexiques requièrent un entraînement personnel et rapide (Ronimus *et al.*, 2019). Or, pour bénéficier d'un programme de rééducation dans les établissements scolaires, l'enfant doit avoir été diagnostiqué formellement. Le problème majeur du diagnostic formel est que pour qu'un enfant soit considéré comme dyslexique, il doit avoir un retard de deux ans en lecture par rapport à son groupe d'âge (Vernhes *et al.*, 2014). Cette attente est trop longue, et ne permet pas d'agir assez tôt pour minimiser les impacts négatifs (Nicolson *et al.*, 2010). Sans oublier, comme nous l'avons mentionné précédemment, les ressources pour prendre en charge les élèves dyslexiques dans les classes sont insuffisantes et même absentes en région (Institut de la statistique du Québec, 2010 ; Mongrain, 2015).

Partant de ce fait, la raison d'être de l'étude est d'explorer le potentiel des logiciels pédagogiques pour pallier le manque de ressources spécialisées en éducation. Plus précisément, de créer un outil pédagogique numérique qui intègre un programme de rééducation en lecture, et d'évaluer sa pertinence dans un contexte particulier. Comme nous l'avons mentionné antérieurement, l'expérimentation avec les sujets sélectionnés se déroule à la maison en période estivale accompagnée d'un parent.

Nos hypothèses de départ sont :

- faire usage d'un JVAS permet d'améliorer les compétences en lecture du public cible lors d'un test calibré de lecture ;
- il est possible de concevoir un outil pédagogique numérique efficace en intégrant une dimension sérieuse personnalisée à un JVA en 3D, tout en conservant la motivation de jeunes élèves.

Tandis que, notre question de recherche est :

- comment intégrer d'une manière efficace une composante sérieuse personnalisée pour l'amélioration des compétences en lecture d'élèves présentant des symptômes de dyslexies, et un déficit d'attention dans un JVA en 3D, tout en conservant la motivation des enfants dans un contexte d'apprentissage en milieu naturel ?

Commençons par trouver des éléments de réponse à notre première hypothèse de départ.

5.2.5.1 Est-ce que le JVAS permet d'améliorer les compétences en lecture des sujets ?

Nous allons commenter les données sur la fluidité en lecture de chaque sujet et par la suite comparer les résultats. Selon le modèle de connaissances, figure 3.1, la compétence centrale est l'amélioration du niveau en lecture. À la lumière de ce qui précède, cette compétence doit augmenter la vitesse de lecture, diminuer le nombre d'erreurs commises lors de la lecture, et améliorer la compréhension des textes lus. De surcroît, effectuer des sessions de jeux permet d'améliorer la concentration, et de conserver la motivation des sujets. Noter que l'étude de Franceschini *et al.* (2013) a mis en évidence que l'amélioration de l'attention a une incidence positive sur la vitesse de lecture, et par le fait même sur la compréhension. De plus, Taconnat (2012) indique que l'attention est essentielle lors de l'encodage de l'information, elle améliore la stabilité à long terme des données.

Par rapport à la vitesse de lecture, les résultats de notre étude indiquent qu'elle s'est améliorée graduellement pour chaque sujet durant l'expérimentation. Rappelons brièvement, les résultats des tests de chaque sujet. La vitesse de lecture du sujet B, s'est améliorée de dix-neuf pour cent après avoir effectué huit sessions de jeu, et de vingt-sept pour cent à la fin du parcours de l'expérimentation, qui comptait seize sessions de jeu de 30 minutes. Tandis que l'augmentation de la vitesse de lecture du sujet E s'est accrue de treize pour cent après avoir réalisé sept sessions et cinquante-six pour cent à la fin du parcours de jeu. En moyenne, les sujets ont amélioré leur vitesse de lecture de seize pour cent lors du test de mi-parcours et de quarante-deux pour cent à la fin des seize sessions de jeu, qui correspond à huit heures de jeu. Concernant les résultats de l'étude de Franceschini *et al.* (2013), il est intéressant de constater que les enfants du groupe expérimental ont amélioré en moyenne la vitesse de lecture de vingt pour cent après avoir joué avec un JVA durant douze heures. Nous constatons une amélioration plus importante de la vitesse de lecture des sujets de notre étude. Il importe de souligner que notre outil intègre une dimension sérieuse, ce qui n'est pas le cas dans l'étude de Franceschini *et al.* (2013).

Nous observons également que le nombre d'erreurs commises durant les tests de lecture des deux sujets est en très nette régression. Ce qui contraste avec les résultats de l'étude de Franceschini *et al.* (2013), qui est fondée sur l'utilisation d'un JVA sans dimension sérieuse et qui ne révèle aucune amélioration sur les erreurs commises lors de la lecture. En somme, les erreurs de lecture du sujet B, ont diminué de vingt-cinq pour cent à mi-parcours et de cinquante pour cent lors du posttest. Tandis que, pour le sujet E, la diminution des erreurs de lectures est de quarante pour cent lors du test de mi-parcours et de soixante pour cent lors du posttest. Bref, les deux sujets ont réduit en moyenne les erreurs commises lors de la lecture du texte de cinquante-cinq pour cent. À cet égard, l'étude de Pasqualotto *et al.* (2022), qui fait usage d'un JVA qui intègre des exercices pour améliorer l'attention, rapporte aussi une diminution des erreurs commises en lecture.

Nous aimerions porter à votre attention que le nombre de mots lus et le nombre d'erreurs de lectures lors du prétest ont une incidence importante sur le pourcentage d'amélioration de chaque sujet. Tout compte fait, le sujet E, n'a lu que deux mots de plus et a commis qu'une erreur de moins que le sujet B, lors du posttest par rapport aux résultats du prétest.

À la lumière de ce qui précède, nous croyons que la diminution des erreurs commises est en grande partie attribuée aux exercices de répétitions, de fusions et de segmentations qui sont insérés dans l'artefact. Notamment, dans la scène départ et lors des deux missions. Chaque session de jeu, cinq nouveaux mots fréquents sont introduits. Par ailleurs, dans la mission instruction les mots fréquents sont par la suite répétés à plusieurs reprises. En outre, lors de la mission principale, des exercices de fusions et de segmentations sont fondés à partir de mots fréquents identiques.

Valdois (2016) mentionne que la mémoire lexicale est la mémoire des mots. Dans son étude, Valdois constate que la mémoire lexicale est indispensable lors de l'apprentissage de la lecture et garde en mémoire l'orthographe des lettres et des mots. À partir du moment où le mot est décodé, il est mémorisé et offre un accès global à son orthographe et à son sens (Dehaene 2008). Par ailleurs, comme le fait remarquer Dehaene, même si les enfants dyslexiques ont des compétences phonologiques limitées, leur mémoire lexicale peut être intacte. Sauvé (2010) ajoute que la répétition améliore les habiletés et la rétention des acquis. De plus, selon Lefebvre (2016), la répétition augmente le transfert de compétence en lecture. Sans omettre, l'impact éducationnel des exercices de rééducation introduit dans les UA de la mission principale. Les exercices sont issus du programme en rééducation pour les élèves dyslexiques *WIST*. Selon Myre-Bisaillon (2004, 2009), l'adaptation française du programme *WIST* améliore la vitesse de lecture et l'identification des mots.

Finalement, le JVAS « Mission Zebran » est fondé sur des mécanismes qui font usage d'une multitude de sens. Selon Boyadjian et Zogheib (2011) et Rousseau (2016), l'enseignement multisensoriel est un programme de rééducation fondé sur le modèle alphabétique et est multisensoriel, c'est-à-dire que l'on utilise l'ensemble des parties du cerveau en même temps, la vue, les sons, le toucher et la kinesthésie. Rousseau (2016) ajoute que les enfants dyslexiques développent une capacité de penser par l'image et utilisent tous leurs sens, comme l'audition pour compenser leur retard. Selon Rousseau les méthodes multisensorielles sont adaptées aux enfants dyslexiques parce qu'elles les aident à mémoriser les mots. Selon Robert (2018), les moyens mnémotechniques aident la mémoire par des procédés d'association mentale. Notamment par imagerie mentale, mots clés, révisions, rappels, par regroupement hiérarchique, modèles mentaux ou schémas, lettres alphabétiques, techniques narratives. De plus, nos connaissances actuelles augmentent nos possibilités d'ajouter de nouvelles informations, à cause des mécanismes d'acquisition de nouvelles connaissances que l'on nomme métacognition (Taconnat, 2012).

Concernant l'amélioration de l'attention, les résultats des tests de dénomination rapide *AR-RAN* effectués avant et après notre expérimentation sur chaque sujet révèlent une légère amélioration de 4 % pour le sujet E et une détérioration de 3 % pour le sujet B. Les résultats obtenus ne sont pas significatifs et bien que l'on constate une augmentation croissante de la vitesse de lecture et une diminution du nombre d'erreurs, les résultats des tests *AR-RAN* ne corroborent pas les théories actuelles, qui indiquent que les JVA améliorent l'attention des enfants. Les résultats de notre étude divergent avec les documents d'archives puisque, dans toute la littérature où il en est question, les théories actuelles mentionnent que de jouer à un JVA sans dimension sérieuse même pendant une courte période améliore l'attention. (Barlett *et al.*, 2009 ; Chaarani *et al.*, 2022 ; Dale *et al.*, 2020 ; Green et Bavellier 2012 ; Franceschini *et al.*, 2013 ; Mildner *et al.*, 2015 ; Shawn Green *et al.*, 2019).

Dans le paragraphe précédent, nous avons fait le constat que le niveau d'attention des sujets est demeuré stable durant l'expérimentation. Il est important d'observer que nous avons fait usage du test de dénomination rapide *AR-RAN* lors de notre étude. Tandis que, Franceschini *et al.* (2013) par exemple, a fait usage du test de la tâche d'attention temporelle intermodale et du test de l'attention distribuée et ciblée. Tandis que, Pasqualotto *et al.* (2022) utilisent un test de barrage classique, qui consiste à trouver un objet dans des cibles.

Bien que l'on observe que le test de dénomination rapide est reconnu pour identifier de jeunes enfants qui risquent de connaître des difficultés d'apprentissage en lecture. Il est probable que le test que nous avons sélectionné pour évaluer le niveau d'attention ne permet pas de distinguer une modification au niveau de la concentration. À cet égard, les résultats de l'étude réalisée par Cornily (2018), soulignent qu'un entraînement en dénomination rapide peut améliorer la fluidité de la lecture de jeunes élèves. Néanmoins, comme le fait remarquer Cornily, les progrès sont limités. Sans oublier, comme le font remarquer Chaarani *et al.* (2022), que l'amélioration des performances attentionnelles chez les jeunes joueurs peut être expliquée par une aptitude supérieure à ne pas tenir compte ou à négliger les stimuli. Par ailleurs, les traces du jeu démontrent que les deux sujets progressent graduellement et d'une manière constante. De plus, la grille comportementale indique que la concentration du sujet B s'améliore à partir de la sixième session de jeu.

Si nous tenons compte de la progression des sujets lors du parcours du JVAS, des données de la grille comportementale et des propos de Chaarani *et al.* (2022), il est probable que les sujets de notre étude aient amélioré certaines capacités cognitives reliées à l'attention. Ces informations pourraient nous apporter des éléments de réponses par rapport aux résultats positifs des tests réalisés lors de l'étude de Franceschini *et al.* (2013) et de ceux de Pasqualotto *et al.* (2022).

En résumé, les résultats des tests de lecture révèlent que la dimension sérieuse insérée dans l'artefact éducatif soutient l'amélioration des compétences en lecture. De plus, les observations des parents appuient notre constat, notamment : *j'ai remarqué que la lecture de ma fille est plus fluide. Elle commence à prendre confiance en elle. Notre enfant fut malgré tout content de voir qu'il progresse, l'expérience a été bénéfique.*

Il importe également de souligner que durant la période estivale les résultats des tests en lecture diminuent par rapport aux résultats des tests de fin d'année scolaire (Alexander *et al.* 2007 ; Cooper *et al.* 1996). Comme nous l'avons mentionné antérieurement, Cooper *et al.* (1996) indiquent que ce sont les élèves qui présentent des difficultés d'apprentissage, qui ont davantage de risques. En d'autres termes, les résultats de notre étude sous-estiment probablement le niveau de l'amélioration en lecture des deux sujets observés. Maintenant, il est temps de passer à la deuxième hypothèse que nous avons émise au départ.

5.2.5.2 Il est possible de concevoir un outil éducatif numérique efficace en intégrant une dimension sérieuse personnalisée à un JVA en 3D, tout en conservant la motivation de jeunes élèves

Notre deuxième hypothèse concerne la faisabilité de la conception d'un JVAS, tout en conservant la motivation des élèves. Comme le font remarquer Arnab *et al.* (2013), il n'y a pas d'approche explicite pour l'élaboration d'un jeu sérieux éducatif. L'efficacité des jeux sérieux éducatifs repose sur une multitude de caractéristiques, le jeu doit avant tout favoriser le plaisir de jouer tout en transférant de nouvelles connaissances. Selon Schmoll (2011) le jeu doit demeurer une activité libre et amusante. Tandis que, pour Alvarez et Djaouti (2010), les jeux motivants doivent présenter un assortiment de défis adaptés au public cible, et que les joueurs puissent avoir un certain niveau de contrôle. Alvarez et Djaouti accordent beaucoup d'importance à l'équilibre des deux dimensions lors de la conception, c'est-à-dire la dimension ludique et la dimension sérieuse, mais aussi à la convergence de ses deux dimensions dans le scénario du jeu.

Selon Fabricatore et López (2012), le plaisir de jouer augmente la motivation et est essentiel pour conserver l'engagement des joueurs-apprenants. Le plaisir du jeu réside dans la facilité de réaliser les objectifs du jeu. Le concepteur doit incorporer des défis réalisables, adaptés au public cible et personnalisés à chaque joueur pour ainsi créer un sentiment d'immersion.

Plusieurs facteurs influencent la volonté d'un enfant à persévérer dans un programme pédagogique. Notamment, la motivation et l'engagement qui ont un impact significatif sur la persévérance des apprenants. (Alsawaier, 2018 ; Dewan *et al.*, 2019 ; Gupta et Sabitha, 2019 ; Molinari *et al.*, 2016). Or ces deux concepts sont distincts (Alsawaier, 2018). Selon Bouvier *et al.* (2014), l'engagement est un concept vague qui comprend une série d'éléments différents, par exemple l'impression de liberté, le caractère public ou privé de l'action entreprise et l'environnement où se situe l'expérimentation. De plus, comme le font remarquer Molinari *et al.* (2016) et Case (2013), les recherches sur l'engagement des apprenants à distance sont rares parce qu'il est difficile d'évaluer l'état émotionnel des apprenants. Sans oublier, comme l'indique Alsawaier (2018), qu'il n'y a pas assez d'études sérieuses fondées sur les théories concernant l'influence de la ludification sur la motivation et l'engagement.

Concernant la motivation, elle est essentiellement intrinsèque ou extrinsèque. La motivation est intrinsèque lorsque l'apprenant continue une activité pour le plaisir ou pour asservir ses propres intérêts (Ryan et Deci, 2000). Or la motivation extrinsèque est présente lorsque l'enfant est encouragé à poursuivre une formation par un ou des facteurs externes, par exemple, une récompense (Ryan et Deci, 2000).

Les données analysées dans notre étude attestent que la motivation intrinsèque des deux sujets n'était pas constante lors du parcours des sessions de jeu. Au départ, les sujets étaient enthousiastes, par la suite le niveau de motivation a chuté rapidement. Il est probable, comme le font remarquer Waltemeyer et Cranmore (2020), que notre JVAS ne soit pas assez engageant et ne tient pas suffisamment compte de la satisfaction des sujets. De plus, Romero *et al.* (2020) observent que la persévérance est conservée tant que la personne a l'impression qu'elle s'améliore, et que l'objectif est atteignable. Cependant, quand l'individu a la perception de ne plus s'améliorer, il a tendance à se désister. Enfin, l'analyse des traces du jeu attire notre attention sur le nombre de sessions de jeu effectuées avant que le premier changement de niveau se réalise, figure 5.22.

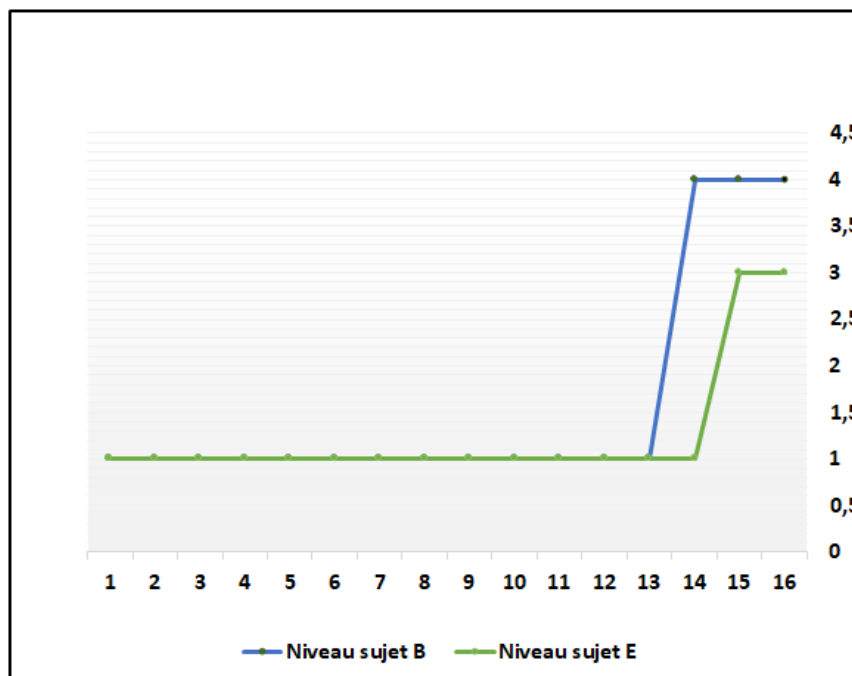


Figure 5.22 : Changement de niveau de jeu par session et par sujet.

