

[Page de garde]

HEC MONTRÉAL

Apprendre en jouant: L'effet du tutoriel interactif et de la difficulté du jeu sur l'expérience d'apprentissage d'un élève du 3^e cycle du primaire confronté à des défis d'apprentissage
par
Miléna Lamoureux

Pierre-Majorique Léger
HEC Montréal
Codirecteur

Constantinos k.Coursaris
HEC Montréal
Codirecteur

Sciences de la gestion
(Spécialisation Expérience utilisateur)

*Mémoire présenté en vue de l'obtention
du grade de maîtrise ès sciences en gestion
(M. Sc.)*

Avril 2025
©Miléna Lamoureux, 2025

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'une évaluation en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains et qu'il satisfait aux exigences de notre politique en cette matière.

Projet # : 2024-5899

Titre du projet de recherche : Jeu sérieux et apprentissage du français pour les jeunes apprenants

Chercheur principal : Pierre-Majorique Léger, Professeur titulaire, Technologies de l'information, HEC Montréal

Cochercheurs : Sylvain Séneau; Constantinos K. Coursaris; Frédérique Bouvier; Luis Carlos Castiblanco; Juan Fernandez Shaw; David Brieugne; Xavier Côté; Salima Tazi; Élise Imbeault; Shang Lin Chen; Miléna Lamoureux;

Marc Fredette; Alexander John Karan

Directeur/codirecteurs : (donnée introuvable), Professeur - HEC Montréal

Date d'approbation du projet : 10 mai 2024

Date d'entrée en vigueur du certificat : 10 mai 2024

Date d'échéance du certificat : 01 mai 2025



Maurice Lemelin
Président
CER de HEC Montréal

Signé le 2024-05-13 à 16:37

Résumé

Cette étude explore l'impact d'un tutoriel interactif sur l'expérience d'apprentissage de l'enfants du 3^e cycle du primaire. Elle se concentre particulièrement sur ceux confrontés à des défis d'apprentissage, et compris ceux confrontés à des troubles d'apprentissage tels que la dyslexie, la dysorthographie et le TDAH, dans un contexte de jeu sérieux numérique. L'objectif primaire est d'évaluer dans quelle mesure la présence d'un tutoriel influence la réussite des élèves, leur charge cognitive, leur état émotionnel et leur attention visuelle dans le jeu. Dans un second plan, l'étude évalue l'influence de l'augmentation de la complexité du jeu, par sa vitesse, sur l'expérience d'apprentissage de l'enfant tout en observant si les effets du tutoriel sont maintenus. Malgré l'essor des approches pédagogiques basées sur le jeu, peu de recherches ont exploré l'effet spécifique des tutoriels sur ces variables, notamment pour les enfants en difficulté scolaire. Une étude expérimentale a été menée avec 29 participants (âge moyen de 11 ans), suivant un design combinant un facteur inter-sujet (présence vs. absence de tutoriel) et un facteur intra-sujet (trois niveaux de difficulté du jeu). L'expérience, d'une durée de 60 minutes, incluait une tâche d'échauffement, trois sessions de jeu progressives et des questionnaires post-tâche. Des mesures implicites (activité électrodermale, oculométrie) et explicites (auto-évaluations) ont été recueillies afin d'obtenir une analyse complète de l'engagement émotif, l'attention visuelle et de la charge cognitive des enfants. Les résultats suggèrent que le tutoriel interactif joue un rôle clé en facilitant l'apprentissage et en réduisant la surcharge cognitive, en accord avec la théorie de la zone proximale de développement. De plus, l'attention visuelle atteint son potentiel à une difficulté intermédiaire, tandis qu'une difficulté accrue nuit aux résultats des apprenants. Ces conclusions ont des implications pratiques pour la conception de jeux éducatifs, soulignant l'importance d'un soutien adapté aux besoins des enfants en difficulté scolaire. Cette recherche contribue également à la littérature en intégrant des outils d'évaluation multidimensionnels (physiologique, auto-reportée, évaluative), et la création de la courbe de la difficulté.

Mots clés : Apprentissage numérique, tutoriel, zone proximale de développement, difficulté d'apprentissage, environnement d'apprentissage, jeu sérieux

Méthodes de recherche : Oculométrie, activité électrodermale, reconnaissance faciale, mesure auto-reportée.

Abstract

This study explores the impact of an interactive tutorial on the learning experience of upper elementary school children (Grades 5 and 6) facing learning challenges, including diagnosed conditions such as learning disabilities (e.g., dyslexia, dysorthographia) and attention disorders (e.g., ADHD), in the context of a digital serious game. The primary objective is to assess the extent to which the presence of a tutorial influences students' achievement, cognitive load, emotional state, and visual attention during gameplay. Secondarily, the study examines how increasing the game's complexity, through its speed, affects the learning experience and whether the benefits of the tutorial are maintained across difficulty levels. Despite the growing use of game-based pedagogical approaches, few studies have specifically investigated the effects of tutorials on these variables, particularly among children with learning difficulties. An experimental study was conducted with 29 participants (mean age: 11), using a mixed design that combined a between-subjects factor (presence vs. absence of a tutorial) and a within-subjects factor (three levels of game difficulty). The 60-minute session included a warm-up task, three progressively challenging gameplay sessions, and post-task questionnaires. Both implicit (electrodermal activity, eye-tracking) and explicit (self-reports) measures were collected to provide a comprehensive analysis of the children's emotional engagement, visual attention, and cognitive load. Results suggest that the interactive tutorial plays a key role in facilitating learning and reducing cognitive overload, in line with the theory of the Zone of proximal development. Furthermore, visual attention peaks at an intermediate level of difficulty, while excessive difficulty negatively impacts performance. These findings have practical implications for the design of educational games, highlighting the importance of providing adequate support tailored to the needs of students with learning difficulties. This research also contributes to the literature by integrating multidimensional assessment tools, physiological, self-reported, and evaluative, and by introducing the concept of a difficulty curve.

Keywords: Digital learning, tutorial, zone of proximal development, learning difficulty, learning environment, serious games

Research methods: Oculometry, electrodermal activity, facial recognition, self-reported measurement

Table des matières

Résumé.....	iii
Abstract	v
Table des matières.....	vii
Liste des tableaux et des figures	xii
Avant-propos.....	xiii
Remerciements.....	xv
Chapitre 1 : Introduction	1
1.1.1 Les difficultés d'apprentissage du français.....	1
1.1.2 Les diagnostics, plus qu'une simple difficulté.....	1
1.1.3 Les difficultés qui mènent vers une certaine fragilité cognitive	2
1.1.4 L'apport dans le numérique sur la motivation et les devoirs	2
1.1.5 Les jeux sérieux d'apprentissage	3
1.1.6 Les tutoriels, un élément essentiel des jeux sérieux.....	4
1.1.7 L'importance défi-compétence	4
1.2 Les questions de recherche.....	5
1.3 Les cadres théoriques	6
1.4 La portée souhaitée de l'étude.....	9
1.5 La présentation du jeu sous étude	11
1.6 L'approche méthodologique	12
1.7 La structure du mémoire	12
Chapitre 2 Étude expérimentale sur l'impact d'un tutoriel interactif et des niveaux de difficulté d'un jeu sérieux sur les états affectifs, cognitifs et l'attention visuelle d'élèves du 3e cycle du primaire présentant des difficultés d'apprentissage	17
Résumé.....	17