Les observations des parents sont claires et convergent dans la même direction que les traces du jeu. Les données traitées indiquent que durant les premières sessions les mécanismes imbriqués sont trop complexes et ne permettent pas au sujet d'atteindre leur objectif. Étant donné que les sujets ne pouvaient réussir à délivrer les otages dans le temps prescrit, les parents ont observé chez leur enfant un sentiment de frustration. Il est probable que les sujets se soient démotivés rapidement lors des premières sessions de jeu. Enfin, les parents des deux sujets affirment que l'offre de récompense accordée aux sujets, s'ils terminaient le parcours des seize sessions de jeu, a été bénéfique pour la motivation de leur enfant.

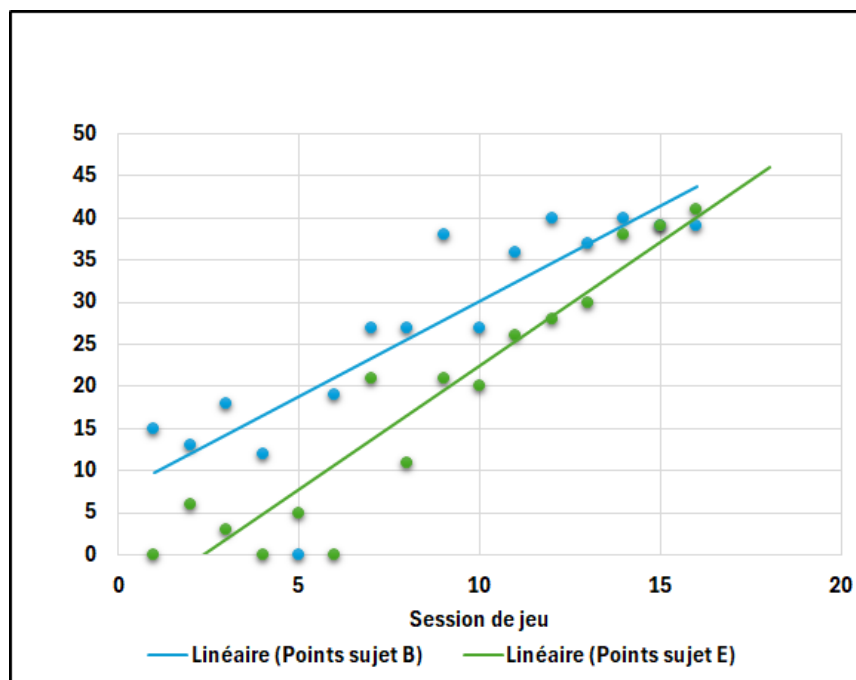


Figure 5.23 : Droites des points obtenus par sujet versus les sessions de jeu.

Comme le fait remarquer Boily (2023), si l'engagement d'un enfant à persévérer dans ses tâches pédagogiques est faible, l'usage de la récompense peut être efficace. Nous réitérons également que sans la présence des parents les sujets n'auraient pas complété les sessions de jeu.

Nous constatons à travers les traces du jeu que le nombre de points par session de jeu indique une augmentation graduelle des performances. Les deux droites générées par le nombre de points par session de jeu, figure, 5.23, montrent clairement que les sujets améliorent leurs compétences graduellement. De plus, la corrélation entre les points obtenus et les sessions de jeu pour chaque sujet est similaire. Avant d'effectuer de nouvelles modifications, nous allons analyser leurs impacts sur l'ensemble des autres paramètres du jeu.

Outre ce qui a été mentionné plus haut, de nombreux mécanismes intégrés dans l'artefact lors de sa conception ont une incidence positive sur son efficacité. Entre autres, nous avons noté que le jeu « Mission Zebran » démontre plusieurs caractéristiques intéressantes. Selon les sujets les consignes et les images des exercices sont claires et précises. Les sujets ont également apprécié les rétroactions et la qualité graphique des missions, ainsi que le caractère amusant de la mission instruction. Les sujets ont aimé pêcher des ballons. Cet élément du jeu introduit le concept de grade par rapport au résultat obtenu. Selon un des parents : *Il est motivant d'évaluer sa progression en temps réel.*

Bien que l'on constate que le logiciel a ces lacunes de conception, il demeure quand même une solution intéressante à la problématique étudiée. Sans négliger qu'il est relativement simple d'effectuer des modifications qui permettent d'adapter le niveau de jeu au public cible et ainsi améliorer le plaisir de jouer. La personnalisation et l'adaptation de l'artefact en sont de bons exemples. La personnalisation désigne un changement dans les composantes du logiciel, selon les décisions et performances du joueur-apprenant. Les éléments d'adaptation dans le jeu « Mission Zebran » correspondent à l'exécution à la fin de chaque session de jeu, des mécanismes qui autorisent les changements de niveaux de jeu. Tandis que la personnalisation s'exécute après que le diagnostic cognitif du RNA soit réalisé, lors des exercices d'évaluation des UA. Le RNA fait parvenir le résultat du diagnostic cognitif à la base de données qui choisit la session d'exercice appropriée pour la prochaine session de jeu.

Selon Kickmeier-Rust *et al.* (2011), personnaliser un jeu vidéo éducatif est compliqué, parce que chaque apprenant a ses goûts et ses objectifs. De plus, les apprenants ont des aptitudes différentes, ce qui influence la perception du joueur-apprenant envers le jeu. Or, comme le font remarquer Kickmeier-Rust *et al.*, des interactions personnalisées dans un jeu vidéo permettent d'améliorer l'apprentissage du joueur-apprenant. Par ailleurs, il est important de souligner que les sons, les personnages, les niveaux de difficulté sont tous altérables dans le moteur de jeu.

Au départ, nous convenons que le niveau du jeu doit être plus facile et par la suite se complexifier graduellement selon le résultat du joueur-apprenant. D'ailleurs, comme nous l'avons mentionné antérieurement, il est possible d'insérer dans un langage de script, un code de programmation qui fait en sorte que le niveau ne franchisse plus qu'un niveau à la fois.

Concernant, la personnalisation, il importe de souligner que le moteur d'inférence de type RNA mis en place dans le système du JVAS a fourni les résultats escomptés. Que ce soit pour le sujet B, figure 5.24, que pour le sujet E, figure 5.25.

Parcours sujet B							
session	points	temps_secondes	temps_jeu	niveau	nb_erreur	nb_aide	date
1	15	0	1500	1	0	0	2023-06-26 16:58
2	13	0	1500	1	4	1	2023-06-28 15:29
3	18	0	1500	1	1	1	2023-06-29 19:39 N
4	12	0	1500	1	3	0	2023-07-08 08:54 Fin de l'UA (a)
5	0	0	1500	1	4	3	2023-07-09 07:33
6	19	0	1500	1	0	1	2023-07-10 16:53
7	27	0	1500	1	0	0	2023-07-11 16:57 O fin de l'UA (e)
9	27	0	1500	1	2	1	2023-07-12 16:31
10	38	74	1426	1	1	1	2023-07-17 19:29
11	27	0	1500	1	2	2	2023-07-24 16:27 O fin de l'UA (i)
13	36	30	1470	1	6	0	2023-07-25 16:37
14	40	197	1303	1	1	0	2023-07-26 17:15
15	37	565	935	1	0	3	2023-08-02 20:34
16	40	417	1083	4	1	0	2023-08-03 15:54
17	39	466	1034	4	2	0	2023-08-04 16:08
18	39	632	868	4	3	0	2023-08-05 15:23

Figure 5.24 : Résultats des diagnostics cognitifs du sujet B.

Rappelons brièvement les trois variables d'entrée du modèle d'entraînement du RNA : le nombre de points accumulés durant la session de jeu, le nombre d'erreurs commises et le nombre de fois que l'apprenant demande de l'aide. Les trois variables correspondent aux traces recueillies lors de la mission principale du JVAS, aux sessions d'exercices trois, sept et onze. Huit parcours de jeu sont possibles, selon les résultats des joueurs-apprenants, disponibles en annexe D et E. Le sujet B a réalisé le parcours du niveau quatre, tandis que le sujet E, a réalisé le parcours du niveau trois. La personnalisation du jeu met à la disposition des sujets un parcours adapté à leur compétence.

Comme nous l'avons mentionné antérieurement, pour que le diagnostic soit positif, tel qu'illustré en vert dans les figures 5.24 et 5.25, il faut que le sujet réussisse un minimum de vingt-cinq points, ne fasse pas plus de trois erreurs et ne demande de l'aide qu'un maximum de deux fois durant une session d'évaluation.

Parcours sujet E							
session	points	temps_secondes	temps_jeu	niveau	nb_erreur	nb_aide	date
1	0	0	1500	1	8	8	2023-07-19 11:22
2	6	0	1500	1	8	3	2023-07-21 09:18
3	3	0	1500	1	7	4	2023-07-22 18:34 N
4	0	0	1500	1	6	8	2023-07-25 12:13 Fin de l'UA (A)
5	5	0	1500	1	9	16	2023-07-27 16:31
6	0	0	1500	1	2	15	2023-07-28 10:30
7	21	0	1500	1	0	0	2023-07-29 10:18 N
8	11	0	1500	1	4	7	2023-08-10 09:44 Fin de l'UA (E)
9	21	0	1500	1	3	0	2023-08-12 09:21
10	20	0	1500	1	5	1	2023-08-19 13:42
11	26	0	1500	1	2	1	2023-08-26 12:22 O fin de l'UA (i)
13	28	0	1500	1	3	0	2023-08-27 19:07
14	30	83	1417	1	5	3	2023-08-28 15:11
15	38	529	971	1	1	1	2023-08-29 17:21
16	39	251	1249	3	2	0	2023-09-04 16:35
17	41	31	1469	3	0	0	2023-09-09 09:27

Figure 5.25 : Résultats des diagnostics cognitifs du sujet E.

En résumé, selon les données interprétées ci-haut, nous croyons qu'il est possible de concevoir un JVAS personnalisé à l'élève tout en conservant sa motivation. Néanmoins, nous constatons que la tâche est complexe, entre autres qu'il faut investir dans des ressources spécialisées pour créer un artefact qui favorise le plaisir de jouer, tout en soutenant le transfert de connaissances.

Nous avons validé les prémisses des deux hypothèses énoncées au départ. La synthèse des résultats est présentée au tableau 5.8. Maintenant, il est temps de répondre à la question de recherche :

Comment intégrer d'une manière efficace une composante sérieuse personnalisée pour l'amélioration des compétences en lecture d'élèves présentant des symptômes de dyslexies, et un déficit d'attention dans un JVA en 3D, tout en conservant la motivation des enfants dans un contexte d'apprentissage en milieu naturel ?

Résultats de la recherche			Hypothèse 1			Hypothèse 2	
			Faire usage d'un JVAS permet d'améliorer les compétences en lecture du public cible lors d'un test calibré de lecture.			Il est possible de concevoir un outil pédagogique numérique efficace en intégrant une dimension sérieuse personnalisée à un JVA en 3D, tout en conservant la motivation de jeunes élèves.	
			Augmentation de la vitesse de lecture	Diminuer le nombre d'erreurs	Améliore l'attention	Faisabilité	Motivation
Source des données	Type de données	Théorie/concept					
Données de l'expérimentation	Test BALE	Constructiviste, cognitiviste	OUI	OUI			
	Test AR-RAN	Constructiviste, cognitiviste			NON		
	Commentaire	Constructiviste, cognitiviste, Flow, ARCS	OUI	OUI		OUI	NON
	Observation	Constructiviste, cognitiviste, Flow, ARCS	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI/NON
	Traces	Constructiviste, cognitiviste, béhavioriste, Flow, ARCS			OUI	OUI	NON
Archive	Quantitative	Constructiviste, cognitiviste	OUI	OUI/NON	OUI		OUI
	Qualitative	Constructiviste, cognitiviste, Flow, ARCS	OUI		OUI	OUI	OUI/NON

Tableau 5.8 : Sommaire de l'interprétation des données.

Bien que nous constatons une baisse de la motivation des deux sujets lors de l'expérimentation, nous croyons que la méthodologie développée et présentée au chapitre 4 est appropriée. La méthodologie de conception que nous proposons a l'avantage de respecter les recommandations émises par les experts du domaine des jeux sérieux. Or même si l'engagement et la motivation sont les facteurs dominants qui influencent la persévérance d'un élève. Le but d'un système d'apprentissage comme un jeu sérieux est d'atteindre les objectifs pédagogiques par le transfert de nouvelles connaissances et de compétences. De plus, il faut se rendre à l'évidence que dans un contexte où l'outil pédagogique qui sert à la rééducation d'enfants ayant des problèmes d'apprentissage est déployé au domicile familial, les parents ont un rôle important à jouer.

Notre position tient également compte, des commentaires reliés à la persévérance et par le fait même à la pertinence du jeu « Mission Zebran » :

- *notre enfant était malgré tout content de voir qu'il progresse, l'expérience a été bénéfique ;*
- *j'ai remarqué que la lecture de ma fille est plus fluide. Elle commence à prendre de la confiance en elle ;*
- *je suis fière de mes performances, surtout durant les dernières sessions de jeu. J'ai délivré tous les otages.*

Nous sommes conscients que le jeu « Mission Zebran » n'est pas parfait, et que certains ajustements doivent être effectués pour ainsi améliorer le plaisir de jouer et par le fait même la motivation des joueurs-apprenants. Cependant, comme l'indique Lavigne (2012) dans son étude, il y a conflit entre les deux dimensions d'un jeu sérieux. Selon Lavigne, il est particulièrement difficile d'intégrer une dimension sérieuse avec le plaisir de jouer, puisque le jeu doit être une activité libre et irréaliste. Par ailleurs, le jeu sérieux permet de personnaliser la formation ce qui le rend approprié aux élèves qui présentent des difficultés d'apprentissage puisqu'il autorise de varier le rythme. De plus, le jeu permet au joueur-apprenant de commettre des erreurs sans pour autant être jugé. Waltemeyer et Cranmore (2020), ajoutent qu'il est obligatoire que le jeu sérieux soit intéressant et soit aligné sur les goûts et intérêts des apprenants. Or Kickmeier-Rust *et al.* (2011) font remarquer que la personnalisation d'un jeu sérieux est difficile à réaliser, parce que chaque joueur-apprenant a ses goûts et objectifs.

Comme ce ne sont pas tous les jeux qui ont un effet positif sur l'engagement. Green et Seitz (2015) recommandent aux concepteurs de créer des jeux sérieux spécifiquement pour améliorer les tâches cognitives en s'appuyant sur les théories et concepts des domaines de connaissances. Or le transfert de connaissance se réalise de multiple manière à travers des processus cognitifs : perception, apprentissage, raisonnement, répétition, mémoire, expérience, création et échange (Cherurette, 2009).

Finalement, sans pour autant dénigrer les mécanismes qui favorisent le plaisir dans un jeu sérieux, nous devons nous questionner sur l'intention principale de l'artefact pédagogique. Ce n'est pas parce qu'un exercice n'est pas populaire que nous devons cesser de l'utiliser, surtout s'il est efficace.

À présent, nous devons nous interroger sur la légitimité des résultats de notre étude et de notre interprétation, et nous poser la question suivante : peut-on généraliser ce que nous avons observé ?

5.2.6 Généralisation

Nous avons choisi d'étudier à travers une étude de cas multiple, les conséquences de l'utilisation du jeu « Mission Zebran » sur des élèves rencontrant des difficultés d'apprentissage en lecture. L'étude a été réalisée en période estivale avec l'aide d'un ou des parents. Selon McTigue et Uppstad (2018), il est essentiel que les élèves aient une interaction avec un adulte pour profiter des bienfaits d'un jeu vidéo pédagogique, l'adulte n'a pas besoin d'être l'enseignant. Un parent pourrait suivre les progrès de son enfant et fournir une aide technique (McTigue et Uppstad, 2018). Le but de la recherche est de parfaire nos connaissances sur les retombées possibles, mais également les défis et les risques qui sont associés à l'utilisation d'outils numérique pédagogique chez de jeunes enfants.

Selon plusieurs scientifiques, seules les méthodes quantitatives permettent d'arriver à des lois générales. Evans (2002) souligne que la déduction est fondée sur l'argumentation logique, entre autres, le raisonnement syllogisme d'Aristote, qui indique que deux prémisses vraies conduisent à une conclusion vraie. Même si les résultats d'une étude de cas multiple comme la nôtre ne peuvent être une garantie incontestable, certains chercheurs, dont Moriceau (2019), mentionnent que les études qualitatives ne sont pas seulement explicatives ou exploratoires, mais bien généralisables. Comme le fait remarquer David (2003), une étude de cas permet la généralisation si la question est rédigée adéquatement. De plus, Yin (2018) mentionne qu'il est possible de généraliser les résultats d'une étude de cas par la généralisation analytique.

La généralisation analytique permet de comprendre le pourquoi et le comment et d'apporter des éléments de réponse à une hypothèse de recherche (Yin, 2018). Il est important d'observer également que les résultats de l'étude peuvent être comparés à une théorie existante qui prétend être générale. Pour Yin, il faut donc avoir une théorie démontrée au départ et, si les résultats de l'étude appuient cette théorie, alors ils peuvent être généralisables. En revanche, comme l'indique Moriceau (2019), des résultats contraires pourraient contribuer à élaborer une théorie alternative ou à préciser certaines limites de la théorie d'origine. Moriceau poursuit en élaborant des scénarios qui permettraient d'établir une nouvelle théorie. Selon Moriceau, construire une nouvelle théorie à partir d'une inférence inductive, requiert de recueillir des données de plusieurs cas, entre autres dans le but de reproduire les résultats obtenus.