2.1	Introduction.....	18
2.2	Revue de la littérature	24
2.2.1	L'apprentissage chez les enfants contraints à des difficultés d'apprentissage	24
2.2.2	Les jeux sérieux d'apprentissage : une méthode pertinente d'apprentissage .	25
2.2.3	Les environnements d'apprentissage multimédia et l'interactivité	26
2.2.4	La zone proximale de développement, le concept d'échafaudage du tutoriel et de la difficulté du jeu	27
2.2.5	Les trois dimensions sous étude : cognitives, affectives et l'attention visuelle	30
2.3	Méthodologie	37
2.3.1	Les participants	37
2.3.2	Le design expérimental	39
2.3.3	Les stimuli.....	39
2.3.4	La procédure	41
2.3.5	La présentation des instruments de mesure	42
2.3.6	L'opérationnalisation des variables de recherche	43
2.3.7	Les analyses statistiques	45
2.4	Résultats.....	46
2.4.1	Les statistiques descriptives de l'étude	46
2.4.2	Les tests et la validation des hypothèses.....	50
2.5	Discussion.....	61
2.6	Conclusion	66
2.7	Déclaration des intérêts et des collaborations.....	67
	Références.....	69
	Chapitre 3 Repenser l'expérience des enfants en difficulté dans les jeux sérieux, une étude sur les tutoriels interactifs et les différents niveaux de difficulté du jeu	83

3.1	Les jeux sérieux, un atout pour les enfants en difficulté.....	83
3.2	Les objectifs précis de l'étude.....	84
3.3	29 enfants du 3 ^e cycle sont venus en laboratoire	85
3.4	Le tutoriel est un accompagnement qui fait une différence dans l'expérience	86
3.5	L'augmentation de la complexité du jeu : vitesse de plus en plus rapide.....	86
3.6	Mais, comment cela s'applique ?	87
3.7	Une piste vers de futures études.....	88
	Références	89
	Chapitre 4 : Conclusion.....	93
4.1	Un retour sur l'étude	93
4.2	Les implications théoriques.....	94
4.3	Les implications pratiques.....	96
4.4	Les implications méthodologiques.....	96
4.5	Les limites et les nouvelles avenues de recherche	97
	Bibliographie.....	99
	Annexes.....	i
	Annexe I. Les boîtes d'instructions qui composent le tutoriel.....	i
	Annexe II. Les listes de mots présentées aléatoirement lors des parties du jeu.....	iv
	Annexe III. L'opérationnalisation des construits.....	v

Liste des tableaux et des figures

Liste des tableaux

Tableau 1. Contribution de l'étudiante durant les étapes du projet	14
Tableau 2. Liste des hypothèses.....	35
Tableau 3. Nombre de participants par âge et par sexe.	37
Tableau 4. Répartition des participants par âge.....	46
Tableau 5. Statistiques des variables étudiées selon les conditions.....	48
Tableau 6. Consultation des tutoriels.....	49
Tableau 7. Nombre de mots réussis par tâche selon la condition.	50
Tableau 8. Comparaison entre les niveaux difficulté (la vitesse) sur la réussite.	52
Tableau 9. Effet du changement de niveau de difficulté (vitesse) sur l'état d'agitation perçu.....	55
Tableau 11. Le statut des hypothèses de l'étude.....	60

Liste des figures

Figure 1. Modèle de recherche.....	36
Figure 2. L'interface du jeu.....	40
Figure 3. Comparaison entre condition A et condition B.	41
Figure 4. L'exercice d'échauffement.	42
Figure 5. La taille des pupilles.	58
Figure 6. Modèle de recherche simplifié.....	60

Avant-propos

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre du programme de maîtrise en gestion de l'expérience utilisateur à HEC Montréal. Les co-directeurs de recherche et l'administration du programme ont validé l'approche par articles pour la rédaction du mémoire, et tous les coauteurs ont confirmé leur consentement à leur inclusion dans ce travail.

Le premier article (chapitre 2), intitulé « *Étude expérimentale sur l'effet du tutoriel et des différents niveaux du jeu sur l'état affectif, cognitif et l'attention visuelle des apprenants du 3e cycle en difficultés d'apprentissage* », suit les modalités d'écriture et d'acceptation pour le *International Journal of Child-Computer Interaction*.

Le second article (chapitre 3), intitulé « *Représenter l'expérience des enfants en difficulté dans les jeux sérieux, une étude sur les tutoriels interactifs et les différents niveaux de difficulté du jeu* », est un article du type managérial suivant les modalités d'écriture et d'acceptation pour le journal *The conversation*.

Ce projet de recherche a reçu l'approbation du Comité d'éthique de la recherche (CER) de HEC sous le numéro de certificat **2024-5899** le 10 mai 2024. Le document d'approbation se trouve au début du mémoire.

Remerciements

Le mémoire, ce long pèlerinage. Merveilleux par moment, et parfois assez périlleux.

Je suis partie à l'aventure, avec peu de bagages, et une boule dans le ventre. Une boule qui exprimait un mélange d'excitation et de crainte. J'avais qu'une envie : commencer cette aventure et me laisser guider par tous les nouveaux apprentissages que celle-ci pouvait m'amener. Je suis partie, prête et motivée. Foncer dans ce monde inconnu de la maîtrise et de la recherche scientifique peut faire peur par moment, mais une chose est sûre, c'est que bien accompagnée, la route est moins dure à traverser.

Dès le début de mon aventure, Pierre-Majorique Léger et Constantinos k. Coursaris, mes superviseurs, ont été présents et m'ont partagé leur bagage avec moi. Leurs bagages, à eux, étaient bien remplis pour ce pèlerinage. Les conseils et leur dévotion ont été nécessaires pour la réussite de ce projet. Il ne faut pas laisser sous silence, Sylvain Sénécal, que je considère le sage de mon voyage. Toujours disponible pour répondre à mes questionnements et me faire avancer intellectuellement. Merci à vous trois. Par la suite, j'ai collecté plein de moments positifs, mais ardu lors du passage de la collecte à l'analyse. Merci à l'équipe du Tech3Lab, Luis, Salima, Frédérique, David, Shang Lin, Alexandra et Élise d'avoir rendu ces moments plus doux. Sans oublier, de remercier l'aide de Maya.

Lorsque je continuais mon chemin, un peu plus seule, j'ai rencontré Thaddé Rolon-Merette, un postdoctorant associé au Tech3Lab, c'est celui qui m'a remis vers le droit chemin quand toutes les directions semblaient se mélanger. Sur ce beau passage, j'ai eu la chance de rencontrer les meilleur.es coéquipier.ères : Gabriel et Alexane. Sans oublier, les innombrables fous rires avec Ikram et Rayane. Ces rires qui nous poussaient à continuer d'avancer vers la destination finale. J'ai aussi trouvé l'amour sur le passage de la maîtrise, Charles. Le support qu'il m'a apporté a été infini, et je ne le remercierai jamais assez pour cela.

Merci à mes colloques qui m'attendaient après ce long voyage, les bras ouverts et avec la plus grande écoute. Un grand merci à mes parents qui, depuis que je suis jeune, s'assurent que mes bagages soient remplis et qu'ils contiennent tous les éléments essentiels pour que je puisse avancer, et m'évader dans les apprentissages.

Je n'aurais jamais pu faire ce long voyage sans ce partenaire éducatif lié à ce projet, merci AlloProf. Un grand merci à CRSNG, de Prompt pour le soutien financier, ce soutien a été plus que nécessaire pour réussir cette aventure.

Maintenant, arrivée à la destination, je vous invite à lire le fruit de mes apprentissages de ce long pèlerinage.