Avant tout, il est important de souligner qu'une théorie n'est pas une vérité absolue, mais une création humaine qui peut être modifiée ou remplacée si de nouvelles données ou de nouveaux arguments s'y opposent (David, 2003 ; Yin, 2018). Sans oublier qu'une proposition théorique peut représenter des questions clés pour de futures recherches (Yin, 2018).

Au départ, nous nous sommes appuyés sur plusieurs études qui soutenaient que le jeu vidéo sérieux éducatif améliore les capacités cognitives des élèves et le transfert de connaissance. De plus, le jeu vidéo éducatif est un type d'apprentissage dit actif et reconnu plus efficace qu'une méthode passive (Argenton *et al.*, 2015 ; Case, 2013 ; Chang *et al.*, 2021 ; Gee, 2005 ; Sauvé, 2010). D'ailleurs, le jeu vidéo sérieux permet d'améliorer le comportement des élèves, entre autres sur la motivation et la persévérance (Argenton *et al.*, 2015 ; Dale *et al.*, 2020 ; Göbel et Wendel, 2016 ; Sauvé, 2010).

De même, plusieurs recherches démontrent que le JVA améliore la motivation, l'attention et la vitesse de lecture de jeunes enfants rencontrant des difficultés en lectures (Blaesius et Fleck, 2015 ; Franceschini *et al.*, 2013 ; Green et Bavelier, 2012 ; Pasqualotto *et al.*, 2022 ; Rello *et al.*, 2015). En bref, nous comparons les résultats de notre étude avec deux théories du domaine du jeu vidéo :

- la première théorie fait le constat que le jeu vidéo sérieux améliore les capacités cognitives des élèves et le transfert de connaissances tout en augmentant la motivation intrinsèque et la persévérance ;
- la deuxième théorie affirme que le JVA améliore la motivation, l'attention et la vitesse de lecture de jeunes enfants rencontrant des difficultés en lectures.

Les éléments convergents de l'étude avec les théories actuelles sont que le jeu « Mission Zebran » favorise le transfert de connaissance, en réduisant les erreurs commises lors de la lecture et en augmentant la vitesse de lecture des sujets, figure 5.26. L'augmentation de la vitesse en lecture est un élément important pour évaluer l'amélioration de la compréhension d'un texte (Gala, 2015).

5.2.6.1 Mais pourquoi la vitesse de lecture augmente-t-elle ?

Selon les données analysées, la vitesse de lecture augmente parce que les sujets évitent de commettre des erreurs de lecture avec les syllabes et les mots fréquents, qu'ils ont mémorisés, en faisant usage de l'artefact. Notamment, avec les mots : dans, est, la et monsieur. Ainsi qu'avec les mots qui incluent les syllabes : en, mon et tue. Toutefois, les mots vieux et vieille qui ne figurent pas dans la liste des exercices des UA du jeu, demeurent problématiques à décoder pour les deux sujets.

Rappelons brièvement que selon les résultats des tests calibrés, les sujets de l'étude démontrent des symptômes de dyslexie et un déficit d'attention. La dyslexie représente un déficit de la conscience phonologique, c'est-à-dire la difficulté dans l'apprentissage de la reconnaissance graphème-phonème (Billard et Delteil-Pinton, 2010). À cet égard, les sujets sélectionnés pour notre étude ont des compétences phonologiques réduites, c'est-à-dire des capacités à reconnaître les graphèmes et les phonèmes limités. En ce qui a trait à la mémoire lexicale, nos observations ne dénotent aucun signe de faiblesse, les facultés des sujets semblent être inaltérées.

Convergence des résultats lors de l'interprétation des résultats

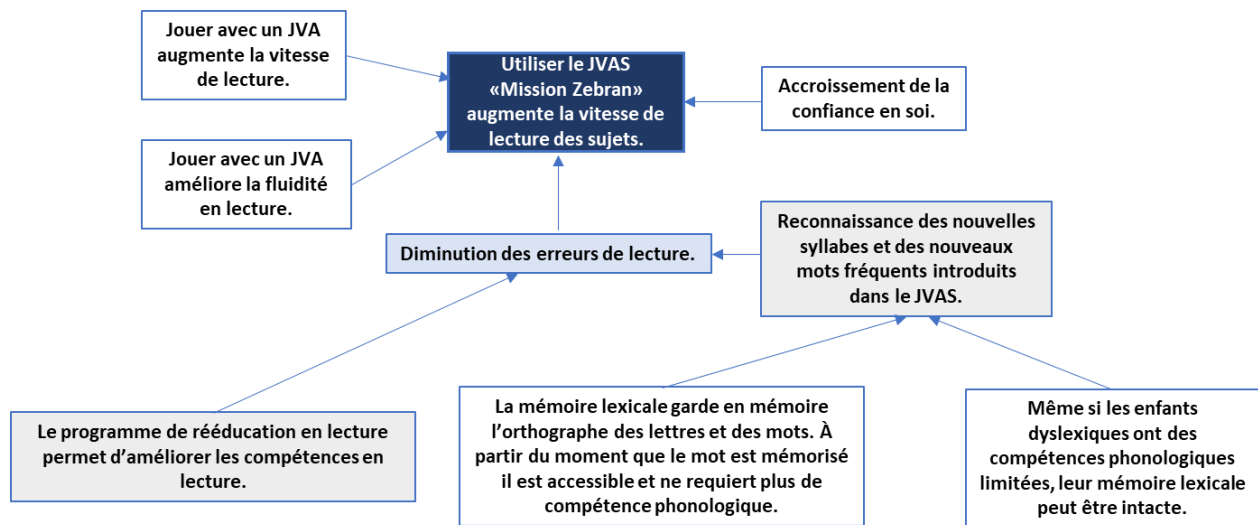


Figure 5.26 : Éléments convergents de l'étude inspirée de Yin (2018, p. 129).

5.2.6.2 Comment et par quel moyen le JVAS améliore-t-il la mémoire lexicale des sujets ?

À cette étape, il nous semble important de revenir sur le modèle d'acquisition de la lecture d'Uta Frith (1985). Selon Frith, pour lire un texte, l'enfant doit apprendre le principe alphabétique de sa langue d'apprentissage, ce qui signifie qu'une lettre isolée ou un groupe de lettres correspond à un son. Cette phase est nécessaire puisqu'elle permet à l'enfant de séparer les mots en plus petites unités, lettre, graphème, syllabe. Ensuite, l'enfant fait correspondre à chaque unité le son correspondant et les regroupe pour finir l'assemblage du mot. Cette phase est également appelée le décodage ou le déchiffrage (Frith, 1985). Frith souligne qu'après avoir décodé à plusieurs reprises le même mot, il s'enracine dans la mémoire lexicale. Lefebvre (2016) ajoute que la répétition augmente le transfert de compétence de la lecture. L'utilisation de la mémoire lexicale permet de lire le mot de manière globale. Il est plus facile de se rappeler de mots fréquents ainsi que des mots semblables, entre autres qui n'ont qu'une lettre différente, par exemple mis et mit (Dehaene, 2008). En revanche, quand il y a un écart entre les associations graphème-phonème, ou l'inverse, la vitesse de la lecture régresse (Dehaene, 2008).

Catach (1995) fait remarquer les multiples variantes et particularités de la langue française pour expliquer les difficultés en lecture. En effet, le français est une langue contenant beaucoup d'exceptions et d'irrégularités, par exemple un phonème peut correspondre à plusieurs graphèmes, mer, maire ou mère, ce qui complique son décodage. Le transfert de connaissances se réalise de multiple manière à travers des processus cognitifs, perception, apprentissage, raisonnement, mémoire, expérience, création et échange (Cheruet, 2009). Il est essentiel d'utiliser les théories d'apprentissage les mieux adaptées au transfert de connaissance recherchée et de l'intégrer harmonieusement dans les mécanismes du jeu.

Le JVAS « Mission Zebran » est conçu pour des élèves âgés de 6 à 8 ans. Comme l'indiquent Boyadjian et Zogheib (2011), les premières années du primaire sont les plus propices pour l'apprentissage de la lecture. Le jeu fait usage de la répétition dans chacune des deux missions du jeu. La répétition améliore les habiletés et la rétention des acquis. De plus, comme le mentionne Myre-Bisaillon (2004), les exercices de rééducation en lecture du programme *WIST*, qui sont intégrés dans les UA du JVAS, ont démontré leurs efficacités pour l'amélioration des compétences en lecture d'élèves dyslexiques. Il importe de souligner également que l'on doit faire usage que du renforcement positif durant la rétroaction, puisque lui seul apporte un sentiment de bien-être et de satisfaction (Kozanatis, 2005).

Lors de la scène départ, la directrice Claire présente au joueur-apprenant une liste de cinq mots fréquents différents par session de jeu. Le joueur-apprenant entend et voit les cinq mots fréquents un à la suite de l'autre. Par la suite, lors de la mission instruction le sujet doit pêcher avec l'aide de Bob le robot sur son navire, les ballons qui indiquent le mot fréquent qu'il entend. Chaque mot revient à deux reprises. L'automatisation de la lecture est importante et demande de décoder chaque mot avec succès à plusieurs reprises avant de l'intégrer dans son lexique orthographique (Lefebvre, 2016). Le JVAS traite l'information à travers deux canaux, celui de l'audition et celui du visuel. L'utilisation en même temps de ces deux canaux améliore la faculté de la mémoire de travail (Moreno et Mayer 2007).

Lors de la mission principale, nous intégrons progressivement, trois stratégies inspirées de l'adaptation française du programme en rééducation pour les élèves dyslexiques *WIST* (Myre-Bisaillon, 2004). Les trois stratégies dont nous faisons usage sont : l'identification par analogie, l'identification par repérage et l'identification par pelage de mot (Myre-Bisaillon, 2004). Le joueur-apprenant doit identifier les pierres avec le mot qui correspond à la consigne de l'exercice qu'il entend.

Selon Myre-Bisaillon (2004), les programmes de rééducation sont fondés sur une démarche cognitive. Cette démarche estime le niveau de compétence des enfants dyslexiques selon un modèle cognitiviste du codage des données et fait usage de nombreux types d'exercice. Les exercices sont fondés sur la fusion, la segmentation, le transfert, la répétition des mots, l'identification par analogie, l'élimination des affixes et le repérage des parties fréquentes qui composent les mots (Myre-Bisaillon, 2004). Ensuite, on mesure les compétences en lecture des enfants durant son parcours rééducationnel avec des tests de lecture étalonnés.

Pour Stanké et Lefebvre (2016), un programme de rééducation qui fait usage d'une méthode compensatoire permet d'améliorer les compétences en lecture des enfants. De même, Stanké et Lefebvre soulignent les avantages sur les compétences en lecture d'un programme de rééducation orthophonique qui se concentre sur la segmentation et la fusion. Or comme l'indique Billard (2016), il faut adapter le programme de rééducation à la réalité de l'enfant et il doit avoir comme objectif d'améliorer la conscience phonologique et la vitesse de lecture. Étant donné que la vitesse de lecture des enfants qui souffrent d'une dyslexie est lente, il est avantageux de favoriser la lecture par des activités compensatoires, notamment en favorisant les connaissances morphologiques de l'enfant, par exemple les groupes de mots usuels, **sou**, **absoudre** et **soudure** (Billard, 2016).

Il importe de souligner la présence dans le JVAS « Mission Zebran » de plusieurs éléments de rétroaction positive, dans le but de stimuler la motivation des sujets. De même que des périodes de réflexions pour soutenir les mécanismes métacognitifs, c'est-à-dire comprendre comment on apprend, puisque le jeu favorise les stratégies métacognitives (Sauvé, 2010). Le principal avantage des exercices métacognitifs est de sensibiliser les élèves dyslexiques à développer des stratégies d'apprentissage puisque leur handicap est permanent (Romainville, 2007).

Robert (2018), fait remarquer que les stratégies mnésiques et la métacognition débutent à l'âge de six ans et la révision mentale vers l'âge de sept ans. De plus, Boyadjian et Zogheib (2011) indiquent l'importance pour l'enfant d'être un acteur, de comprendre sa situation et d'avoir un certain contrôle sur ses difficultés. Cette prise de conscience est bénéfique, puisqu'il peut désormais agir pour améliorer sa situation.

Outre ce qui a été mentionné plus haut, nous avons identifié des éléments divergents avec les deux théories du domaine, lors de l'interprétation des résultats. Les éléments discordants sont exposés par théorie :

- selon la deuxième théorie, utiliser un JVA améliore l'attention. Or lors de l'analyse des résultats de l'étude, nous ne pouvons corroborer cette assertion. Néanmoins il est probable qu'un test de dénomination rapide ne soit pas indiqué pour déterminer un changement du niveau d'attention d'un élève ;
- selon les deux théories, jouer avec un jeu vidéo sérieux améliore la motivation intrinsèque et l'engagement des apprenants. De notre côté, les résultats sont mitigés puisque le niveau de motivation des sujets a varié durant l'expérimentation et même a eu tendance à se dégrader. L'apport d'une récompense a été nécessaire pour que les sujets finalisent les seize sessions de jeu ;
- selon la deuxième théorie, le JVA ne réduit pas le nombre d'erreurs commises lors de la lecture d'un texte. Or l'usage du jeu « Mission Zebran » a permis de diminuer significativement le nombre d'erreurs de lecture des deux sujets. Nous déduisons que l'ajout de la dimension sérieuse a une incidence positive sur les erreurs de lecture.

Les résultats de l'étude sont prometteurs et permettent de confirmer la pertinence pédagogique des JVAS par rapport aux deux théories. D'un autre côté, les données recueillies et interprétées n'appuient pas un certain nombre de positions évoquées dans les théories; en outre, les jeux sérieux améliorent la concentration et la motivation intrinsèque des sujets. En revanche, l'étude permet d'apporter des éléments de réponses qui permettent d'améliorer la motivation des élèves durant le parcours d'un jeu sérieux.

5.3 Contribution aux domaines de connaissances

Notre proposition de recherche est originale et contribue à l'avancement des connaissances, puisqu'elle offre de valider, si une dimension sérieuse personnalisée à l'élève dans un JVA en 3D influence positivement la fluidité en lecture d'enfant tout en conservant la motivation. Le projet s'inspire des résultats de recherches qui ont démontré les avantages des JVA en 3D, notamment sur l'accroissement de la vitesse de lecture et l'amélioration de la concentration et sur le maintien de la motivation des élèves dyslexiques (Franceschini *et al.*, 2013; Green et Bavelier, 2012), ainsi que sur les recherches en rééducation de la lecture pour les enfants dyslexiques (Lovett *et al.*, 2000; Myre-Bisaillon, 2004, 2009).

Il est important de rappeler que le but de l'étude est d'approfondir nos connaissances et d'énoncer des lignes directrices en appui au développement de futurs projets de recherche, impliquant la conception de logiciels personnalisés favorisant l'apprentissage de la lecture auprès de jeunes enfants, qui présentent des symptômes reliés à la dyslexie et un déficit d'attention. En ce qui nous concerne, un tel outil pédagogique pourrait être une alternative intéressante pour les éducateurs et les parents aux prises avec un enfant qui expérimentent des difficultés en lecture, et qui n'ont pas accès à des ressources spécialisées en éducation.

Quant à nous, l'analyse et l'interprétation des données de l'étude, justifie un certain nombre de recommandations à l'égard de la conception et de l'utilisation de JVAS dédié aux jeunes enfants ;

- lors de la première rencontre, les sujets nous ont informés qu'ils n'étaient pas familiers avec les touches d'un clavier d'ordinateur et la manipulation de la souris. Moreno et Mayer (2007) soulignent l'importance de tenir compte de la capacité d'apprentissage du public cible, ainsi que de la charge cognitive du média. Dans le but d'optimiser la capacité de la mémoire des sujets et l'intégration de nouvelles connaissances, nous avons procédé à une formation en ligne, préexpérimentation. La formation a eu des effets bénéfiques. Nous suggérons d'inclure au départ une formation appropriée ;
- les commentaires et recommandations des experts du domaine lors de la création du prototype du jeu nous ont permis d'améliorer les paramètres du logiciel, notamment vis-à-vis l'intégration des exercices dans les UA, et en ce qui concerne l'ergonomie du jeu. Partant de ce fait, nous croyons qu'il est essentiel pour les concepteurs d'artefact pédagogique de collaborer tôt avec des experts du domaine, et d'incorporer les théories d'apprentissages les mieux adaptées au domaine de connaissance. Comme le font remarquer Lämsä *et al.* (2018), une approche qui permet l'intégration des parties prenantes lors de la création d'un jeu vidéo éducatif, améliore son efficacité ;
- les données qualitatives démontrent que certains personnages et paramètres du jeu ne sont pas optimaux pour le public cible. De plus, comme Göbel *et al.* (2016) le mentionnent, les concepteurs de jeux sérieux doivent tenir compte des préférences des joueurs, que ce soit pour le jeu que pour l'apprentissage. À la lumière de ce qui précède, nous recommandons aux concepteurs de jeu d'impliquer plusieurs membres du public cible lors de la construction du prototype du jeu. Et d'intégrer les modifications issues des commentaires des participants, avant d'entreprendre la phase finale de l'élaboration de l'objet pédagogique ;
- le système d'inférence inductive intégré dans l'artefact a procédé avec succès à tous les diagnostics cognitifs. Nous considérons que l'utilisation du modèle *PDKT-C* simplifié que nous avons développé et incorporé dans le jeu « Mission Zebran » est adéquate pour la personnalisation et l'adaptation de logiciel pédagogique ;

- sans les traces capturées durant les sessions de jeu, nous n’aurions pas pu réagir rapidement et prévenir l’abandon des sujets. Selon nous, l’utilisation d’une base de données qui permet l’enregistrement et l’extraction des traces du jeu est indispensable pour le suivi motivationnel et l’évaluation du parcours éducationnel des sujets ;
- selon plusieurs études, le jeu sérieux éducatif influe positivement sur la motivation et l’éveil d’apprendre (Bovermann *et al.*, 2018 ; Göbel et Wendel, 2016 ; Khaleghi *et al.*, 2022 ; Lämsä *et al.*, 2018). Or le résultat de notre étude ne permet pas d’appuyer cette affirmation. Probablement, comme le fait remarquer Lavigne (2012), d’absorber de nouvelles connaissances tout en s’amusant demeure un défi important. De plus, McTigue et Uppstad (2018) ajoutent que les élèves du primaire qui font usage d’un jeu sérieux éducatif ont tendance à avoir une motivation et une persévérance moins élevées qu’avec un jeu vidéo commercial. La principale explication selon les auteurs est que l’objectif d’un jeu vidéo sérieux est l’apprentissage et non le plaisir de jouer. Nous sommes d’avis qu’il est de propos de sensibiliser les élèves sur la raison d’être principal du jeu sérieux, c’est-à-dire le transfert de compétences ;
- le soutien joue également un rôle considérable dans l’environnement d’apprentissage par le jeu. Comme nous l’avons mentionné antérieurement, sans la présence des parents les sujets n’auraient pas complété les sessions de jeu. Nous constatons que le soutien des parents est essentiel dans le parcours rééducationnel de l’enfant. De plus, McTigue et Uppstad (2018) recommandent que les jeunes élèves soient accompagnés d’un adulte pour tirer profit pleinement des jeux sérieux. D’ailleurs, un parent peut suivre l’évolution de son enfant et lui apporter une assistance technique.