Chapitre 1 : Introduction

1.1.1 Les difficultés d'apprentissage du français

L'apprentissage du français et de son écriture peut s'avérer un défi pour plusieurs apprenants (Valdois, 2010). En effet, l'apprentissage du français se définit comme étant un apprentissage formel. Contrairement à l'apprentissage verbal, qui se fait presque de manière automatique à la naissance, il est important d'utiliser des méthodes d'apprentissages précises pour montrer à lire et à écrire (Lefebvre, 2023).

Pour les enfants confrontés à des difficultés d'apprentissage, l'apprentissage du français est beaucoup plus difficile que la moyenne (Valdois, 2010). À défaut de ce que l'on pourrait penser, plusieurs enfants rencontrent des difficultés d'apprentissage important. En effet, selon le DSM-5 (2013), il y a 5% à 15 % des enfants d'âge scolaire qui présentent un trouble d'apprentissage, et le trouble le plus fréquent est la dyslexie (Institut TA, 2019). Selon Daniel Daigle, professeur au département de didactique de l'Université de Montréal, la différence entre un défi d'apprentissage et un trouble d'apprentissage se résume, par sa permanence (Daigle, 2023). Malgré un accompagnement adapté au besoin, le trouble est toujours présent (Daigle, 2023). Cela suggère l'importance d'introduire des approches stimulantes et des stratégies de soutien adaptées, afin de favoriser l'épanouissement scolaire de l'enfant confronté à de tels défis (Zou et al., 2021; Neault & Guay, 2023).

1.1.2 Les diagnostics, plus qu'une simple difficulté

Les profils des apprenants vivant avec un trouble d'apprentissage, tel que la dyslexie et dysorthographie, sont souvent variés, toutefois, ils partagent le même besoin en matière d'apprentissage, notamment un soutien pédagogique adapté et l'application de stratégies d'enseignement différentes de celles traditionnellement présentées (Vanjari et al., 2019). Les enfants conjuguant avec la dyslexie ont tendance à avoir de la difficulté à traiter le langage écrit malgré de nombreux efforts fournis (Neault & Guay, 2023). Il y a une rupture entre la capacité d'attention, et le désintérêt envers les tâches scolaires (Lefebvre & Stanké, 2016). Les enfants dyslexiques se montrent facilement distraits, et il est difficile

pour eux de fournir un effort mental soutenu (Lefebvre & Stanké, 2016). Ce comportement est similaire aux enfants ayant comme trouble d'attention, le TDAH. Le TDAH, le trouble de déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité, se manifeste par une faible attention, et d'une courte durée (Gouvernement du Québec, 2024). D'autant plus, le TDAH peut affecter le développement intellectuel de l'apprenant, ses interactions sociales et son état affectif (Gouvernement du Québec, 2024). L'enfant TDAH a de la difficulté à suivre les consignes, ou peut réagir sans réfléchir. Il peut se sentir décourager et abandonner des tâches qui demandent des efforts cognitifs soutenus. Il a un grand besoin de répétition (Gouvernement du Québec, 2024). Concernant la dysorthographie, à laquelle la dyslexie conjugue souvent, cela se définit par un trouble spécifique de l'orthographe (Institut des troubles d'apprentissage, 2019). La dysorthographie est un trouble qui impacte l'acquisition et la mémorisation de l'orthographe (Institut des troubles d'apprentissage, 2019). L'écriture phonologique tintée par la dysorthographie se traduit par une bonne compréhension du son, mais d'une mauvaise orthographe du mot (Gouvernement du Québec, 2024). Par exemple, l'enfant peut écrire le mot « bateau », comme suit, « bato » (Institut des troubles d'apprentissage, 2019 ; Gouvernement du Québec, 2024).

1.1.3 Les difficultés qui mènent vers une certaine fragilité cognitive

Les enfants en difficulté d'apprentissage sont propices à se sentir rapidement submergés par une tâche donnée (Valdois, 2010). En effet, vu qu'ils sont confrontés à des obstacles d'assimilation de nouvelles informations et d'exécution de la tâche, ils sont plus fragiles à la surcharge cognitive (Snowling & Hulme, 2013). Cette surcharge mentale peut entraver leur expérience d'apprentissage, et venir nuire à leur réussite (Snowling & Hulme, 2013). Ainsi, il s'avère encore plus important d'introduire des méthodes pédagogiques d'apprentissage adaptées à leur condition. Le numérique et les outils technologiques sont une piste de solution possible pour venir appuyer ces apprenants dans leur apprentissage (Haleem et al., 2022).

1.1.4 L'apport dans le numérique sur la motivation et les devoirs

L'intégration d'outils éducatifs numériques et ludiques, comme les jeux sérieux, permet de renforcer les méthodes d'enseignement classiques dans le domaine de l'éducation (Garard et al., 1998 ; Holmes, 2011). De ce fait, plusieurs recherches mentionnent que l'apprentissage numérique favorise la créativité et donne un grand sentiment de réussite aux apprenants, tout en les encourageant à apprendre par de nouvelles techniques d'apprentissage différentes de celles traditionnelles (Haleem et al., 2022).

De nos jours, les apprenants évoluent dans des écosystèmes d'apprentissage auxquels ils sont capables d'apprendre par eux-mêmes selon leurs compétences et habiletés, tout en incluant son environnement physique et social (Nagels et al., 2018). Plusieurs outils sont à leur disposition pour atteindre leurs objectifs d'acquisition de connaissance tout en persévérand malgré les difficultés, tels que les tablettes, les simulations et les jeux sérieux d'apprentissage (Nagels et al., 2018).

1.1.5 Les jeux sérieux d'apprentissage

Aux attributs motivationnels et éducatifs, les jeux sérieux sont des alternatives dans le monde de l'apprentissage très pertinentes (Cohard, 2015 ; Krath et al., 2021). Les jeux sérieux se définissent comme étant des « applications informatiques dont l'intention est de combiner à la fois des aspects d'enseignement, d'apprentissage, d'entraînement, de communication ou d'information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo » (Michaud, L., & Alvarez, J., 2008). Ils contribuent au développement de compétences, telles que la résolution de problème, la créativité, l'apprentissage que ce soient les mathématiques ou le français, et sont des atouts pour la formation (Krath et al., 2021).

Dans un contexte d'apprentissage, la littérature présente plusieurs bénéfices d'utiliser les jeux sérieux sur le plan cognitif, attentionnel, motivationnel et affectif, tous des dimensions importantes pour une expérience d'apprentissage optimale (Riopel et al., 2019). Plusieurs études mentionnent que les jeux sérieux aident à l'engagement de l'apprenant, et poussent les apprenants à s'améliorer, et ainsi d'obtenir de meilleurs résultats scolaires, par exemple (Göbel et al., 2018). Ils offrent aussi des possibilités d'évaluation formative en temps réel, et viennent offrir une rétroaction, un élément

important dans le contexte scolaire et de l'apprentissage chez les apprenants (Wouters et al., 2013 ; Krath et al., 2021).

Un élément essentiel à la conception de jeu sérieux est le tutoriel, qui offre du support à l'apprenant et aussi indique clairement les actions à prendre dans le jeu (Anderson et al., 2012).