En définitive, notre étude contribue à l’accroissement des connaissances dans le domaine du jeu sérieux. Elle apporte une réponse originale en soutien au développement de futurs projets de recherche, qui s’engagent dans la conception et l’évaluation de logiciels personnalisés favorisant l’apprentissage de la lecture auprès de jeunes enfants. Comme rien n’est parfait, et que notre projet de recherche ne fait pas exception. Nous présentons les limites de l’étude dans la section 5.4.

5.4 Limites de l’étude

Étant donné que toute étude comporte ses limites et que la nôtre ne fait pas exception, nous allons dans un premier lieu, décrire chaque limite observée, et par la suite expliquer les mécanismes que nous avons mis en place pour minimiser leur impact.

La première limite de notre étude, demeure les ressources financières et humaines disponibles pour la conception de l'artefact pédagogique, qui permet de soutenir ou non, nos hypothèses de départ. Comme nous l'avons mentionné à la section 2.5, la création d'un JVA en 3D éducatif est complexe à réaliser, puisqu'il requiert du personnel qui possède une diversité de compétences lors de son élaboration. Notre cadre conceptuel démontre également les difficultés, mais aussi les avantages de concilier les connaissances de divers domaines scientifiques. Concrètement notre budget est relativement restreint, par rapport à l'ensemble des tâches à réaliser pour la conception d'un JVAS, qui respecte les normes actuelles. Toutefois, avec l'appui de la direction de l'étude, nous avons eu la chance de collaborer avec un programmeur d'expérience qui s'est révélé un actif essentiel à la réussite du projet. De plus, nous avons suivi plusieurs formations en ligne, entre autres sur l'utilisation du moteur de jeu « *Unity* », et sur le logiciel de modélisation et d'animation 3D en libre accès « *Blender* ». Nous nous sommes familiarisés également avec de multiples outils précieux pour la création d'artefacts pédagogiques, dont le logiciel « *Mixamo* » d'Adobe pour l'animation de personnages en 3D, et le multiéditeur « G-MOT » développé par l'université TÉLUQ. Avec la contribution des logiciels et des nouvelles compétences, il nous a été possible de créer un JVAS pour l'évaluation des compétences en lecture qui tient compte des théories actuelles. Toutefois, l'apport de ressources spécialisées aurait sans doute permis de développer un artefact mieux aligné sur les compétences et les goûts de notre public cible. De plus, le temps de conception s'est révélé plus long que prévu. En effet, il nous a fallu dix-huit mois pour réaliser l'artefact. À cet égard, le temps nécessaire à la conception du jeu « *Mission Zebran* » ne semble pas être hors normes. D'ailleurs, dans l'étude récente de Pasqualotto *et al.* (2022), le développement du logiciel pédagogique « *Skies Of Manawak* » a requis deux années de travail à une équipe multidisciplinaire.

La deuxième limite de notre étude concerne la validité des résultats de l'expérimentation. Les données recueillies sont fondées sur deux participants. Évidemment, la représentativité de l'échantillon n'autorise pas la généralisation statistique. De même, notre étude comme celle d'Alexander (1991) et celle de Myre-Bisaillon (2004, 2009) ne comporte pas non plus de groupe témoin, ce qui implique que nous ne pouvons pas comparer les résultats. Rappelons qu'un groupe témoin est un ensemble de sujets séparés qui ne sont pas exposés à la variable indépendante. Sans groupe témoin, les résultats sont moins fiables. Toutefois, comme le mentionne Yin (2018), il est possible par une étude de cas multiple, de corroborer ou même d'apporter des éléments qui font avancer les concepts théoriques, qui sont énoncés dans les études antérieures, et ainsi dégager des tendances. Entre autres, en utilisant la technique de triangulation des données.

La troisième limite que nous avons identifiée est reliée aux biais possibles du chercheur, des parents et des sujets qui ont participé à la recherche, mais aussi de la méthodologie déployée lors de l'expérimentation. Dans une étude de cas multiple comme la nôtre, il est judicieux de s'interroger sur l'implication d'éléments humains et méthodologiques qui ont le potentiel d'influencer le compte rendu de l'étude. L'étude de cas multiple est une méthode de recherche qualitative qui s'intéresse à comprendre une problématique spécifique en profondeur (Yin, 2018). Or, une étude de cas multiple comme toute recherche scientifique est propice aux développements de biais. Notamment lors de la sélection des sujets, au cours des observations, au moment de recueillir les affirmations et lors de la rédaction du compte rendu de l'étude. Dans le but de minimiser les risques de biais, nous avons mis en place un certain nombre de mesures :

- en premier lieu, nous avons explicité le plus clairement possible les hypothèses de départ, ainsi que le but et les objectifs recherchés ;
- en deuxième lieu, nous avons suivi un processus rigoureux pour la sélection des sujets de l'étude. Les critères pour la sélection des cas étaient clairs. Les cas devaient être liés directement au thème principal de l'étude et apporter des éléments de réponses à la question de recherche. Pour parvenir à un tel résultat, nous avons utilisé un test de dénomination rapide et un test de lecture balisé, qui sont reconnus quant à leurs efficacités pour identifier les élèves rencontrant des difficultés en lecture ;
- une multitude de sources de données ont été employées lors de l'interprétation des résultats. De plus, comme nous l'avons mentionné antérieurement, nous recourons à la triangulation des données pour renforcer la cohérence des faits observés ;
- nous demeurons toutefois critiques sur notre propre rôle lors de la collecte d'informations. Il aurait été approprié que cette tâche soit effectuée par une personne qui est à l'extérieur de notre équipe. Cependant, la transparence de l'étude permet de reproduire la recherche et de corroborer ou non les résultats présentés.

La quatrième limite de notre étude est la durée réduite du parcours des sessions de jeu. Selon Myre-Bisaillon (2009), le nombre d'heures d'intervention en rééducation répertorié dans les études se situe entre sept et soixante-dix heures. Notre étude se positionne dans la limite inférieure, c'est-à-dire huit heures de jeu. À la lumière de ce qui précède, nous devrions nous attendre à constater des améliorations en lecture relativement bas. Or nos résultats sur l'amélioration de la vitesse de lecture et la diminution des erreurs commises sont tout à fait contraires.

5.5 Conclusion

Dans le chapitre, nous avons identifié les données significatives, celles qui apportent des éléments de réponse aux hypothèses de départ et à la question de la recherche. Par la suite, les données ont été traitées, analysées et interprétées. Nous avons brossé un tableau des résultats et leur avons attribué un sens. Enfin, nous décrivons les éléments de l'étude qui contribuent au domaine de connaissances et nous exposons les limites de l'étude. La prochaine section, celle de la conclusion, finalisera donc la rédaction de cette thèse.

CONCLUSION

À titre de conclusion, cette partie fait un résumé du travail de recherche décrit dans cette thèse. La conclusion se divise en trois sections. Dans la première section, nous présentons une synthèse globale du projet d'étude, nous rappelons brièvement la problématique, les hypothèses de départ et la question de recherche. Par la suite, nous brossons un tableau de la situation actuelle du domaine de connaissances des EIAH, notamment les jeux sérieux éducatifs. Enfin, nous présentons notre cadre théorique et conceptuel, notre démarche méthodologique, la contribution ainsi que les limites de l'étude. Dans la deuxième section, nous énonçons notre position, qui est fondée sur l'interprétation des données recueillies lors de l'expérimentation. Finalement, dans la troisième section, nous énumérons un certain nombre de perspectives pour de futures recherches qui permettront d'approfondir les connaissances du domaine.

SYNTHÈSE DU PROJET D'ÉTUDE

Lors de l'énoncé de la problématique, nous avons soulevé l'importance du décrochage scolaire et de ses conséquences humaines et financières. Il en ressort que les problèmes de lecture chez de jeunes élèves représentent un facteur de risque au décrochage scolaire. Qui plus est, plusieurs élèves qui éprouvent des difficultés d'apprentissage en lecture n'ont pas accès à des ressources spécialisées. Les ressources sont difficiles à obtenir et même inaccessibles dans certaines régions. Pourtant, comme nous l'avons mentionné antérieurement des méthodes éprouvées en rééducation sont offertes sur le marché et le fait d'avoir accès rapidement à un programme de rééducation en lecture améliore les chances de succès scolaire pour les enfants.

À la lumière de ce qui précède, le projet de recherche explore le potentiel des logiciels pédagogiques pour pallier le manque de ressources spécialisées en éducation. Premièrement, en créant un outil pédagogique numérique qui intègre un programme de rééducation de la lecture, et deuxièmement, en évaluant sa pertinence éducative en milieu naturel.

Avant d'aller plus loin, nous devons faire le point sur l'état des connaissances du domaine des logiciels pédagogiques. Les faits marquants de la revue de littérature soulignent que les EIAH et plus particulièrement les jeux sérieux éducatifs offrent plusieurs avantages en éducation, entre autres sur le transfert de connaissances et sur la motivation des apprenants. Néanmoins, l'artefact doit être conçu selon les règles de l'art et intégrer les mécanismes appropriés au domaine, c'est-à-dire ceux qui sont reconnus pour permettre le transfert de connaissances tout en conservant la motivation du joueur-apprenant. De plus, la conception d'un jeu sérieux éducatif doit être adaptée au public ciblé et personnalisée à l'apprenant. Or, bien que l'on constate les avantages de la personnalisation, celui-ci demeure complexe à réaliser et comporte des défis à surmonter, notamment d'avoir à notre disposition les ressources humaines et financières nécessaires à la bonne marche du projet.

Dans le but de concevoir un artefact de qualité, il est indispensable de s'appuyer sur des théories qui font consensus et des concepts démontrés. En ce qui nous concerne, pour la conception de l'artefact, nous nous sommes concentrés sur un certain nombre de concepts et de théories connus dans les domaines de la pédagogie, de la psychologie, de l'informatique, et de l'intelligence artificielle. Comme vous pouvez le constater, notre projet de recherche a l'avantage de combiner les connaissances de divers domaines scientifiques.

Ce qui a retenu notre attention, ce sont les théories de l'apprentissage constructiviste et cognitiviste ainsi que la métacognition qui favorisent le transfert de connaissances et de compétences. Nous devons insister sur le fait que les élèves vont construire leurs connaissances à travers une série d'expériences, et que l'acquisition de nouvelles connaissances se fera de manière structurée. De plus, les mécanismes sélectionnés lors de la conception du JVAS s'appuient sur les fonctions psychologiques qui impactent positivement la mémoire et la motivation. Nous avons vu plus haut, que la mémoire est la faculté d'acquérir de nouvelles informations, de les retenir et de les récupérer au besoin. Tandis que la motivation est un élément important qui influence la persévérance des apprenants. Du point de vue informatique, nous avons opté pour le modèle informatique *PDKT-C* proposé par Chen *et al.* (2018), qui permet le déploiement des niveaux d'exercices des UA. Finalement, le modèle d'intelligence artificielle qui sert d'engin d'inférence est un RNA de type réseau de neurones profond. Le RNA a été entraîné avec trois données d'entrées et effectue les diagnostics cognitifs de chaque sujet, aux différentes sessions d'évaluations, ce qui permet de personnaliser les paramètres éducatifs de l'artefact.

Après avoir conçu notre logiciel, nous devons définir notre méthodologie d'évaluation. Étant donné que l'étude se déroule au domicile des enfants, nous avons arrêté notre choix, à une étude de cas multiple. De plus, nous avons recueilli et analysé lors de l'expérience des données de types hybrides, c'est-à-dire quantitatives et qualitatives.

Nous avons sélectionné les sujets à travers les médias sociaux d'organismes éducatifs qui ont accepté notre demande de publication. Le processus de sélection s'est déroulé par étape. Premièrement, nous avons effectué une entrevue avec les parents et ensuite une autre avec les sujets. Nous devons insister sur le fait que les sujets étaient tenus de répondre aux critères énoncés plus haut, c'est-à-dire présenter des symptômes dyslexiques et un déficit d'attention. De plus, nous nous sommes assurés de choisir des élèves qui avaient terminé une première année scolaire et qui faisaient partie du groupe d'âge de notre public cible. Enfin, un test de lecture et un test de dénomination rapide ont été réalisés avec chaque élève. À partir des résultats des tests, nous avons pu sélectionner deux sujets, un garçon et une fille de sept ans.

L'expérimentation consistait à jouer à seize reprises avec le jeu « Mission Zebran », entre la fin juin et le début de septembre. Les sources de données se composent de renseignements de nature qualitative, entre autres les observations, les commentaires et les sondages. Ainsi que de données quantitatives, comme les traces du jeu et les résultats des tests. Dans un premier temps, nous avons identifié les données qui apportent des éléments de réponse aux hypothèses de départ et à la question de recherche. Ensuite, nous avons traité et analysé les données sélectionnées. En définitive, nous avons interprété l'ensemble des informations en tenant compte de notre cadre conceptuel et théorique. Partant des faits générés, nous avons validé les prémisses de nos hypothèses de départ et répondu à notre question de recherche.

Dans le chapitre résultats et discussion, nous mentionnons les éléments de la recherche qui contribuent à l'avancement des connaissances. Nous émettons également une liste de suggestions, dans le but de concevoir et d'intégrer d'une manière efficace, une composante sérieuse personnalisée dans un JVA en 3D. Enfin, le chapitre se termine par la description des limites de l'étude, entre autres sa validité, puisque les résultats de l'expérimentation sont fondés sur deux participants, et les possibles risquent de biais lors de la cueillette des données.

NOTRE POSITION

Cette étude a permis de constater que le jeu « Mission Zebran » qui intègre un programme en rééducation de la lecture améliore les compétences recherchées. Les résultats de l'expérimentation indiquent clairement que la vitesse de lecture s'est améliorée pour chaque sujet durant l'expérimentation. De plus, le nombre d'erreurs commises par les sujets lors du posttest de lecture a chuté de plus de cinquante pour cent par rapport au prétest. Ces deux mesures nous permettent de suivre l'évolution de l'apprentissage des nouvelles compétences en lecture de chaque sujet. Or, il en est tout autrement pour la motivation et l'attention. Puisque le niveau de motivation a varié durant le parcours et que les tests d'attention n'ont démontré aucun signe d'amélioration.

Avant tout, il nous semble important de revenir sur nos deux hypothèses de départ : premièrement, qu'il est possible de concevoir un outil pédagogique numérique efficace en intégrant une dimension sérieuse personnalisée à un JVA en 3D, tout en conservant la motivation de jeunes élèves qui présentent des symptômes liés à la dyslexie et un déficit d'attention. Deuxièmement, le JVAS permet d'améliorer les compétences en lecture de notre public cible lors d'un test calibré de lecture.

Il est maintenant clair pour nous que le postulat de la deuxième hypothèse est confirmé. À cet égard, la conclusion de notre étude est conforme avec les résultats des nombreux documents d'archives. En effet, lors de la revue de littérature nous avons remarqué que la majorité des études citées mentionnent que les jeux vidéo sérieux démontrent de nombreux avantages en éducation, notamment qu'ils sont efficaces pour améliorer les capacités cognitives des élèves et le transfert de connaissances (Alsawaier, 2018 ; Dewan *et al.*, 2019 ; Gupta et Sabitha, 2019 ; Molinari *et al.*, 2016 ; Xie *et al.*, 2019).

Toutefois, notre posture est plus nuancée en réponse à notre première hypothèse. Comme nous l'avons mentionné auparavant, la motivation des sujets a varié durant les sessions de jeu. Relativement à ce point, l'offre d'une compensation sous forme d'un abonnement à une revue de lecture a contrebalancé la démotivation des sujets. L'étude démontre également que lorsque le logiciel s'adresse à un jeune enfant, la supervision d'un adulte est primordiale. En ce qui nous concerne, nous estimons qu'il est possible de concevoir un logiciel éducatif efficace pour pallier un manque de ressources spécialisées en rééducation pour de jeunes élèves. À cet égard, il est temps d'aborder notre réponse à la question de recherche.

Notre question de recherche s'interroge sur l'approche à utiliser pour intégrer d'une manière efficace une composante sérieuse personnalisée pour l'amélioration des compétences en lecture d'élèves présentant des symptômes de dyslexie et un déficit d'attention dans un JVA en 3D, tout en conservant la motivation des enfants dans un contexte d'apprentissage en milieu naturel.

En premier lieu, il est important de souligner que nous encourageons le développement de jeux vidéo sérieux, notamment dans le contexte actuel de pénurie de main-d'œuvre. Toutefois, pour que l'objet soit efficace, sa création doit respecter un certain nombre de règles. Entre autres, il doit être adapté au public cible et au domaine de connaissance, personnalisé à l'apprenant et bien entendu amusant. L'adaptation au public cible présuppose de tenir compte des goûts et préférences des participants, mais également comme l'indiquent Green et Bavelier (2012), d'éliminer tous contenus non appropriés, comme les éléments de violence et de sexisme. D'ailleurs, avant d'introduire un nouvel outil pédagogique, la vigilance est de mise, étant donné la vulnérabilité des élèves.

Revenons sur les deux éléments déterminants de la question de recherche, c'est-à-dire la personnalisation du jeu et la motivation. La personnalisation comme nous avons vu plus haut, est inspirée du modèle *PDKT-C* que propose Chen *et al.* (2018). Le modèle *PDKT-C* a l'avantage de produire des prédictions de haute qualité, et propose une méthode pour ordonner les niveaux de connaissances. Cette étude met en évidence non seulement la précision du diagnostic d'un moteur d'inférence fondée sur un RNA, mais aussi sa simplicité. De plus, les résultats de l'étude ont confirmé que le transfert de connaissances espéré est réalisé. Partant de ce fait, nous recommandons son utilisation dans le développement de nouveaux artefacts éducatifs.

En ce qui concerne le niveau de motivation, elle n'est pas constante et même diminue durant l'expérimentation. Il ne faut pas oublier, comme l'indiquent El Kah et Lakhouaja (2018), que les exercices de lecture sont répétitifs et monotones pour les élèves. Dans un tel contexte, nous considérons que l'ajout d'une récompense demeure une option intéressante, entre autres pour inciter les enfants à terminer un parcours en rééducation.

SUGGESTION POUR DE NOUVELLES ÉTUDES

Le domaine des jeux sérieux est relativement récent, et l'intégration de modules pédagogiques dans des jeux vidéo, encore plus. Vu la complexité, le temps et les ressources nécessaires au développement et à la conception de logiciels pédagogiques, il serait intéressant que de futures recherches s'intéressent au développement d'une plateforme qui permettrait aux enseignants d'adapter les éléments du module pédagogique selon le domaine de connaissances. La possibilité de modifier les paramètres du jeu dans le but de l'adapter à un autre domaine de connaissances, permettrait de réduire les coûts associés, et par le fait même accélérerait son intégration dans le milieu scolaire.

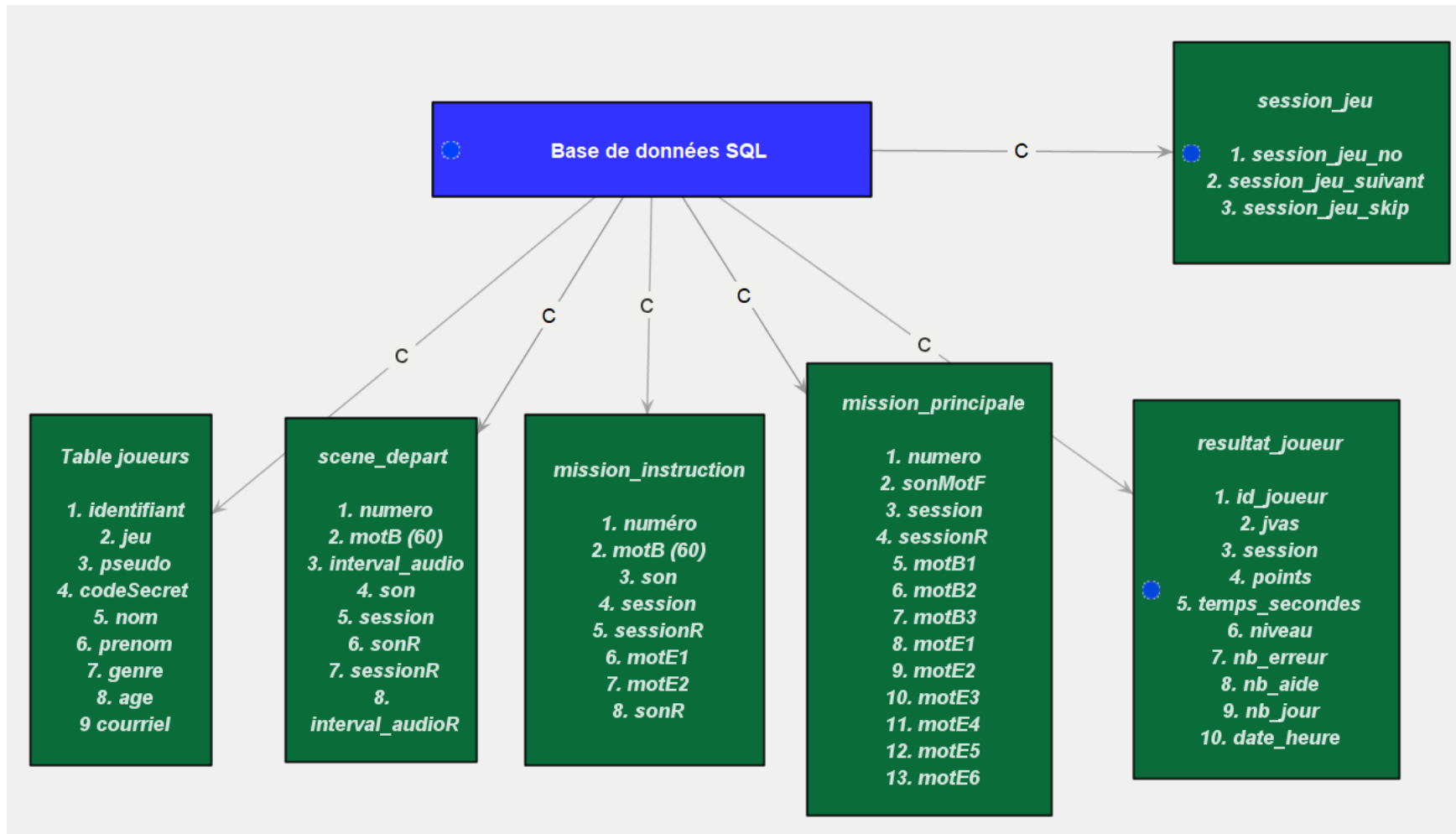
Un autre axe d'étude qui nous semble de première nécessité est l'identification des traces numériques observables et représentatives des émotions. Particulièrement, quand l'expérimentation se fait à distance, et non dans un laboratoire. Schrader *et al.* (2017) mentionnent que l'amélioration de la motivation passe par le repérage des actions et réactions, ainsi que des composantes qui indiquent un changement dans les émotions. Or, les multiples facteurs qui influencent la persévérance des élèves compliquent la tâche des chercheurs à trouver des solutions efficaces. De plus, sans l'utilisation d'équipement spécialisé, notamment pour capter les expressions faciales, le mouvement des yeux, la posture et les gestes, il est difficile de reconnaître un signe avant-coureur, puisque les traces numériques usuelles ne permettent pas de suivre l'évolution à distance de la motivation des participants. Les recherches dans le domaine des traces numériques pour détecter les signes de démotivation pourraient s'avérer des plus utiles.

ANNEXE A

Plan de gestion des risques

										Mise à jour 15/02/2023	
Risque #	Description des risques	Impact avant les mesures d'atténuation				Planification des réponses aux risques	Impact après les mesures d'atténuation			Responsable	
		Type d'impact	Probabilité d'occurrence	Impact	Priorité		Probabilité d'occurrence	Impact	Priorité		
			1 – Aucun	1 – Aucun		Accepter	1 – Aucun	1 – Aucun			
		Envergure	2 – Faible	2 – Léger		Éviter	2 – Faible	2 – Léger			
		Coût	3 – Modéré	3 – Modéré	(Probabilité X impacts)	Minimiser – probabilité	3 – Modéré	3 – Modéré	(Probabilité X impacts)		
		Temps	4 – Haut	4 – Important		Minimiser – impact	4 – Haut	4 – Important			
		Ressources	5 – Certain	5 – Dévastateur		Minimiser – dévier	5 – Certain	5 – Dévastateur			
1	La résistance aux changements des tuteurs	Ressources	4	4	16	Minimiser – probabilité	Impliquer un groupe de tuteurs lors d'une présentation de départ. Communiquer régulièrement avec eux avant et pendant l'expérimentation.	2	3	6	PM/O
2	La résistance aux changements des organismes.	Ressources	4	4	16	Minimiser – probabilité	Présentation du projet aux organismes. Impliquer les ressources des organismes intéressés par l'expérimentation. Communiquer régulièrement avec eux avant et pendant l'expérimentation.	2	3	6	PM/O
3	Certaines régions ne disposent pas de connexion Internet fixe haut débit de qualité et d'équipements informatiques adéquats.	Envergure	4	4	16	Minimiser – dévier	Les élèves sélectionnées pour l'expérimentation devront avoir accès aux équipements minimum spécifiés. Le jeu sera compatible avec un ordinateur avec les plateformes Windows et Apple.	2	2	4	PM/O
4	Difficultés techniques ou erreurs propres à la programmation des bases de données. Programmation du moteur d'inférence et connexion des interfaces pour l'adaptabilité et la personnalisation du JVAS.	Coût	4	4	16	Minimiser – probabilité	Nous allons identifier les ressources nécessaires à la réalisation. Nous allons faire des essais avec les élèves qui font partie de l'équipe projet, les modifications tiendront compte des commentaires des élèves.	2	2	4	PM
5	Aucun budget n'est accordé pour le projet.	Coût	4	2	8	Minimiser – impact	Minimiser l'ensemble des coûts nécessaire à la réalisation. Impliquer davantage le doctorant dans la conception du logiciel. Demander du support à la direction de recherche.	2	2	4	PM
6	Certains membres du personnel internes ne sont plus libres lors de la réalisation du projet.	Temps	4	3	12	Minimiser – probabilité	Nous pouvons grandement minimiser ce risque lors de la planification. Nous allons rencontrer tous les membres de l'équipe pour avoir leurs approbations. Nous allons nous assurer de réduire au minimum le temps d'utilisation des ressources et si possible identifier un remplaçant avec une expérience similaire.	2	3	6	PM/E
Responsable											
O Organismes associés											
PM Directeur de projet (doctorant)											
E L'équipe projet											

ANNEXE B
Base de données SQL



ANNEXE C
Certificat d'éthique



CERTIFICAT D'ÉTHIQUE

2023-01

Le comité d'éthique de la recherche de la Téléq certifie avoir
examiné la proposition de recherche soumise par

François Lewis

Intitulée

**Pertinence de l'ajout d'une composante
sérieuse personnalisée à un jeu vidéo d'action
dédié à la rééducation en lecture d'élèves ayant
des difficultés d'apprentissage**

et avoir conclu que la recherche proposée est entièrement conforme aux
normes d'éthique en recherche selon la *Politique d'éthique de la
recherche avec les êtres humains*.

Valide jusqu'au 9 janvier 2024

2023-01-09

Date

François Pichette
Président

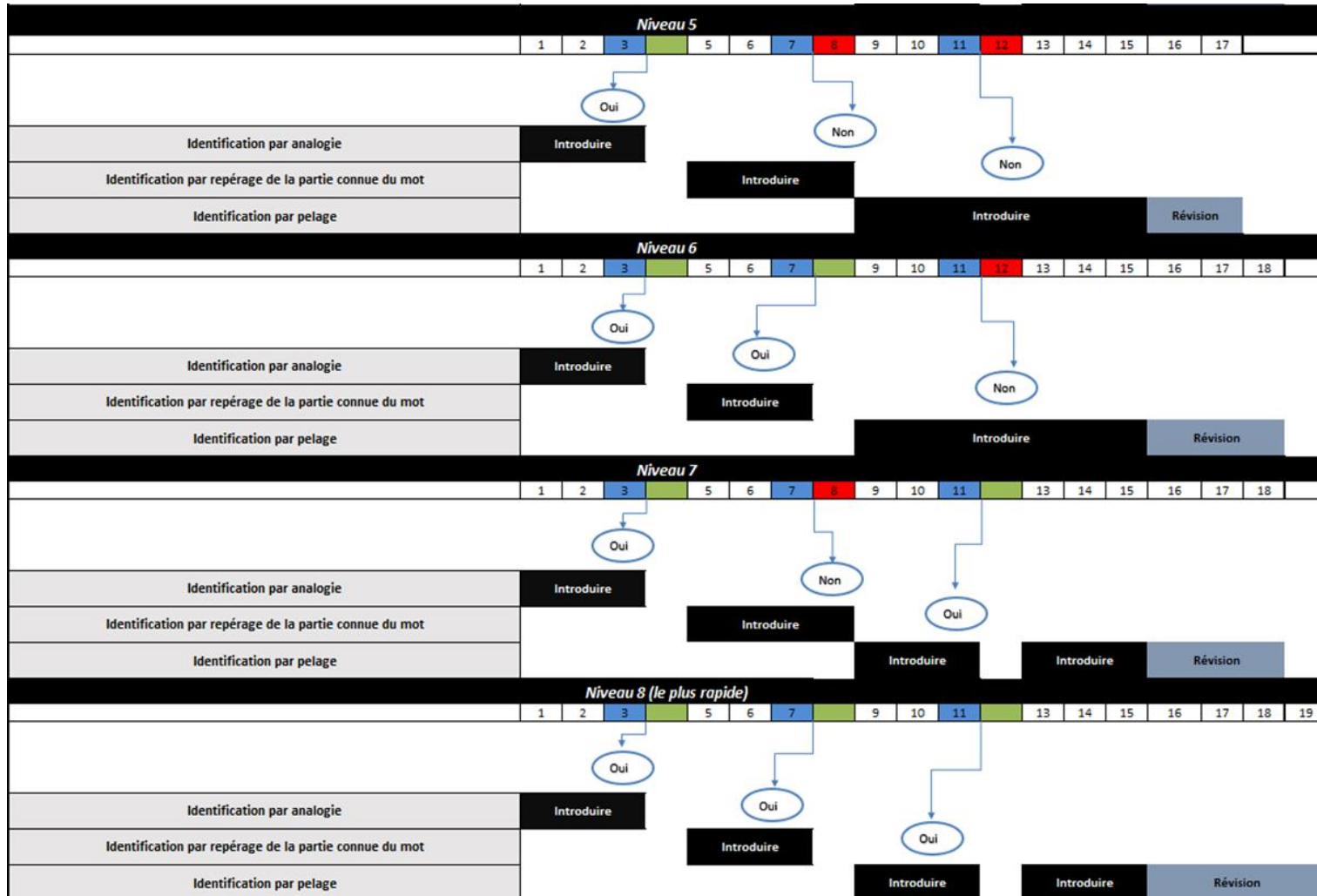
ANNEXE D

Niveau des exercices des UA 1-4

Liste des parcours d'exercices de la mission principale																		
Niveau 1 (le plus lent)																		
Diagnostic cognitif / Sessions de révision	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Identification par analogie			Introduire	Non				Non				Non						
Identification par repérage de la partie connue du mot					Introduire							Non						
Identification par pelage											Introduire					Révision		
Niveau 2																		
Diagnostic cognitif / Sessions de révision	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Identification par analogie			Introduire	Non			Oui					Non						
Identification par repérage de la partie connue du mot					Introduire													
Identification par pelage											Introduire						Révision	
Niveau 3																		
Diagnostic cognitif / Sessions de révision	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Identification par analogie			Introduire	Non				Non			Oui							
Identification par repérage de la partie connue du mot					Introduire													
Identification par pelage											Introduire		Introduire				Révision	
Niveau 4																		
Diagnostic cognitif / Sessions de révision	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Identification par analogie			Introduire	Non			Oui				Oui							
Identification par repérage de la partie connue du mot					Introduire							Oui						
Identification par pelage											Introduire		Introduire					Révision

ANNEXE E

Niveau des exercices des UA 5-8



APPENDICE A

Données qualitatives pré expérimentales

Collecte de données qualitatives préexpérimentation		
Questions	Réponses	Réponses
Pouvez-vous m'expliquer le processus que vous suivez lorsque vous voulez faire évaluer un élève, qui a des difficultés en lecture et écriture?	L'enseignant avise la direction qu'il a identifié un élève en difficulté, il est ensuite évalué par un orthopédagogue. Si l'orthopédagogue le juge nécessaire, il peut demander une évaluation par un psychologue et une orthophoniste.	Certaines commissions scolaires demandent que l'élève soit évalué par un orthophoniste, d'autres par un groupe de professionnels (orthophoniste, orthopédagogue, psychologue). Le MELS demande l'avis d'un orthophoniste, il y a un manque de cohésion entre les différentes instances (Lacoursière, 2010).
Comment est diagnostiqué un enfant dyslexique? Et en moyenne à quel âge?	Différents tests (BELEC et Forme noire) oraux et écrits. Entre la deuxième et la quatrième année, rarement avant la troisième année (8-10 ans).	
Quelle méthode d'apprentissage de la lecture est utilisée? La méthode globale ou la méthode syllabique?	Les deux méthodes d'apprentissage de la lecture sont utilisées, selon les enseignants et les commissions scolaires.	
Combien de temps l'enfant doit-il attendre avant d'avoir accès à du support? La raison principale de l'attente?	Le temps d'attente se situe entre 18 et 24 mois. Cette attente est due au processus du diagnostic et au manque de ressources professionnelles.	Le manque de ressources est la principale raison du retard. On estime que les établissements scolaires attendent que l'enfant soit en retard de 24 mois dans son parcours scolaire avant de lui offrir du support.
Description des étapes de la rééducation et les compétences recherchées	On recommande aux enseignants de donner plus de temps aux enfants diagnostiqués pour effectuer leurs examens. Le support offert est la synthèse vocale, les correcteurs et les	
Avez-vous accès à des outils de rééducation? Si oui lesquels	À part ceux décrits précédemment, très peu, des cartes avec des images, on conçoit nous-mêmes notre matériel, entre autres des cartes avec des mots.	
À partir du moment que vous commencez votre intervention avec un enfant, a-t-il un retard scolaire? Si oui de combien d'années par	Oui, il a en général un retard d'une à deux années scolaires	
Selon vous quelle est la meilleure méthode de rééducation à utiliser? Et pourquoi?	Reconnaissance automatique des mots fréquents pour accélérer la vitesse de lecture (WAT et WIST). Procédure par médiation phonologique et correspondances graphophonologiques (CGP, PAT, PHAB)	
Comment percevez-vous un outil vidéo comme outil de rééducation?	Positif	
Est-ce vrai que si un enfant a accès à du support tôt (avant l'âge de 10 ans) ses chances de succès scolaire sont bonnes?	Oui	
Quel test de lecture utilisez-vous pour valider le cheminement d'un enfant?	Ceux du ministère de l'Éducation, le processus d'évaluation est le même pour tous les enfants.	
Combien d'enfants suivez-vous en même temps?	Aucun, ce sont les orthopédaugues qui suivent le parcours des enfants.	
Combien de temps vous est alloué en moyenne par enfant par semaine?	L'orthopédagogue fait des suivis avec l'utilisation d'outils informatiques et de logiciels.	
Selon vous, combien de temps par semaine un enfant consacre-t-il à sa rééducation?	maximum 15 minutes par jour	
Selon vous en pourcentage combien d'élèves sont atteints de dyslexie?	Les réponses varient entre 1 à 2 enfants par classe de 24 (4 à 8 %)	La littérature indique entre 5 et 15 % des enfants
Selon vous en pourcentage combien d'enfants dyslexiques ont un déficit d'attention?	La majorité des enfants dyslexiques ont un déficit d'attention plus de 80 %	La littérature indique que la majorité des enfants dyslexiques sont atteints de trouble d'attention.
Vous suivez en général les élèves durant combien d'années?	Selon l'élève et les ressources disponibles, c'est un trouble permanent et certains élèves ont besoin de support plus longtemps.	