1.1.6 Les tutoriels, un élément essentiel des jeux sérieux

Instruire les nouveaux joueurs sur la procédure du jeu constitue un défi crucial (Andersen et al., 2012). Le tutoriel agit comme un guide d'apprentissage, favorisant l'autonomie pendant le jeu et poursuivant des objectifs d'engagement et de rétention du joueur (Andersen et al., 2012). Le système efficace du tutoriel est un élément essentiel dans les jeux sérieux. Il fournit les instructions de manière précise dans le but d'augmenter la maîtrise du joueur dans les mécanismes de jeu tout en permettant à celui-ci de se concentrer seulement sur l'apprentissage (Cao & Liu, 2022 ; Shannon et al., 2013) dans ce cas-ci, du français. Il existe plusieurs manières de concevoir un tutoriel et de séquencer les savoirs et/ou instructions. Les différences des tutoriels se trouvent principalement dans le style sensoriel de sa conception (visuel, auditif, tactile, kinesthésique) qui influe sur la manière de transmettre l'information (Andersen et al., 2012). Ainsi, la conception peut inclure de l'audio, de l'animation, prendre une forme de vidéo ou de textes et d'images. Le tutoriel peut intervenir à plusieurs reprises dans le jeu ou simplement être présenté en guise de manuel d'instructions au début du jeu (Andersen et al., 2012).

1.1.7 L'importance défi-compétence

Si le jeu n'a pas de défi, l'apprenant peut se sentir démotivé rapidement (Cantuni, 2020). Il est important dans un jeu sérieux de penser à l'équilibre défi versus compétences (Cantuni, 2020). Un niveau optimal de défi correspond à des tâches auxquelles les joueurs sont capables de résoudre, mais qui demandent un certain niveau d'engagement, sans que le défi ne soit inatteignable (Sampayo-Vargas et al., 2013). Autrement dit, un défi bien équilibré motive l'apprenant, tandis qu'une trop grande difficulté inadaptée entraîne une frustration et un désengagement (Cantuni, 2020 ; Sampayo-Vargas et al., 2013).

Il faut savoir qu'il existe deux grandes approches pour introduire la difficulté dans les jeux sérieux (Faber et al., 2024). Le premier est l'ajustement de la difficulté non adaptative : les paramètres de difficulté restant constants à travers le jeu, indépendamment des performances du joueur (Faber et al., 2024; Sampayo-Vargas et al., 2013). Ils sont prédéterminés. Le second est l'ajustement de la difficulté adaptative : les paramètres de difficulté s'ajustent en temps réel en fonction des performances du joueur, ce qui permet de personnaliser le niveau de défi, afin qu'il soit adapté (Faber et al., 2024).

En résumé, l'équilibre entre le défi et le plaisir constitue un aspect fondamental dans la conception des jeux sérieux, car elle impacte directement l'engagement et la réussite des apprenants (Aponte et al., 2009; Cantuni, 2020). Un niveau de difficulté bien équilibré favorise l'apprentissage en maintenant l'apprenant dans sa *zone proximale de développement*, lui permettant d'évoluer sans éprouver des émotions négatives et de se sentir motivé (Aponte et al., 2009 ; Hung et al., 2014). À l'inverse, une difficulté trop élevée peut engendrer une surcharge cognitive, rendant la tâche insurmontable et entraînant une perte de motivation (Cantuni, 2020). Ainsi, la courbe de difficulté joue un rôle clé en assurant une progression adaptée aux capacités de l'apprenant (Aponte et al., 2009). Dans cette étude, la difficulté du jeu est prise en compte. Elle se traduit par une augmentation de la vitesse à chaque niveau du jeu, en conséquence, l'enfant doit répondre à la tâche demandée plus rapidement à chaque niveau du jeu. La difficulté ici est non adaptative (Sampayo-Vargas et al., 2013).

1.2 Les questions de recherche

Sachant que les enfants en difficulté d'apprentissage présentent des difficultés dans l'intégration de nouvelles informations, l'acquisition, la compréhension des consignes liées à l'exécution des tâches, et qu'ils font souvent face à une surcharge cognitive (Snowling & Hulme, 2013), l'étude se penche sur deux grandes questions :

RQ1- Dans quelle mesure la présence d'un tutoriel interactif influence-t-elle l'expérience d'apprentissage des étudiants du 3e cycle rencontrant des difficultés, en termes de réussite, de charge cognitive, d'état affectif et d'attention visuelle dans un jeu sérieux?

RQ2- Dans quelles conditions la présence d'un tutoriel interactif continue-t-elle d'influencer l'expérience d'apprentissage des étudiants du 3e cycle rencontrant des difficultés — en termes de réussite, de charge cognitive, d'état affectif et d'attention visuelle — lorsque la complexité du jeu augmente graduellement?

Les questions posées dans ce mémoire tentent de démystifier l'aide apportée par le tutoriel interactif pour une population de jeunes apprenants vulnérables à leur difficulté d'apprentissage. L'étude cherche à déterminer si celui-ci joue un rôle crucial dans l'expérience d'apprentissage et les mécanismes de l'apprentissage, particulièrement la charge cognitive, et de voir comment cela s'interprète lorsque le niveau de difficulté du jeu augmente de manière graduelle.

1.3 Les cadres théoriques

Afin de soutenir les questions de recherche mentionnées précédemment, quelques modèles et théories appuient les concepts étudiés et les différentes dimensions - affective, cognitive et attentionnel- de l'expérience d'apprentissage de l'enfant (Cuisinier et al., 2010 ; Giannakos, 2013).

Avant tout, il faut savoir que l'apprentissage est influencé par des processus cognitifs (mémoire de travail, charge cognitive, organisation de l'information) et par des processus affectifs (émotions, motivation, engagement) (Fredricks et al., 2004 ; Arezki, 2021). Le modèle d'apprentissage de la *cognitive-affective* de Moreno repose sur l'idée que les émotions et les processus cognitifs sont interdépendants, ce qui influence la manière dont les apprenants traitent l'information dans des environnements d'apprentissage (Mayer & Moreno, 2003). Autrement dit, les émotions dites positives, comme la joie et le plaisir, favorisent un engagement plus important et une meilleure rétention de l'information, tandis que les émotions négatives, telles que la frustration, la tristesse, la peur et la colère peuvent nuire à l'apprentissage (Fredricks et al., 2004) et de ce fait, surcharger la mémoire de travail de l'apprenant (Mayer et al., 2014). L'application du modèle code Moreno peut supporter la pensée que le tutoriel interactif agit à titre de soutien affectif et cognitif (Mayer & Moreno, 2003). Tout en réduisant la charge cognitive de l'apprenant et en

valorisant une expérience émotive positive (Schlichting, 2016), cela permet à l'enfant en difficulté de s'engager et de réussir dans un environnement de jeu d'apprentissage.

Lorsqu'on ajoute la théorie de *multimedia learning* de Mayer au modèle de la *cognitive affective*, le modèle combiné intègre les composantes affectives et motivationnelles aux principes cognitifs pour interpréter de quelle manière les apprenants acquièrent des informations et connaissances à partir de supports multimédias (Mayer, 2024). En effet, l'utilisation de supports multimédias, comme par exemple, des animations, des plateformes de jeu numérique, des tutoriels, des contenus visuelles, des boîtes textes, peut venir engager émotionnellement et cognitivement l'apprenant (Mayer & Anderson, 1992). Ce modèle combiné présente le média (texte, illustration, son, explications orales) comme étant un élément qui influence la mémoire sensorielle (auditive ou visuelle) (Mayer, 2024). Par les éléments d'attention et de perception que le média apporte, cela vient indirectement impacter la mémoire de travail, qui est aussi influencée par l'affectif, la motivation et la charge cognitive (Erhel & Jamet, 2013). En effet, la charge cognitive est une notion rattachée à la mémoire du travail (Seufert, 2018). Lorsqu'on se concentre sur la théorie de la charge cognitive de Sweller, la théorie présente trois charges cognitives distinctes : intrinsèque, extrinsèque et essentielle (germane) (Sweller, 2010). Dans ce contexte de recherche-ci, le tutoriel interactif, qui présente des boîtes d'informations pour dicter l'apprenant dans les tâches à accomplir, et qui ne touche pas aux compétences d'apprentissage pédagogique (Erhel & Jamet, 2013 ; Seufert, 2018), sollicite la charge cognitive dite extrinsèque (Sweller, 2010). Ainsi, lorsqu'on applique la théorie, le média, soit le tutoriel interactif (texte et visuel), vient influencer la mémoire de travail, qui a son tour, diminue la charge cognitive de l'apprenant (Erhel & Jamet, 2013 ; Sweller, 2005).