APPENDICE B

Communication dans les médias sociaux



Université TÉLUQ

22 juin · 🌐



Participation à une étude – recrutement | La recherche scientifique est essentielle au développement de nos connaissances et à l'amélioration de notre qualité de vie. C'est pourquoi nous invitons les parents d'enfants francophones âgés de 6 à 8 ans rencontrant des difficultés de lecture et leurs parents à participer à cette recherche. Le projet a comme objectif d'évaluer l'efficacité d'un outil pédagogique numérique pour l'apprentissage de la lecture auprès de jeunes élèves rencontrant des symptômes reliés à la dyslexie ou un déficit d'attention.

Veuillez noter que l'expérimentation se déroule entièrement à la maison et en ligne. Pour plus d'informations ou pour participer, veuillez contacter le chercheur responsable de l'étude par courriel : lewis.francois@univ.teluq.ca

Photo : Adam Winger (Unsplash)



RÉFÉRENCES

- Aleven, V., McLaren, B.M., Sewall, J., van Velsen, M., Popescu, O., Demi, S., Ringenberg, M. et Koedinger, K.R. (2016). *Example-Tracing Tutors: Intelligent Tutor Development for Non-programmers*. Int J Artif Intell Educ 26, 224–269 (2016). <https://doi.org/10.1007/s40593-015-0088-2>
- Alexander, A. W., Andersen, H. G., Heilman, P. C., Voeller, K. K. et Torgesen, J. K. (1991). *Phonological awareness training and remediation of analytic decoding deficits in a group of severe dyslexics*. Annals of Dyslexia, 41(1), 193–206. <https://doi.org/10.1007/BF02648086>
- Alexander, K. L., Entwisle, D. R. et Olson, L. S. (2007). *Lasting Consequences of the Summer Learning Gap*. American Sociological Review, 72(2), 167–180.
- Alvarez, J. et Djaouti, D. (2010). *Introduction au Serious game. Questions théoriques*. <http://fr.calameo.com/read/0004732847ccfece2dc71>
- Alsawaier, R. S. (2018). *The effect of gamification on motivation and engagement*. The International Journal of Information and Learning Technology, 35(1), 56–79. <https://doi.org/10.1108/IJILT-02-2017-0009>
- American Psychiatric Association (2020). *Publication Manual (7e édition)*, Récupéré le 13 février 2021 de <https://www.psychiatry.org/patients-families/specific-learning-disorder/what-is-specific-learning-disorder>
- Amidi, A. et Amidi, S. (2019). Site Web CS 230 - *Apprentissage profond*. Récupéré le 19 décembre 2022 de <https://stanford.edu/~shervine/l/fr/teaching/cs-230/pense-bete-reseaux-neurones-recurrents>
- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R. et Bloom, B.S. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives (Abridge)*. Longman.
- Andone, D. et Frydenberg, M. (2019). Creating virtual reality in a business and technology education context. Dans tom Dieck, M.C. et Jung, T. (2019) (p.147-159). *Augmented reality and virtual reality*. Switzerland, Springer Nature, 2019.
- Argenton, L., Muzio, M., Shek, E. J. et Mantovani, F. (2015). Multiplayer Serious Games and User Experience: A Comparison between Paper-Based and Digital Gaming Experience. Dans De Gloria, A. (dir.). (2015). *Games and Learning Alliance* (vol. 9221). (p. 54–62) : Springer International Publishing.
- Arnab, S, Brown, K, Clarke, S, Dunwell, I, Lim, T, Suttie, N, Louchart, S, Hendrix, M. et de Freitas, S. (2013). *The development approach of a pedagogically-driven serious game to support relationship and sex education (RSE) within a classroom setting*. Computers and Education, 69, 15–30.
- Augustin, T., Hockemeyer, C., Kickmeier-Rust, M. D., Podbregar, P., Suck, R. et Albert, D. (2013). *The simplified updating rule in the formalization of digital educational games*. Journal of Computational Science, 4(4), 293-303. doi: 10.1016/j.jocs.2012.08.020

- Ba, R., Xie, Y., Zhang, Y., Faatihah Binte Mohd Taib, S., Cai, Y., Walker, Z., Chen, Z., Tan, S., Hoe Chow, B., Min Lim, S., Pang, D., Lin Goei, S., Matimba, H. E. K. et van Joolingen, W. (2019). Virtual reality enzymes: an interdisciplinary and international project towards an inquiry-based pedagogy. Dans Cai, Y., van Joolingen, W. et Walker, Z. (2019). *Vr, Simulations and serious games for education* (p.45-54). Singapore, Springer Nature, 2019.
- Baddeley, A. D. (1983). *Working memory*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 302 (1110), 311–324.
- Baddeley, A.D., Logie, R., Bressi, S., Della Sala, S. et Spinnler, H. (1986). *Dementia and working memory*. The quarterly journal of experimental psychology section A, 38 (4), 603–618.
<https://doi.org/10.1080/14640748608401616>
- Baddeley A. D. (1997). *Human Memory. Theory and Practice*. Revised Edition, Hove: Psychology Press.
- Barlatier, P. (2018). Chapitre 7. Les études de cas. Dans : Françoise Chevalier éd., *Les méthodes de recherche du DBA* (pp. 126-139). Caen : EMS Editions. <https://doi-org.tlqprox.teluq.quebec.ca/10.3917/ems.cheva.2018.01.0126>
- Barlett, C.P., Vowels, C.L., Shanteau, J., Crow, J. et Miller, T. (2009). *The effect of violent and non-violent computer games on cognitive performance*. Computers in Human Behavior, 21 (1) (2009), 96-102
- Bartle, R. (1996). *Hearts, clubs, diamonds, spade: Players who suit MUDS*.
<http://mud.co.uk/richard/hcds.htm>
- Bartle, R. (2009) Understanding the limits of theory. Dans Bateman, C. (ed.): *Beyond game design: Nine steps to creating better videogames*. Delmar.
<http://repository.essex.ac.uk/9083/1/Understanding%20the%20Limits%20of%20Theory.pdf>
- Barreau, H. (2021). *L'épistémologie*. Presses Universitaires de France.
- Basque, J. (2016) *Guide de réalisation du projet d'ingénierie technopédagogique*. Version 3. Document du cours TED 6313 Projet d'ingénierie technopédagogique. TÉLUQ, Montréal.
- Basque, J. (2018). *La conception d'une formation à l'aide du logiciel g-mot*. Association internationale de pédagogie universitaire.
- Bediou, B., Adams, D. M., Mayer, R. E., Tipton, E., Green, C. S. et Bavelier, D. (2018). *Meta-analysis of action video game impact on perceptual, attentional, and cognitive skills*. Psychological Bulletin, 144 (1), 77–110. <https://doi.org/10.1037/bul0000130>
- Billard, C. (2016). *Dyslexie et troubles associés, on s'en sort ! : Avec une stratégie adaptée à chaque enfant combinant savoir-faire et neurosciences*. Paris, France : Tom Pousse

- Billard, C. et Delteil-Pinton, F. (2010). *Clinique de la dyslexie Dyslexia : Clinical characteristics*. Centre référent sur les troubles des apprentissages, hôpital Bicêtre, 78, rue du Général-Leclerc, 94 275 Le Kremlin-Bicêtre cedex, France. Archives de pédiatrie 17 (2010) 1734–1743. http://ac.els-cdn.com.tlqprox.teluq.quebec.ca/S0929693X10004355/1-s2.0-S0929693X10004355-main.pdf?_tid=cd61e8bc-96c5-11e6-b90d-00000aab0f6c&acdnat=1476968878_a11ce69dd396fd7463328e3f43a85da8
- Blaesius, N. et Fleck, S., (2015). *Quinze minutes de jeu vidéo : apports pour la prise en charge de la dyslexie*. « halshs-01219074 ». <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-001219074>
- Blevins, B. (2018). *Teaching digital literacy composing concepts: Focusing on the layers of augmented reality in an era of changing technology*. Computers and Composition 50 (2018): 21–38. <https://doi.org/10.1016/j.compcom.2018.07.003>
- Bloom, B. S. (1984). *The 2-sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring*. Educational Researcher, 13(6), 4-16. <http://web.mit.edu/5.95/www/readings/bloom-two-sigma.pdf>
- Bogost, I. (2010). *Persuasive game: The expressive power of videogames*. Cambridge, MIT Press, 2010.
- Boily (2023). *Les systèmes de récompenses : utiles ou futiles ?* Récupéré le 26 octobre 2023 de <https://aidersonenfant.com/>
- Bourdeau, J. et Grandbastien, M. (2011). *La modélisation du tutorat dans les systèmes tutoriels intelligents*. STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation), ATIEF, 18.
- Bourdeau, J., Pelleu-Tchétagani, J. et Psyché, V. (2014). *Le domaine des environnements d'apprentissage intelligents (EAI)*. Montréal, Canada : TÉLUQ
- Bouvier, P., Sehaba, K. et Lavoué E. (2014). *A trace-based approach to identifying users' engagement and qualifying their engaged-behaviours in interactive systems: application to a social game*. User Modeling and User-Adapted Interaction: The Journal of Personalization Research, 24(5), 413–451. <https://doi.org/10.1007/s11257-014-9150-2>
- Bovermann, K., Weidlich, J. et Bastiaens, T. (2018). *Online learning readiness and attitudes towards gaming in gamified online learning - a mixed methods case study*. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 15(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s41239-018-0107-0>
- Boyardjian, M-D. et Zogheib, R-G. (2011). *Development of a rubric for assessing the effective instructional methodologies for children with attention deficit/hyperactivity disorder or dyslexia in a lebanese trilingual catholic school* [Thèse de doctorat, Université de Saint Louis].
- Cardoso-Leite, P. et Bavelier, D. (2014). *Video game play, attention, and learning: how to shape the development of attention and influence learning?* Current Opinion in Neurology, 27(2), 185–91. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000077>

- Case, R.E. (2013). *The impact of digital games on student persistence and retention in an online higher education context* [Thèse de doctorat, Walden University Minneapolis]. ProQuest Dissertations & Theses Global.
- Catach, N. (1995). Le problème des variantes graphiques : variantes du passé, du présent et de l'avenir. Dans *La variation graphique et les rectifications de l'orthographe française* (1990). Journal Langue Française, 108, 25-32.
- Chaarani, B., Ortigara, J., Yuan, D. K., Loso, H., Potter, A. et Garavan, H. P. (2022). *Association of video gaming with cognitive performance among children*. Jama Network Open, 5(10), 2235721. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.35721>
- Champin, P. A., Mille, A. et Prié, Y. (2013). *Vers des traces numériques comme objets informatiques de premier niveau : une approche par les traces modélisées*. Intellectica — Revue de l'Association pour la recherche sur les la cognition, 2013, 171-204.
- Chang, V., Shaban, A. et Bingham, A. (2021). *Development and evaluation of a cognitive training application for children with learning difficulties: a design-based approach*. Journal of Global Information Management (Jgim), 29(6), 1–21. <https://doi.org/10.4018/JGIM.20211101.0a47>
- Charles, D., McNeill, Michael, M., McAlister, M., Black, M., Moore, A., Stringer, K., Kücklich, J. et Kerr, A. (2005) *Player-centred game design: Player modelling and adaptive digital games*. Dans : *Proceedings of DiGRA 2005 Conference: Changing Views – Worlds in Play*. Digital Games Research Association: DiGRA, (p. 285-298).
- Chen, P., Lu, Y., Zheng, W. V. et Pian, Y. (2018). *Prerequisite-driven deep knowledge tracing*. Présentée à la conférence 2018 IEEE international on data mining. <https://doi.org/10.1109/ICDM.2018.00019>
- Cheruette, M. (2009). *Vers une méthodologie pour la conception des Serious Games*. Scénarisation Multimédia de contenus de formation en ligne Année universitaire 2008-2009. Paris, France. CFA COM – Université Paris 13.
- Chuang, T. Y. et Chen, W.-F. (2009). *Effect of computer-based Video Games on Children: An Experimental Study*. Educational Technology & Society, 12 (2), 1-10.
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T. et Boyle, J. M. (2012). *A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games*. Computers & Education, 59(2), 661–686. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.004>.
- Cook, M., Lischer-Katz, Z., Hall, N., Hardesty, J., Johnson, J., McDonald, R. et Carlisle, T. (2019). *Challenges and Strategies for Educational Virtual Reality: Results of an Expert-led Forum on 3D/VR Technologies across Academic Institutions*. Information Technology & Libraries, 38(4), 25–48. <https://doi.org/10.6017/ITAL.V38I4.11075>
- Cooper, H., Nye, B., Charlton, K., Lindsay, J. et Greathouse, S. (1996). *The Effects of Summer Vacation on Achievement Test Scores: A Narrative and Meta-Analytic Review*. Review of Educational Research, 66(3), 227–268. <https://doi-org.tlqprox.teluq.quebec.ca/10.3102/00346543066003227>

- Cornily, G. (2018). *Efficacité d'un entraînement en dénomination rapide chez les enfants dyslexiques* [Mémoire de maîtrise, Université catholique de Louvain].
- Craig, S., Graesser, A., Sullins, J. et Gholson, B. (2004). *Affect and learning: an exploratory look into the role of affect in learning with AutoTutor*. *Journal of Educational Media*. 29, 241-250.
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Literacy and intrinsic motivation*. *Daedalus*, Vol. 119, No. 2, Literacy in America (Spring, 1990),115-140. The MIT Press on behalf of American Academy of Arts & Sciences. <http://www.jstor.org/stable/20025303>
- Csikszentmihalyi, M. (1991). *The psychology of optimal experience*. New York (NY), Harper Collins
- Cyr, A. (2016). *Intelligence artificielle et robotique bio-inspirée : modélisation de fonctions d'apprentissage par réseau de neurones à impulsions* [Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal].
- Dale, G. et Shawn Green, C. (2017). *The Changing Face of Video Games and Video Gamers: Future Directions in the Scientific Study of Video Game Play and Cognitive Performance*. *J Cogn Enhanc* 1, 280–294 (2017).
- Dale, G., Joessel, A., Bavelier, D. et Green, C. S. (2020). *A new look at the cognitive neuroscience of video game play*. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1464 (1), 192–203. <https://doi.org/10.1111/nyas.14295>
- David, A. (2003). *Étude de cas et généralisation scientifique*. *Sciences De Gestion*. 39, 139-166. <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00164323/en/>
- Davis, D., Shrobe, H. et Szolovits, P. (1993) *What is a knowledge representation?* *AI magazine*. 14 (1), 17-33.
- de Castell, S., Jenson, J. et Taylor, N. (2010). Les jeux éducatifs : de la théorie à la pratique. Dans L. Sauvé et D. Kaufman (dir.), *Jeux et simulations éducatifs* (p. 183-198). Québec (Québec) : Presses de l'Université du Québec.
- Dehaene, S. (2008). *Psychologie cognitive expérimentale*. Cours : les mécanismes cérébraux de la lecture. Collège de France, Paris. <http://www.college-de-france.fr/site/stanislas-dehaene/course-2006-2007.htm>
- Dewan, M. A. A., Murshed, M. et Lin, F. (2019). *Engagement detection in online learning: a review*. *Smart Learning Environments*, 6(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s40561-018-0080-z>
- Djaouti, D. (2011). *Serious Game Design Considérations théoriques et techniques sur la création de jeux vidéo à vocation utilitaire* [thèse de doctorat, Université Toulouse III Paul Sabatier, UT3 Paul Sabatier].
- Domingos, P. (2012). *A Few Useful Things to Know about Machine Learning*. *Communications of the ACM*, 55 (10), 78-87.