D'autant plus, le tutoriel présente les informations qui guide l'enfant, ce qui favorise un certain équilibre entre le défi et l'assistance (Wood & Ross, 2006 ; Hung et al., 2014). L'optimisation de l'équilibre entre le défi et les compétences est un concept expliqué par la théorie de la zone proximale de développement (Vygotsky & Cole, 1978). La théorie de la zone proximale de développement stipule que les apprenants peuvent réaliser des tâches plus complexes, avec l'aide d'un support technologique ou d'une aide d'un enseignant par exemple (Shabani, 2012). Tout en accord avec la théorie de la zone

proximale de développement, l'article de Zhang et al. introduit la notion d'instructions de type échafaudage (Zhang et al., 2018). L'échafaudage, est un concept auquel Bruner, un psychologue américain, présente comme une stratégie pédagogique qui permet de soutenir les élèves dans leur apprentissage en leur fournissant des outils et des ressources adaptés à leur niveau de compréhension et d'acquisition des compétences (Zhang et al., 2018). Ainsi, à chaque niveau du jeu, la difficulté des tâches sollicite l'apprenant juste au-delà de son niveau actuel, tout en requérant une aide initiale pour qu'il puisse les accomplir avec succès. (Hung et al., 2014 ; Cohard, 2015). L'aide initiale, dans le contexte de l'étude, s'avère à être le tutoriel présenté seulement à la première partie du jeu (soit le niveau le plus facile). Dans la théorie de la zone proximale de développement, un soutien adapté, que ce soit par la démonstration, la guidage ou l'encouragement, est un élément nécessaire pour aider l'apprenant à relever le défi (Hung et al., 2014 ; Anish et al., 2021). Dans une perspective d'offrir à l'apprenant une expérience d'apprentissage optimale, la zone recherchée est celle à laquelle les tâches sont légèrement au-dessus des compétences actuelles de l'apprenant, et à l'aide du soutien, les défis, soit l'accomplissement des tâches plus rapidement, ces défis sont surmontables (Hung et al., 2014). Si le défi est trop grand, il y aura une zone de rupture, où les tâches sont trop complexes et, même avec un support, découragent l'apprenant et nuisent à sa réussite (Aponte et al., 2009). Dans le cas contraire, lorsque la zone atteinte est celle de confort, les tâches présentées à l'apprenant sont déjà maîtrisées sans assistance, ce qui peut nuire à son engagement et ne favorise pas le développement de nouvelles compétences. (Hung et al., 2014; Cohard, 2015).

La zone proximale de développement : une lentille théorique pertinente

Issue du constructivisme socioculturel, la théorie de la zone proximale de développement offre une lentille théorique pertinente pour étudier l'effet d'un outil d'assistance technologique sur les mécanismes d'apprentissage (Cohard, 2015). En effet, plusieurs études utilisent cette lentille pour bien résumer les principes pédagogiques et de conception utilisés dans la réalisation d'activité d'apprentissage (Cohard, 2015 ; Hung et al., 2014).

Un exemple qui utilise cette théorie dans son analyse et développement de l'étude est l'étude sur l'outil d'assistance technologique Writaupair (Anish et al., 2021). Writaupair est une plateforme d'assistance contextuelle pour les enfants rencontrant des difficultés d'écriture. Elle diagnostique le type et l'étendue de la difficulté d'apprentissage et fournit une assistance ciblée sous forme de mots-clés, de phrases ou de suggestions de phrases suivantes (Anish et al., 2021). L'objectif principal est de stimuler la pensée topique et d'améliorer la capacité des enfants à composer des textes longs de manière plus autonome, en les soutenant dans leur zone proximale de développement (Anish et al., 2021). Writaupair adopte une stratégie d'échafaudage, un concept inspiré de la théorie de la Zone proximale de développement de Vygotsky (Anish et al., 2021 ; Vygotsky & Cole, 1978).

Dans la continuité des recherches portant sur l'expérience d'apprentissage assistée par des outils technologiques, l'étude de Chiang et al. présente une recherche pertinente sur l'apprentissage de l'anglais, en s'appuyant sur la théorie de la zone proximale de développement (Chiang et al., 2020). L'étude intègre le robot éducatif qui permet aux élèves de surmonter des obstacles qu'ils ne peuvent pas résoudre seuls. L'assistance offerte par cet outil technologique éducatif a favorisé leur progression de la langue anglaise, suivant la théorie de la zone proximale de développement (Chiang et al., 2020). L'objectif principal est de cette étude est de comprendre de quelle manière ces technologies peuvent être utilisées pour améliorer l'apprentissage des langues étrangères en milieu scolaire, en analysant les interactions réelles (Chiang et al., 2020). Ainsi, l'étude est arrivée à la conclusion que l'assistance des enseignants, des robots et des camarades offre différents types de soutien pour surmonter les obstacles (Chiang et al., 2020). Ceci illustre bien les avantages d'utilisation du concept d'échafaudage en accord avec la théorie de Vygotsky sur l'expérience d'apprentissage (Vygotsky & Cole, 1978).

1.4 La portée souhaitée de l'étude

Au meilleur de nos connaissances et au regard de la littérature existante, peu d'études ont exploré l'impact des tutoriels interactifs dans les jeux sérieux d'apprentissage destinés aux élèves du primaire, en particulier ceux en difficulté d'apprentissage.

Ainsi, cette étude vise à mieux comprendre les bénéfices des tutoriels, notamment en ce qui concerne leur effet sur les dimensions qui définissent l'expérience d'apprentissage, soit la charge cognitive, l'attention visuelle, l'état affectif et la réussite des apprenants.

L'intégration d'un tutoriel interactif constitue un soutien stratégique efficace pour réduire la complexité des tâches et optimiser l'utilisation de la mémoire de travail (Cantuni, 2020 ; Chandler & Sweller, 1991). Cette diminution de la charge cognitive est particulièrement importante chez les élèves présentant des troubles d'apprentissage tels que la dyslexie, la dysorthographie et le TDAH (Lefebvre & Stanké, 2016). Dans cette optique, cette recherche apporte une contribution théorique en approfondissant les concepts de charge cognitive (Sweller, 1994), la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2024) et de la théorie de la zone proximale de développement (Vygotsky, 1978).

Selon cette dernière, un apprenant peut accomplir des tâches qui dépassent son niveau de compétence actuel lorsqu'il bénéficie d'un soutien adapté. Le tutoriel joue ici un rôle de médiateur cognitif (Anish et al., 2021 ; Zhang et al., 2018), en guidant les apprenants et en leur permettant d'atteindre progressivement des niveaux de compétence plus élevés. Concrètement, dans le cadre de cette étude, le tutoriel permet aux enfants de se concentrer sur l'apprentissage des concepts clés du jeu, car ils bénéficient d'instructions et d'exemples clairs, limitant ainsi la surcharge cognitive et favorisant leur réussite (Shannon et al., 2013).