- Dumez, H. (2013). *Qu'est-ce que la recherche qualitative ? problèmes épistémologiques, méthodologiques et de théorisation*. Annales Des Mines - Gérer Et Comprendre, 112 (2), 29–29. <https://doi.org/10.3917/geco.112.0029>
- Dumez, H. et Rigaud, R. (2008). Comment passer du matériau de recherche à l'analyse théorique ? A propos de la notion de template. Le libellio d'AEGIS, 4 (2), 40-46. <https://hal.science/hal-00408221>
- Dyer, R. (2015). A conceptual framework for gamification measurement. Dans Reiners, T. et Wood, L. (eds). *Gamification in Education and Business* (p. 47-66). Springer International Publishing.
- Einstein, A. (1979). *Comment je vois le monde*. Coll. Champs Flammarion.
- El Kah, A. et Lakhouaja, A. (2018). *Developing effective educative games for arabic children primarily dyslexics*. Education and Information Technologies: The Official Journal of the Ifip Technical Committee on Education, 23(6), 2911–2930. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9750-2>
- El-Kechaï, N. Melerol, J. et Labat, J-M. (2015). *Quelques enseignements tirés de l'application de la Competence-based Knowledge Space Theory aux Serious Games*. IC2015, Jul 2015, Rennes, France. Collection AFIA, 2015, AFIA.
- Echene, B. (2002). *Dyslexie dysorthographe : définition, bases neurologiques et physiopathologiques*. Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Archive Pédiatrique 9 (2), 262-264. <http://www.sciencedirect.com.tlqprox.telug.quebec.ca/science/article/pii/S0929693X01008521>
- Evans, J. (2002). *Logic and human reasoning: An assessment of the deduction paradigm*. Psychological Bulletin, (128) 6, 978–996. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.128.6.978>
- Fabricatore, C. et López, X. (2012). Sustainability Learning through Gaming: An Exploratory Study. *Electronic Journal of e-learning*, 10 (2), 209–222.
- Fabricatore, C. et López, X. (2014). A Model to Identify Affordances for Game-Based Sustainability Learning. In C. Busch (Ed.), *Proceedings of the 8th European Conference on Game Based Learning* (pp. 99–109). Reading, UK: Academic Conferences and Publishing International Limited.
- Fernandez, A. (2023, 11 janvier). *Les causes d'échecs du projet*. http://www.chef-de-projet.org/facteur-echec/causes_echec.htm
- Fernandez, M. (2017). *Augmented virtual reality: how to improve education systems*. Higher Learning Research Communications, 7(1), 1–15. <Http://dx.doi.org/10.18870/hlrc.v7i1.373>
- Fortier, M. (2021, 12 novembre). *Percée du privé dans les écoles publiques*. Le Devoir. <https://www.ledevoir.com/societe/education/647022/education-percee-du-prive-dans-les-ecoles-publiques>
- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Molteni, M. et Facoetti, A. (2013). *Action Video Games Make Dyslexic Children Read Better*. *Revue Current Biology*, 23 (6), 462–466.

- Franceschini, S., Trevisan, P., Ronconi, L. *et al.* (2017). *Action video games improve reading abilities and visual-to-auditory attentional shifting in English-speaking children with dyslexia*. *Sci Rep* 7, 5863 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05826-8>
- Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. Dans Patterson, K., Marshall, J. et Coltheart M. (1985). *Surface dyslexia, neuropsychological and cognitive studies of phonological reading*, (p. 301-330). London, Erlbaum.
- Frith, U. (1999). *Paradoxes in the definition of dyslexia*. Institute of cognitive neuroscience, (192-214). University College, London, UK.
- Gala, N. (2015). *Faciliter la lecture. Apports de la linguistique et des technologies du langage* (p.1-45). Journées illettrisme, Marseille, Aix Marseille Université. http://pageperso.lif.univ-mrs.fr/~nuria.gala/publis/CRI_NGala_d%C3%A9c2015.pdf
- Gee, J-P. (2005). *Learning by Design: good video games as learning machines*. *E-Learning*, 2(1), 5–16.
- George, S., Michel, C., et Ollagnier-Beldame, M. (2013). *Usages réflexifs des traces dans les environnements informatiques pour l'apprentissage humain*. *Revue Intellectica*, 2013/1 (59), 205-241.
- Giasson, J. (2011). *La lecture apprentissage et difficultés*. Montréal : Gaétan Morin.
- Göbel, S. et Wendel, V. (2016). Personalization and Adaptation. Dans Dörner, R., Göbel, S., Effelsberg, W. et Wiemeyer, J. (dir.). (2016). *Serious Games*, (p.161-206) Cham: Springer International Publishing.
- Göbel, S., Hugo, O., Kickmeier-Rust, M. et Egenfeldt-Nielsen, S. (2016). Serious Games—Economic and Legal Issues. Dans Dörner, R., Göbel, S., Effelsberg, W. et Wiemeyer, J. (dir.). (2016). *Serious Games*, (p.303-317) Cham: Springer International Publishing.
- Grandbastien, M. et Labat, J.-M. (2006). *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*. Paris, France : Lavoisier.
- Green, C. S. et Bavelier, D. (2012). *Learning, attentional control and action video games*. *Revue Current Biology*, 22, 197-206
- Green, C. S. et Seitz, R. A. (2015). *The Impacts of Video Games on Cognition (and How the Government Can Guide the Industry)*. *Behavior and Brain Sciences*, 2 (1), 101-110.
- Gris, G. et Bengtson, C. (2021). *Assessment Measures in Game-based Learning Research: A Systematic Review*. *International Journal of Serious Games*, 8(1), 3 - 26. <https://doi.org/10.17083/ijsg.v8i1.383>
- Guba, E. G. et Lincoln, Y. S. (1994). Competing paradigms in qualitative research. Dans N. K. Denzin & Y.S. Lincoln, *Handbook of qualitative research* (105-117). Thousand Oaks, CA: Sage
- Gupta, S. et Sabitha, A. S. (2019). *Deciphering the attributes of student retention in massive open online courses using data mining techniques*. *Education and Information Technologies: The Official*

Journal of the Ifip Technical Committee on Education, 24(3), 1973–1994.
<https://doi.org/10.1007/s10639-018-9829-9>

Hacking, I. (2001) *An Introduction to Probability and Inductive Logic*. Cambridge, UK: Cambridge University Press

Hamari, J., Hassan, L. et Dias, A. (2018). *Gamification, quantified-self or social networking? matching users' goals with motivational technology*. *User modeling and user-adapted interaction: The Journal of Personalization Research*, 28(1), 35–74. <https://doi.org/10.1007/s11257-018-9200-2>

Herbert, B., Ens, B., Weerasinghe, A., Billighurst, M. et Wigley, G. (2018). *Design considerations for combining augmented reality with intelligent tutors*. *Computer & Graphics* (2018) 77, 166-182. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2018.09.017>

Henriksen, T. D. (2013). Using learning games to meet learning objectives. Dans Ma, M., Oliveira, M. F., Petersen, S. et Hauge, J. B. (dir.). (2013). *Serious Games Development and Applications* (vol. 8101), (p.273-278). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin.

Hernandez, D. J. (2011). *Double Jeopardy: How Third-Grade Reading Skills and Poverty Influence High School Graduation*, Baltimore, MD, Annie E. Casey Foundation.
<https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED518818.pdf>

Herzberg F. (1968). *One more time: how do you motivate employees*. Harvard Business Review.

Hodgson, P., W. Y. Lee, V., C. S. Chan, J., Fong, A., S. Y. Tang, C., Chan, L. et Wong, C. (2019). (Immersive virtual reality IVR) in higher education: Development and implementation. Dans tom Dieck, M.C. et Jung, T. (2019) (p.161-172). *Augmented reality and virtual reality*. Switzerland, Springer Nature, 2019.

Hurwitz, J., Kaufman, M. et Bowles, A. (2015). *Cognitive computing and big data analytics*. John Wiley & Sons, Inc. Indianapolis. Indiana.

Ibili, E. (2019). Effect of augmented reality environments on cognitive load: pedagogical effect, instructional design, motivation and interaction interfaces. *International Journal of Progressive Education*, 15(5), 42–57. <https://doi.org/10.29329/ijpe.2019.212.4>

Iles, N., Chikh, A., Mothe, J. (2008). *Architecture distribuée d'un entrepôt pédagogique, fédération des contenus, constitution des bases de données personnelles*. Colloque international ePrep 2008. <http://www.eprep.org/colloques/colloque08/colloque08.php>.

Institut de la statistique du Québec. (2010). *Vivre avec une incapacité au Québec : Un portrait statistique à partir de l'Enquête sur la participation et les limitations d'activités de 2001 et 2006*. Gouvernement du Québec. <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/sante/etat-sante/incapacite/incapacite-quebec.pdf>

Institut de la statistique du Québec (2019). *Regard statistique sur la jeunesse. État et évolution de la situation des Québécois âgés de 15 à 29 ans, 1996 à 2018*. Édition 2019, Québec, Institut de la statistique du Québec, 287. <https://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/conditions-vie-societe/regard-jeunesse-2019.pdf>

- Institut des troubles d'apprentissage (2021). *Conférence. Journée parents – Objectif motivation !* Le 6 novembre 2021, à Montréal. Institut des troubles d'apprentissage.
- Ireland, A. M. et Payne, N. (2010). L'effet des jeux violents sur l'apprentissage. Dans L. Sauvé et D. Kaufman (dir.), *Jeux et simulations éducatifs* (p. 421-438). Québec (Québec) : Presses de l'Université du Québec.
- Jacquier-Roux, M., Lequette, C., Pouget, G., Valdois, S. et Zorman, M. (2010). *Batterie analytique du langage écrit*. Groupe Cogni-Sciences, Laboratoires des Sciences de l'éducation – Laboratoires de Psychologie et Neurocognition. Université Pierre Mendès-France, Grenoble. <https://www1.ac-grenoble.fr/article/cognisciences-121593>
- Juul, J. (2005). *Half-real. Video Games between real and fictional worlds*. Cambridge, MA : The MIT Press.
- Kardaras, N. (2016). *Glow kids (How screen addiction is hijacking ours kids and how to break the trance)*. New York (N.Y.) St-Martin's Press.
- Katsuki, F. et Constantinidis, C. (2014). *Bottom-Up and Top-Down Attention: Different Processes and Overlapping Neural Systems*. *The Neuroscientist*, 20(5), 509-521. <https://doi.org/10.1177/1073858413514136>
- Kay, J. (2001). *Learner control. User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11 (1-2), 111-127. <https://www-proquest-com.proxy.bibliotheques.uqam.ca/docview/212943551?accountid=14719>
- Kayali, F., Peters, K., Kuczwar, J., Reithofer, A., Martinek, D., Wolfle, R., Mateus-Berr, R., Lehner, Z., Silbernagl, M., Sprung, M., Lawitschka, A. et Hlavacs, H. (2015). Participatory Game Design for the INTERACCT Serious Game for Health: Dans Göbel, S., Ma, M., Baalsrud Hauge, J., Oliveira, M. F., Wiemeyer, J. et Wendel, V. (dir.). (2015). *Serious Games* (vol. 9090), (p. 12-25) Cham: Springer International Publishing.
- Ke, F., Pachman, M. Dai, Z. (2020). *Investigating educational affordances of virtual reality for simulation-based teaching training with graduate teaching assistants*. *Journal of Computing in Higher Education: Integration of Instructional Technology*, 32(3), 607–627. <https://doi.org/10.1007/s12528-020-09249-9>
- Keller, J. (2000) *How to integrate learner motivation planning into lesson planning: The ARCS model approach*. Présentation au VII Semanario, Santiago, Cuba, Février 2000.
- Khaleghi, A., Aghaei, Z. et Behnamghader, M. (2022). *Developing two game-based interventions for dyslexia therapeutic interventions using gamification and serious games approaches*. *entertainment computing journal*. *Entertainment Computing*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2022.100482>
- Kickmeier-Rust, M., Mattheiss, E., Steiner, C. et Albert, D. 2011. *A psycho-pedagogical framework for multi-adaptive educational games*. *International Journal of Game-Based Learning*. <https://doi.org/10.4018/ijgbl.2011010104>

- Kimball, R. (1982). A self-improving tutor for symbolic integration. Dans Sleeman, D. et Brown, J. S. (dir.), *Intelligent Tutoring Systems* (283-307). London: Academic Press
- Klopfer, E., Haas, J., Osterweil, S., et Rosenheck, L. (2018). *Resonant games: design principles for learning games that connect hearts, minds, and the everyday* (Ser. The John D. and Catherine T. MacArthur Foundation Series on Digital Media and Learning). MIT Press.
- Kozanitis, A. (2005). *Les principaux courants théoriques de l'enseignement et de l'apprentissage : un point de vue historique*. Bureau d'appui pédagogique, École Polytechnique : http://www.polymtl.ca/bap/docs/documents/historique_approche_enseignement.pdf
- Kumar, A., Soundirapandian, K., Jaraime, N. H., Krishnan, M., Alzah Juno N. S. et Samsudin, N. A. (2021). Digital game-based learning features: Effects on students perceived motivational support and cognitive investment. Dans N.M. Suki, N. (Éd.). (2021). *Handbook of Research on Technology Applications for Effective Customer Engagement* : IGI Global (p. 163-178). <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4772-4>
- Lacko, L. (2019). Cultural heritage objects in education by virtual and augmented reality. Dans Tom Dieck, M.C. et Jung, T. (2019) (p.175-187). *Augmented reality and virtual reality*. Switzerland, Springer Nature, 2019.
- Lambert, J., Brillant, M. et Lecours, E. (2022). *Enseignement à distance durant la pandémie de COVID-19*. Rapport du Vérificateur général du Québec à l'Assemblée nationale pour l'année 2022-2023. Observations de la commissaire au développement durable. https://www.vgq.qc.ca/Fichiers/Publications/rapport-annuel/189/vgq_fascicule_cdd_dec2022_web.pdf
- Lämsä, J., Hämäläinen, R., Aro, M., Koskimaa, R. et Äyrämö, S-M. (2018). *Games for enhancing basic reading and maths skills: A systematic review of educational game design in supporting learning by people with learning disabilities*. British Journal of Educational Technology. 49, (4), 596-607.
- Lassault, J. et Ziegler, J. (2018). *Les outils numériques d'aide à l'apprentissage de la lecture*. Langue française, 3 (3), 111-121. <https://doi.org/10.3917/lf.199.0111>
- Lavigne, M. (2012). *Serious games: que devient le plaisir ludique ?* Laboratoire de recherche en audiovisuel, Université Toulouse II Le Mirail. https://www.academia.edu/3123672/Serious_games_que_devient_le_plaisir_ludique?auto=download
- LeCun, Y., Bengio, Y. et Hinton, G. (2015). *Deep learning*. Nature, 521, 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Leduc, L. (2023, le 27 mai). *Les élèves en difficulté abandonnés par le système*. <https://www.lapresse.ca/actualites/education/2023-05-27/les-eleves-en-difficulte-abandonnes-par-le-systeme.php?sharing=true>
- Lefebvre, P. (2016). L'ABC de l'apprentissage de l'écrit pour mieux en prévenir les difficultés. Dans Brigitte Stanké (dir.), *Les dyslexies-dysorthographies* (p. 3-45). Québec (Québec) : Presses de l'Université du Québec

- Léger, L. (2016). Chapitre 1. Définition de la psychologie cognitive. Dans : L. Léger, *Manuel de psychologie cognitive* (p. 3-24). Paris : Dunod.
- Lewis, F. (2018). *Création et évaluation d'un prototype de jeu sérieux pour l'apprentissage de la lecture destiné aux enfants francophones du primaire présentant des symptômes associés à La dyslexie*. [Mémoire de maîtrise, Université TÉLUQ]. <http://r-libre.telug.ca/1459/1/Lewis.pdf>.
- Lewis, F., Plante, P. et Lemire, D. (2021). *Pertinence, efficacité et principes pédagogiques de la réalité virtuelle et augmentée en contexte scolaire : une revue de littérature*. *Médiations et médiatisations*, (5), 11-27.
- Li, K. et Keller, J. M. (2018). *Use of the arcs model in education: a literature review*. *Computers & Education*, 122, 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.019>
- Lim, L., Carvalho, M. B., Bellotti, F., Arnab, S., de Freitas, S., Louchart, S., Suttie, N., Berta, R. et De Gloria, A. (2016). *The LM-GM framework for Serious Games Analysis*. The Serious Games Society (SGS). https://seriousgamessociety.files.wordpress.com/2016/09/lmgm_framework.pdf
- Long, M., Wood, C., Littleton, K., Passenger, T. et Sheehy, K. (2011). *The psychology of education*, (2e éd.). New York, NY: Routledge.
- Lovett, M. W., Steinbach, K. A. et Frijters, J. C. (2000). *Remediating the core deficits of developmental reading disability: A double-deficit perspective*. *Journal of Learning Disabilities*, 33(4), 334-358.
- Makransky, G., Borre-Gude, S. et Mayer, R.E. (2019). *Motivational and cognitive benefits of training in immersive virtual reality based on multiple assessments*. *Journal of Computer Assisted Learning*, May 27th, 2019.
- Martin, P., Speranza, M. et Colombel, F. (2022). *Les capacités mnésiques de l'enfant présentant un trouble déficit de l'attention : état des lieux*. *Neuropsychiatrie De L'enfance Et De L'adolescence*, 70 (3), 111–116. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2021.12.004>
- Maslow, A. H. (2008). *Devenir le meilleur de soi-même : besoins fondamentaux, motivation et personnalité* ([2e éd.] [Motivation and Personality] (Nicolaieff, L, trad.). Eyrolles.
- McGonigal, J. (2011). *Why games make us better and how they can change the world*. New York (N.Y.), The Penguin Press.
- McTigue, M. E. et Uppstad, E. M. (2018). *Getting serious about serious games: Best practices for computer games in reading classrooms*. *The Reading Teacher*, 72 (4), 453-461. <https://doi.org/10.1002/trtr.1737>
- Meunier, J-G. (2017). *Humanités numériques et modélisation scientifique*. *Questions de communication*, 31, 19-48. <http://journals.openedition.org/questionsdecommunication/11040>. <https://doi.org/10.4000/questionsdecommunication.11040>
- Mildner, F., Stamer, N. et Effelsberg, W. (2015). From game characteristics to effective learning games: Dans Göbel, S., Ma, M., Baalsrud Hauge, J., Oliveira, M. F., Wiemeyer, J. et Wendel, V. (dir.). (2015). *Serious Games* (vol. 9090), (p. 51-62) Cham: Springer International Publishing.

- Mille, A. et Prié, Y. (2006). *Une théorie de la trace informatique pour faciliter l'adaptation dans la confrontation logique d'utilisation/logique de conception*. <http://liris.cnrs.fr/Documents/Liris-3002.pdf>
- Miller, G. A. (1956). *The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information*. *Psychological Review*, 63(2), 81–97.
- Mitchell, T. (1997). *Machine Learning*. McGraw Hill.
- Molinari, G., Poellhuber, B., Heutte, J., Lavoué, E., Widmer, D. S. et Caron, P-A. (2016). *L'engagement et la persistance dans les dispositifs de formation en ligne : regards croisés*. *Distances Et Médiations Des Savoirs*, (20160325). <https://doi.org/10.4000/dms.1332>
- Momi, D., Smeralda, C., Sprugnoli, G., Neri, F., Rossi, S., Rossi, A., Di Lorenzo, G. et Santarneckchi, E. (2019). *Thalamic morphometric changes induced by first-person action videogame training*. *The European Journal of Neuroscience*, 49(9), 1180–1195.
- Mongrain, J. (2015). *Les services orthophoniques offerts aux enfants dysphasiques québécois : Le point de vue des parents*. [mémoire de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières].
- Monzalvo, K. et Dehaene-Lambertz, G. (2013). *How reading acquisition changes children's spoken language network*. *Revue Brain & Language*, 127 (2013) 356–365. http://www.unicog.org/publications/Monzalvo_ReadingChangesSpokenLggNetwork_BrainLgg2013.pdf
- Moreno, R. (2006). *Learning in high-tech and multimedia environments*. *Current Directions in Psychological Science*, 15(2), 63-67.
- Moreno, R. et Mayer, R. (2007). *Interactive multimodal learning environments. Special issue on interactive learning environments: Contemporary issues and trends*. *Educational Psychological Review*, 19, 309-326.
- Mori, H. (2017). Intelligent character technologies for entertainment games. Dans *Handbook of digital games and entertainment technologies* (p. 313-329). Singapore.
- Moriceau, J. (2019). Chapitre 22. Peut-on généraliser ? Dans : Jean-Luc Moriceau éd., *Recherche qualitative en sciences sociales : S'exposer, cheminer, réfléchir ou l'art de composer sa méthode* (p. 289-293). Caen : EMS Editions. <https://doi-org.tlqprox.teluq.quebec.ca/10.3917/ems.mori.2019.01.0289>
- Myre-Bisaillon, J. (2004). *L'identification des mots écrits chez les enfants dyslexiques de deuxièmes et troisièmes cycles du primaire : évaluation des effets d'un programme d'intervention en fonction des différents profils de dyslexie*. Tome 1 [Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke].
- Myre-Bisaillon, J. (2009). *Identification des mots écrits chez les dyslexiques phonologiques : mise à l'essai d'un programme d'intervention compensatoire*. *Revue des sciences de l'éducation*, 35 (3), 65-84.

- Nations Unies (2022, 19 octobre) *Assurer l'accès de tous à une éducation de qualité, sur un pied d'égalité, et promouvoir les possibilités d'apprentissage tout au long de la vie.* <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/education/>
- Nava, E., Föcker, J. et Gori, M. (2020). *Children can optimally integrate multisensory information after a short action - like mini game training.* *Developmental Science*, 23(1). <https://doi-org/10.1111/desc.12840>
- Negnevitsky, M. (2005). *Artificial intelligence, a guide to intelligent systems* (2e éd.). Essex, England: Addison- Wesley
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., Brookes, R. L. et Needle, J. (2010). *Procedural learning and dyslexia.* *Revue Dyslexia*, 16, 194-212.
- Nkambou, R., Bourdeau, J. et Mizoguchi (2010). Introduction: What are intelligent tutoring systems, and why this book? Dans R. Nkambou, R., Bourdeau, J. et Mizoguchi R. (dir.). *Advances in Intelligent Tutoring Systems* (p. 1-12). Springer, Heidelberg: Studies in Computational Intelligence, vol. 308.
- Noël, A. (2011). *La conduite d'une recherche : mémoires d'un directeur.* Montréal (Québec) : Les Éditions JFD.
- Norton, E. (2020). *What educators need to know about Rapid Automatized Naming (RAN).* *Learning Difficulties Australia, Bulletin*, 52 (1), 25-28. <https://ldaustralia.org/publications/bulletin-volume-52-no-1-2020/>
- OCDE. (2011). *Redoublement et transfert des élèves : Quel impact pour les systèmes d'éducation ? PISA à la loupe*, (6), 4. <https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/pisainfocus/48391795.pdf>
- Olry, P. (2019). Chapitre 6. Aleksei Leontiev et la théorie de l'activité. Dans : Philippe Carré éd., *Psychologies pour la formation* (pp. 105-121). Paris : Dunod. <https://doi-org.tlqprox.teluq.quebec.ca/10.3917/dunod.carre.2019.02.0105>
- Paquette, G. (2005). *Modélisation des connaissances et des compétences.* Québec (Québec) : Presses de l'Université du Québec.
- Pasqualotto, A., Altarelli, I., De Angeli, A., Menestrina, Z., Bavelier, D. et Venuti, P. (2022). *Enhancing reading skills through a video game mixing action mechanics and cognitive training.* *Nature Human Behaviour*, 6(4), 545–554. <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01254-x>
- Patiño, A. (2021). *Les affordances d'un jeu sérieux éducatif pour l'apprentissage de l'anglais langue seconde chez des étudiants universitaires de premier cycle* [Thèse de doctorat, Université Laval].
- Piaget, J. (1955). *Les activités mentales en rapport avec les expressions symboliques logiques et mathématiques.* *Periodicals Archive Online*, 10, 127–145.
- Piaget J. (1964). *Cognitive development in children: Development and learning.* *Journal of Research In Science Teaching*, 40, S8–S18 (2003). Originally published, 2, (3), 176-186.

- Piech, C., Bassen, J., Huang, J., Ganguli, S., Sahami, M., Guidas, L. et Sohl-Dickstein, J. (2015). *Deep knowledge tracing*. <https://stanford.edu/~cpiech/bio/papers/deepKnowledgeTracing.pdf>
- Plante, P. (2016). *Apprentissage, jeu sérieux et « détournement sérieux de jeu »*. *Formation et profession*, 24 (2), 72-74.
- Plante, I., Fréchette-Simard, C., Brault-Foisy, L.-M. et Charron, A. (2021). Les études expérimentales et quasi expérimentales. Dans J. Lehrer, N. Bigras, A. Charron, et I. Laurin (Eds.). *La recherche en éducation à la petite enfance : Origines, méthodes et applications* (1st ed., p. 25–50). Presses de l'Université du Québec. <https://doi.org/10.2307/j.ctv2ks6wb9.10>
- Project Management Institute (2013), *Guide du corpus de connaissances en management de projet, 5e*: GUIPE PMBoK, Project Management Institute, Inc. Newton Square, PA
- Rianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J. et Wohlgenannt, I. (2020). *A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda*. *Computer & Education*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Read, J. C. (2008). *Validating the fun toolkit: an instrument for measuring children's opinions of technology*. *Cognition, Technology & Work*, 10 (2), 119-128. <https://doi.org/10.1007/s10111-007-0069-9>
- Rello, L., Bayarri, C., Ota, Y., Pielot, M. (2015). *Computer-based method to improve the spelling of children with dyslexia*. Cornell University Library.
- Reynard, R. (2017). *The impact of virtual reality on learning*. *Campus Technology*, 04/26/17. Récupéré le 11/07/2019 de <https://thejournal.com/articles/2017/05/09/the-impact-of-virtual-reality-on-learning.aspx?admgarea=Features1>
- Robert, S. (2018). *Séries de diapositives dans le cadre du cours DIC-9001 « Fondements et nouvelles tendances en sciences cognitives »*. Automne 2018, UQAM.
- Rodet, J. (2003). *L'autonomie en éducation et en formation à distance. Les interventions métacognitives*. Récupéré le 9 janvier 2016 de <http://jacques.rodet.free.fr/xchron2.htm#oct>
- Romainville, M. (2007). Conscience, métacognition, apprentissages : le cas des compétences méthodologiques. Paru dans « *La conscience chez l'enfant et chez l'élève* » sous la direction de Francisco Pons et Pierre-André Doudin, Québec : Presses de l'Université du Québec, 2007, 108-130
- Romero, M. et Barma, S. (2015). Serious Games Opportunities for the Primary Education Curriculum in Quebec. Dans De Gloria, A. (dir.). (2015). *Games and Learning Alliance* (vol. 9221). (p. 121-131) : Springer International Publishing. Repéré à <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-22960-7>
- Romero, M., Alexandre, F., Viéville, T. et Giraudon, G. (2020). *LINE - Mnémosyne : Des neurosciences computationnelles aux sciences de l'éducation computationnelles pour la modélisation du cerveau de l'apprenant et du contexte de l'activité d'apprentissage*. *Bulletin de l'Association Française pour l'Intelligence Artificielle*, 108. <https://hal.science/hal-02541099v1>

- Ronimus, M., Eklund, K., Pesu, L., et Lyytinen, H. (2019). *Supporting struggling readers with digital game-based learning*. Educational Technology Research and Development: A Bi-Monthly Publication of the Association for Educational Communications & Technology, 67(3), 639–663.
<https://doi.org/10.1007/s11423-019-09658-3>
- Rousseau, N. (2016). L'apprentissage et la persévérance scolaires des élèves ayant des troubles d'apprentissages. Dans Brigitte Stanké (dir.), *Les dyslexies-dysorthographies* (p. 197-210). Québec (Québec) : Presses de l'Université du Québec
- Russell, S. et Norvig, P. (2010). *Intelligence artificielle* (3e éd.). (M-C., Baland, D. de Loenzien, S. Legrand, A. Reutenauer et F. Popineau, trad.) Montreuil, France : Pearson Education France (Ouvrage original publié en 2010 sous le titre Artificial Intelligence : a modern approach (3e éd.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, Pearson
- Ryan, R. M. et Deci, E. L. (2000). *Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being*. American Psychologist, 55(1), 68–78.
- Saint-Laurent, L. et Giasson, J. (2007). *Activités pour développer la conscience phonologique*. Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval. Récupéré le 5 mai 2017 de http://www1.sites.fse.ulaval.ca/fichiers/site_indisse/documents/conscience_phonologique.pdf
- Sabahi, M. et Viens, J. (2021). *Conception des jeux sérieux éducatifs comment concevoir une expérience optimale d'apprentissage ?* [Thèse de doctorat, Université de Montréal].
- Sauvé, L. (2010). Les jeux éducatifs efficaces. Dans L. Sauvé et D. Kaufman (dir.), *Jeux et simulations éducatifs* (p. 43-72). Québec (Québec) : Presses de l'Université du Québec.
- Schmoll, P. (2011). *Sciences du jeu : état des lieux et perspectives*. Revue des Sciences Sociales. Vol., n 45 pages 10-19. <http://www.revue-des-sciences-sociales.com/>
- Schrader, C., Brich, J., Frommel, J., Riemer, V. et Rogers, K. (2017). *Rising to the challenge: An emotion driven approach toward adaptive serious games*. In Serious Games and Edutainment Applications, 3-28. Springer International Publishing.
- Shawn Green, C., Bavelier, D., Kramer, A. F. et al. (2019). *Improving Methodological Standards in Behavioral Interventions for Cognitive Enhancement*. J Cogn Enhanc 3, 2–29 (2019).
- Shaywitz, S.E, Shaywitz, B.A. (2006). *La dyslexie chez les jeunes enfants et son impact sur leur développement socio-affectif*. Yale Center for the Study of Learning, Reading and Attention, États-Unis. <http://www.enfantencyclopedie.com/sites/default/files/textes-experts/fr/125/la-dyslexie-chez-les-jeunes-enfants-et-son-impact-sur-leur-developpement-socio-affectif.pdf>
- Sleeman, D. et Brown, J.S. (1982). Introduction: Intelligent tutoring systems. Dans Sleeman, D. et Brown, J.S. (dir.). (1982). *Intelligent Tutoring Systems* (p 1-11). London: Academic Press.
- Soares-Boucauda, I., Cheynel-Alberolad M-L. et Georgieffa, N. (2007). *La dyslexie développementale en pédopsychiatrie : diagnostic et prise en charge*. Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence. 55, 220–225.

- Stanké, B. et Lefebvre (2016). La dyslexie-dysorthographe phonologique. Dans Brigitte Stanké (dir.), *Les dyslexies-dysorthographies* (p. 69-102). Québec (Québec) : Presses de l'Université du Québec
- Stevens, A., Collins, A. et Goldin, E. A. (1982). Misconceptions in students understanding. Dans Sleeman, D. et Brown, J. S. (dir.), *Intelligent Tutoring Systems* (p. 13-24). London: Academic Press.
- Taconnat, L. (2012). *Fonctionnement et dysfonctionnement de la mémoire humaine*. Le Journal des psychologues, 297 (4), 18-23. <https://doi.org/10.3917/jdp.297.0018>.
- Taylor, F. W. (2003) Scientific Management. Dans Thompson, K., Gulick, L. H., Taylor, F. W., Sheldon, O., Follett, M. P., Roethlisberger, F. J., Mayo, E., Barnard, C. I. et Lupton, T. (2003). *The early sociology of management and organizations* (Ser. The early sociology of management and organizations, 2). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203507827>.
- Tham, J., McGrath, M., Duin, A.H. et Moses, J. (2018). *Introducing: Immersive technologies and writing pedagogy*. Computers And Composition, 2018, 50, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.compcom.2018.08.001>
- Thomas, A. (2019). *Coding the deep learning revolution*. <https://adventuresinmachinelearning.com/coding-deep-learning-ebook/>
- Tinwell (2015). *Is the uncanny valley a universal or individual response?* Interaction Studies 16 (2,) 180-185. <https://doi.org/10.1075/is.16.2.03tinissn> 1572–0373
- Ucar, H. et Kumtepe, A. T. (2016). *In Use of arcs-v motivational design model in online distance education*. Presentation at Proceedings of society for information technology & teacher education international conference in savannah, ga, united states (2016). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2016.
- Valdois, S. (2016). Les dyslexies-dysorthographies par trouble de l'empan visuo-attentionnel. Dans Brigitte Stanké (dir.), *Les dyslexies-dysorthographies* (p. 197-210). Québec (Québec) : Presses de l'Université du Québec
- Van de Weijer-Bergsma, E., Kroesbergen, E. H., Jolani, S. et Van Luit, J. E. H. (2016). *The monkey game: a computerized verbal working memory task for self-reliant administration in primary school children*. Behavior Research Methods, 48(2), 756–771. <https://doi.org/10.3758/s13428-015-0607-y>
- van Roy, R., et Zaman, B. (2017). Why gamification fails in education and how to make it successful: Introducing nine gamification heuristics based on self-determination theory. Dans M. Ma et A. Oikonomou (Éd.), *Serious Games and Edutainment Applications* (p. 485-509). Cham: Springer International Publishing.
- VanLehn, K., van de Sande, B., Shelby, R. et Gershman, S. (2010). The andes physics tutoring system: an experiment in freedom. Dans Nkambou, R., Bourdeau, J. et Mizoguchi R. (dir.). *Advances in Intelligent Tutoring Systems* (p. 421-443). Springer, Heidelberg: Studies in Computational Intelligence, vol. 308.

- Veermans, K. et Jaakkola, T. (2019). Pedagogy in educational simulations and games. Dans Cai, Y., van Joolingen, W. et Walker, Z. (2019). *Vr, Simulations and serious games for education*. Singapore, Springer Nature.
- Venne, J.F. (2021, 21 août). *Que restera-t-il de la pandémie ?* Le Devoir cahier spécial D Rentrée Scolaire du 21 août, 2021. P. D1-D4.
- Vernhes, S., Combres, L., Savournin, F. (2014). *Symptôme dyslexique et clinique du sujet*. Revue L'évolution psychiatrique, 79, 313–320.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001438551200103X>
- Vygotsky, L. S. (1933). La dynamique du développement intellectuel de l'élève en lien avec l'enseignement. Dans F. Yvon et Y. Zinchenko (dir), *Vygotsky, une théorie du développement et de l'Éducation* (2011, trad.). Recueil de textes et commentaires. Faculté de psychologie de l'Université d'État de Moscou, Lomonossov.
- Waltemeyer, S. et Cranmore, J. (2020). Closing the distance in distance learning. Dans L. Kyei-Blankson, E. Ntuli, et J. Blankson, *Handbook of research on creating meaningful experiences in online courses* (p. 14–24). essay, Information Science Reference. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0115-3.ch002>
- Wang, M., Callaghan, V., Bernhardt, J., White, K. et Pena-Rios, A. (2018). *Augmented reality in education and training: pedagogical approaches and illustrative case studies*. J Ambient Intell Human Comput (2018) 9:1391-1402. <https://doi.org/10.1007/s12652-017-0547-8>
- Wenger, E. (1987). *Artificial intelligence and tutoring systems. Computational and cognitive approaches to the communication of knowledge*. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann Publishers
- Woolf, B. P. (2009). *Building Intelligent Interactive Tutors Student-centered strategies for revolutionizing e-learning*. Burlington, MA: Morgan Kaufmann Publishers
- Xie, Y., Zhang, Y. et Cai, Y. (2019). Virtual reality engine disassembly simulation with natural hand-based interaction. Dans Cai, Y., van Joolingen, W. et Walker, Z (dir.), *VR, Simulations and Serious Games for Education* (p. 121-128). Springer.
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: design and methods* (Sixth). SAGE.