Au-delà de ses contributions théoriques, cette recherche porte un intérêt pratique et utile pour les concepteurs d'activités pédagogiques, tels que des organismes comme Alloprof, qui s'interroge sur la pertinence d'investir dans la création de tutoriels interactifs. Les résultats de l'étude peuvent mener vers une prise de décision plus éclairée en montrant l'effet du tutoriel interactif sur l'expérience d'apprentissage, tout en se questionnant sur le maintien de cet effet à travers la complexité du jeu qui augmente. Puisque l'étude vise aussi à voir l'effet de la complexité, représentée ici par trois niveaux de vitesse graduelle du jeu, sur l'expérience d'apprentissage chez l'enfant en difficulté et, vérifier si cet effet influence l'impact du tutoriel.

De manière plus générale, cette étude met en évidence l'importance de concevoir des supports pédagogiques pour des enfants en difficulté d'apprentissage, afin d'optimiser leur engagement et leur réussite scolaire. Elle explore aussi l'effet de l'augmentation de la complexité dans un jeu sérieux chez des enfants en défi d'apprentissage.

1.5 La présentation du jeu sous étude

Le jeu sous étude se nomme Magimot, un jeu sérieux qui vise à renforcer les compétences en correspondance phonème-graphème tout en immergeant les apprenant dans un univers fantastique stimulant. Le principe du jeu se résume à écouter le mot dicté par la voix intégrée du jeu, et de l'écrire plus rapidement possible, sans erreurs, à l'aide du clavier. L'enfant doit protéger le personnage principal des ennemis qui s'approchent de lui. La seule façon de le protéger c'est par la réussite des mots. En cas d'erreur, une rétroaction corrective est immédiatement fournie, permettant à l'enfant de prendre conscience de son erreur, et par la suite, si le mot est répété, réussit à l'écrire adéquatement.

Le jeu se déroule en trois parties successives, chacune dure entre 4 et 7 minutes, et s'appuie sur une progression en vitesse : Partie 1 (lent), Partie 2 (moyen) et Partie 3 (rapide). Pour faciliter l'apprentissage, les participants du groupe expérimental débutent avec un tutoriel interactif, présenté après une bande dessinée d'introduction. Ce tutoriel fournit des instructions progressives sur les mécaniques du jeu, incluant l'utilisation des potions magiques et la sélection des cartes de pouvoir. Il y a au total 8 boîtes qui composent le tutoriel, et qui sont présentées tout au long de la première partie de jeu seulement. L'environnement sonore joue un rôle immersif grâce à une trame musicale et à des effets sonores produits par les personnages en cas de réussite. Toutefois, ces stimuli auditifs restent constants pour tous les participants et ne sont pas analysés dans cette étude.

L'expérimentation utilise la version 1.2.5 du jeu en version bureau (*desktop*). Les listes de mots utilisées dans les différentes parties ont été conçues par une spécialiste en pédagogie et adaptées au niveau des élèves du 3e cycle du primaire. Le jeu se trouve sur le site d'Alloprof, et il a été créé par l'équipe d'Alloprof. Alloprof est un organisme qui œuvre dans le soutien pédagogique en donnant des ressources aux enseignants,

enseignantes et étudiants du Québec gratuitement depuis 1996 (AlloProf, s. d.). Il aime s’identifier comme étant le complice de la réussite scolaire.

1.6 L’approche méthodologique

Une méthodologie rigoureuse a été mise en œuvre pour garantir l’éthique et la validité des résultats obtenus. L’échantillon comprend 29 enfants du 3e cycle du primaire (5e et 6e année), avec une moyenne d’âge de 11 ans (10 à 12 ans), tous confrontés à des défis d’apprentissage, incluant des diagnostics tels que le TDAH, la dyslexie et la dysorthographie. Le consentement parental a été obtenu, et celui des jeunes apprenants aussi, garantissant leur compréhension et leur liberté de quitter l’expérience à tout moment. L’étude suivait un design expérimental 2 x 3, combinant un facteur inter-sujet (présence ou absence d’un tutoriel) et un facteur intra-sujet (trois niveaux de difficulté du jeu : vitesse lente, moyenne et rapide). L’expérience, d’une durée totale de 60 minutes, incluait, une tâche d’échauffement, trois sessions de jeu à vitesses croissantes et un questionnaire post-tâche après chaque session. Les données recueillies combinaient des mesures implicites (activité électrodermale, oculométrie) et explicites (auto-évaluations), offrant une analyse complète de l’interaction des participants avec la plateforme de jeu en ligne et du tutoriel interactif axée sur l’apprentissage de mots de vocabulaire.

1.7 La structure du mémoire

Ce mémoire est structuré de manière à présenter de deux articles, un du type scientifique et écrit sous un angle managérial. Cela permet de mettre en lumière la contribution théorique de l’étude du tutoriel interactif, de manière plus rigoureuse par l’article scientifique, et explorer des implications plus pratiques à l’industrie du tutoriel et des jeux sérieux d’apprentissage par l’article managérial.

Résumé de l’article 1 : L’article 1 « Étude expérimentale sur l’effet du tutoriel et des différents niveaux du jeu sur l’état affectif, cognitif et l’attention visuelle des apprenants du 3e cycle en difficultés d’apprentissage », (suit les modalités d’écriture et d’acceptation pour le *International Journal of Child-Computer Interaction*) évalue et compare l’impact de la présence du tutoriel sur l’expérience, l’état cognitif, l’attention visuelle et la réussite

chez des apprenants de 5^e et 6^e année du primaire ayant des défis d'apprentissage à travers différents niveaux de difficulté du jeu. Dans ce contexte-ci, la difficulté du jeu est créée par une croissance de vitesse à chaque niveau de jeu. Les résultats montrent que le tutoriel a été une aide dans la réussite de l'enfant. Le groupe exposé au tutoriel ont de meilleurs résultats que le second groupe n'ayant pas été exposé au tutoriel. Cela s'explique par l'effet du tutoriel sur la charge cognitive, le tutoriel diminue la charge cognitive de l'apprenant, un mécanisme important dans l'expérience d'apprentissage. Cet effet de diminution de la charge cognitive par le tutoriel a été plus marqué pour les enfants ayant un diagnostic, soit dyslexie, dysorthographie et TDAH. Néanmoins, les mécanismes de l'état affectif et de l'attention visuelle ne semblent pas influencer directement la réussite dans cette étude. D'autant plus, l'effet de la difficulté sur l'état affectif a été significatif entre le niveau lent, 1^{ère} partie, et rapide, 3^e partie. Plus le niveau est rapide, plus l'enfant se perçoit plus agité. Par ailleurs, l'augmentation de la difficulté du jeu a un impact sur la réussite de l'apprenant. Plus le jeu est rapide, moins l'enfant réussit bien peu importe s'il y a présence ou pas d'un tutoriel. Il a été conclu que le niveau de difficulté moyen, est celui où l'attention visuelle a atteint son plein potentiel. Cela suggère en quelque sorte que le niveau de difficulté moyen est le niveau le mieux équilibré selon les habiletés et compétences de l'enfant dans ce contexte de jeu-ci.

Résumé de l'article 2 : L'article 2, « Repenser l'expérience des enfants en difficulté dans les jeux sérieux, une étude sur les tutoriels interactifs et les différents niveaux de difficulté du jeu », écrit pour le journal *The Conversation* présente deux recommandations suivant les résultats de l'étude. Un article qui s'adresses aux éditeurs de jeu et aux enseignants du primaire.

Pour terminer, une conclusion résumera les principaux résultats et les contributions essentielles de l'étude, en mettant en évidence les implications théoriques, pratiques et méthodologiques de l'étude, et terminera, en formulant des recommandations pour les recherches futures dans ce domaine.

Tableau 1. Contribution de l'étudiante durant les étapes du projet

Étapes	Tâches et contributions de l'étudiante
Développement des questions de recherche	Identification des points inexplorés dans la littérature – 85%
	Définition de la problématique – 70% (aide de mes codirecteurs).
	Définition des questions de recherche – 60% (aide de mes codirecteurs, partenaire)
Revue de la littérature	Recherche, lecture et évaluation des articles – 90%
Conception de l'expérience	Développement des stimuli – fourni par le partenaire industriel.
	Développement du protocole expérimental – 70%
	<ul style="list-style-type: none"> o Développement des tâches, déroulement du test et création du protocole. o Sélection des échelles de mesure.
	L'équipe de recherche s'est occupée du 20% restant.
Application au comité d'éthique	Préparation des différents documents et formulaires, relecture et corrections des documents. – 30%
	L'équipe de recherche s'est occupée du 70% restant.
Recrutement des participants	Recrutement–70% <ul style="list-style-type: none"> o Communication avec les participants.

- o Recherche de participants qui respectaient les critères, faire des annonces.

- o Envoi des documents éthiques, s'assurer d'avoir la signature du parent et de l'enfant.

L'équipe de recherche, le partenaire et une école partenaire se sont occupés du 30% restant.

Prétests et collecte de données	Gestion des prétests et de la collecte de données – 80%
---------------------------------	---

- o Planification des plages horaires.

- o Utilisation des outils.

- o Une majorité de la modération.

- o Recherche et achat des compensations. En collaboration avec l'équipe de recherche.

Analyse des données	Analyse, choix des tests – 60%
---------------------	--------------------------------

L'équipe de recherche et le statisticien du Tech3Lab se sont occupés du 40% restant (extraction des données et nettoyage).

Écriture du mémoire	Écriture du mémoire – 100%
---------------------	----------------------------

et des articles	Écriture de l'article 1 – 90% (les co-auteurs se sont occupés du 10% restant).
-----------------	--

	Écriture de l'article 2 – 100% (commentaires reçus par mes codirecteurs)
--	--

Chapitre 2

Étude expérimentale sur l'impact d'un tutoriel interactif et des niveaux de difficulté d'un jeu sérieux sur les états affectifs, cognitifs et l'attention visuelle d'élèves du 3e cycle du primaire présentant des difficultés d'apprentissage

Miléna Lamoureux, Pierre-Majorique Léger, Constantinos k. Coursaris, Sylvain Sénéchal, Thaddé Rolon-Merette

Tech3Lab, HEC Montréal, Montréal, Canada

Résumé

L'intégration des jeux sérieux en éducation représente une approche prometteuse pour soutenir l'apprentissage des enfants rencontrant des difficultés d'apprentissage (Holmes, 2011). Toutefois, ces jeux présentent des défis cognitifs importants lorsque la tâche à exécuter est difficile à comprendre, notamment lorsque la complexité du jeu augmente. Il y a un manque de recherches dans la littérature qui aborde l'effet d'un tutoriel chez l'apprenant du primaire rencontrant des difficultés d'apprentissage sur l'ensemble des dimensions (cognitive, émotionnelle, affective) de cette étude, soit celle qui compose une expérience engageante. Cette étude analyse l'effet d'un tutoriel interactif sur l'expérience de jeu des élèves du troisième cycle primaire en difficulté d'apprentissage. Plus précisément, elle analyse l'impact du tutoriel sur la charge cognitive, l'attention visuelle, l'état affectif et la performance, en fonction du niveau de difficulté du jeu. L'étude tente à affirmer ceci : 1) la présence du tutoriel réduira la charge cognitive des apprenants, particulièrement chez ceux ayant un diagnostic. Cette diminution de la charge cognitive favorisera leur réussite. 2) Une augmentation de la vitesse du jeu influencera l'état affectif et l'attention visuelle de l'apprenant, avec une activation émotionnelle accrue et une attention visuelle renforcée à un niveau modéré de difficulté. 3) Une difficulté accrue entraînera une baisse de réussite, car une vitesse trop élevée dépassera les capacités des apprenants.

Un design expérimental de 2x3 a été utilisé, avec un facteur inter-sujet (présence ou absence du tutoriel) et un facteur intra-sujet (trois niveaux de difficulté : lent, moyen, rapide). L'échantillon comprend 29 enfants en difficulté d'apprentissage, répartis aléatoirement entre les conditions expérimentales. Les données recueillies combinent des

mesures explicites (auto-déclarées) et implicites (activité électrodermale, oculométrie). Tous ont été exposés à un jeu sérieux auquel il est demandé d'écrire des mots de vocabulaire, à différentes vitesses pour chaque partie. La vitesse, soit la difficulté du jeu, est graduelle. Une partie des participants ont été exposé au tutoriel interactif, afin d'évaluer adéquatement ces effets.

Les résultats indiquent que le tutoriel réduit significativement la charge cognitive des participants, avec un effet plus marqué chez les enfants ayant un diagnostic spécifique (dyslexie, dysorthographie, TDAH). Par ailleurs, l'attention visuelle de l'apprenant atteint son niveau optimal à la difficulté moyenne, suggérant qu'un niveau de défi modéré favorise l'engagement cognitif. En contrepartie, l'augmentation de la difficulté entraîne une hausse du niveau d'agitation perçu. Bien que la difficulté du jeu impacte l'attention visuelle et l'état affectif, le tutoriel ne semble pas influencer ces effets de manière significative dans l'expérience de l'enfant. Ces résultats relèvent l'importance d'un accompagnement interactif dans les jeux éducatifs afin d'améliorer l'expérience d'apprentissage des enfants en difficulté, tout en tenant compte de la complexité graduelle des tâches.

Mots-clés : *jeu sérieux, tutoriel interactif, charge cognitive, attention visuelle, scaffolding game, learning disabilities.*

2.1 Introduction

L'apprentissage du français, en particulier de l'écriture, représente un défi majeur pour de nombreux élèves du primaire (Valdois, 2010). Contrairement à l'acquisition du langage oral, qui s'opère de manière spontanée dès la naissance, l'apprentissage de la lecture et de l'écriture requiert des méthodes pédagogiques spécifiques et structurées (Lefebvre, 2023). En effet, l'acte de lire est un processus hautement complexe qui mobilise, dans un temps très court, l'exécution simultanée de multiples opérations mentales, allant de l'analyse de l'information visuelle à l'activation des réseaux de connaissances sur le décodage de la langue, les mots et leurs sens (Valdois, 2010). Parallèlement, cette difficulté dans la lecture mène vers une maîtrise insuffisante de l'écriture (Valdois, 2010).

Cette difficulté est encore plus marquée chez les élèves présentant des troubles d'apprentissage (Daigle, 2023). Selon le DSM-5 (2013), entre 5 % et 15 % des enfants d'âge scolaire rencontrent un trouble d'apprentissage, la dyslexie étant le plus fréquent (Institut TA, 2019). Les enfants en difficulté d'apprentissage présentent des difficultés dans l'intégration de nouvelles informations, l'acquisition, la compréhension des consignes liés à l'exécution des tâches (Alloway et al., 2006). En conséquence, ils font souvent face à une surcharge cognitive (Alloway et al., 2006). Ainsi, ces jeunes apprenants en difficulté d'apprentissage sont plus susceptibles d'avoir de faibles résultats (Ordre des psychologues du Québec, 2014). Par leurs résultats scolaires plus faibles, ils ont souvent une estime de soi plus fragile, ce qui crée un manque de motivation dans la réalisation de tâches pédagogiques (Ordre des psychologues du Québec, 2014).

Enfin d'émettre la différence entre les profils d'un élève en difficulté d'apprentissage et celui ayant un trouble d'apprentissage, Daniel Daigle, professeur au département de didactique de l'Université de Montréal, a expliqué cette distinction. La différence entre un défi d'apprentissage et un trouble d'apprentissage réside dans la permanence de ce dernier. Malgré un accompagnement adapté, il demeure présent tout au long du parcours scolaire (Daigle, 2023). De plus, un trouble de l'apprentissage est un trouble qui affecte plusieurs processus psychologiques importants impliqués dans la compréhension, l'usage du langage, écrit ou parlé, ce qui peut mener l'enfant vers une incapacité à bien écrire, penser et parler (Vanjari et al., 2019). Il est important de trouver des moyens stimulants d'apprentissage, qui prennent en compte des réalités et des fonctions cognitives des enfants vivant avec des difficultés d'apprentissage, des troubles d'apprentissage ou des troubles de l'attention (Vanjari et al., 2019). Afin, il faut tout simplement appliquer les stratégies et le soutien appropriés pour leur permettre de s'épanouir dans leur apprentissage (Vanjari et al., 2019).

Une des manières d'enrichir les approches pédagogiques traditionnelles est l'intégration d'outils numériques ludiques, tels que les jeux sérieux (Haleem et al., 2022 ; Holmes, 2011). De nombreuses recherches soulignent que l'apprentissage numérique stimule la créativité et renforce le sentiment de réussite des apprenants (Haleem et al., 2022). La possibilité de retour immédiat, rétroaction en temps réel, dans les jeux sérieux permet de

corriger rapidement les erreurs faites par l'apprenant (Wouters et al., 2013). Cela permet à l'apprenant de prendre conscience de son erreur dans le moment présent.

L'exemple de GraphoGame, un logiciel audiovisuel finlandais, avec plus de 5 millions de téléchargement a suscité un grand engouement dans le monde de l'éducation (Ruiz et al., 2018). À la suite d'une étude menée auprès d'enfants de 7 à 8 ans à risque de dyslexie, il a été observé une progression plus marquée en lecture de mots après un entraînement avec GraphoGame, comparé à un entraînement traditionnel non informatisé (Ruiz et al., 2018). Sa considération pour les enfants dyslexiques inspire à s'interroger sur la valeur des jeux sérieux chez les enfants avec défi d'apprentissage. Ainsi, la création d'environnement numérique et multimédia est une solution prometteuse pour les apprenants, particulièrement les troubles d'apprentissage, à s'épanouir et à renforcer leur confiance (Vanjari et al., 2019).

En créant ces environnements numériques basés sur le jeu, il reste important que les mécanismes du jeu soient bien compris, afin d'éviter une surcharge et frustration de la part de l'apprenant (Cantuni, 2020 ; Haleem et al., 2022) Dans le contexte éducatif, des études montrent que les enfants en difficulté bénéficient davantage d'un soutien direct lorsqu'une enseignante lit les instructions et en facilite la compréhension, comparativement à une lecture autonome des consignes (Iversen & Tunmer, 1993). Cela suggère que l'accompagnement joue un rôle clé dans la réduction de la charge cognitive et l'amélioration de l'apprentissage. Toutefois, dans le monde du jeu, un référent en termes de support est le tutoriel. Qu'il soit adaptatif, interactif, sous forme de vidéo, le tutoriel peut intervenir à plusieurs reprises dans le jeu ou simplement être présenté en guise de manuel d'instructions au début du jeu (Andersen et al., 2012). Un tutoriel bien conçu peut réduire la charge cognitive, en offrant un soutien, et permettre aux apprenants d'explorer tout en étant autonomes et confiants (Blanchard et al., 2007).

D'autant plus, pour créer un environnement d'apprentissage adapté aux compétences de l'apprenant, il faut un bon niveau de défi (Cantuni, 2020). La littérature mentionne qu'une difficulté de jeu modérée peut mener à de meilleures réussites ou apprentissage (Zhang et al., 2018). Néanmoins, un des enjeux principaux dans la conception de jeu vidéo ou dans

les environnements numériques d'apprentissage est de créer une courbe de difficulté bien structurée (Aponte et al., 2009). Une bonne structure de difficulté signifie que le jeu doit être assez difficile pour que le joueur ressente une certaine forme de défi, sans se sentir dépassé (Aponte et al., 2009).

Cette synergie entre le niveau de difficulté, le support et les compétences réfère à la théorie de la zone proximale de développement, en particulier, au concept d'échafaudage (Anish et al., 2021 ; Hung et al., 2014). La zone proximale de développement représente l'écart entre ce qu'un apprenant peut accomplir sans aide, et ce qu'il peut potentiellement maîtriser avec un soutien ou une assistance qui aide à dépasser ces compétences actuelles. Concernant le concept d'échafaudage, concept proposé par Vygotsky (Vygotsky & Cole, 1978), l'échafaudage est un élément important pour soutenir l'apprenant dans sa zone proximale de développement. Les outils d'échafaudage peuvent prendre différentes formes tels que l'aide d'un pair, d'un outil technologique ou même d'une assistance utilisant l'intelligence artificielle (Chang & Yang, 2023).

L'étude de Hung et al., a étudié l'efficacité d'un jeu interactif multitactile sous forme de puzzle, conçu pour améliorer l'apprentissage de concepts géographiques taïwanais chez les élèves de l'école primaire taïwanaise (Hung et al., 2014). Les chercheurs ont développé ce puzzle interactif qui offre trois niveaux de difficulté différente et deux types d'outils d'échafaudage numérique. Ces outils d'échafaudage sont intégrés afin d'aider les élèves à résoudre les énigmes du puzzle sans se sentir dépassés (Vygotsky & Cole, 1978 ; Hung et al., 2014). L'étude explore les variables de performance d'apprentissage et de satisfaction en s'appuyant sur la théorie de la zone proximale de développement. Cette étude est venue à certaines conclusions pertinentes telles que la difficulté de jeu modéré, niveau 2 du jeu, a mené vers les meilleures performances d'apprentissage (Hung et al., 2014). De plus, les outils d'échafaudage viennent aider les étudiants dans la résolution de problèmes et ces outils contribuent à améliorer significativement la satisfaction d'apprentissage (Hung et al., 2014).

Il faut noter aussi que l'étude soulève une limite importante. Offrir un support continu peut créer la dépendance à celui-ci, même si l'enfant en n'a plus besoin, ce qui limite l'internalisation des connaissances (Hung et al., 2014).

Par l'idée que les instructions guident et motivent l'enfant dans son activité pédagogique (Weisberg et al., 2013), tout en empruntant la vision de la théorie de la zone proximale de développement, deux questions de recherche découlent de cette étude :

Question de recherche :

RQ1- Dans quelle mesure la présence d'un tutoriel interactif influence-t-elle l'expérience d'apprentissage des étudiants du 3e cycle rencontrant des difficultés, en termes de réussite, de charge cognitive, d'état affectif et d'attention visuelle dans un jeu sérieux?

RQ2- Dans quelles conditions la présence d'un tutoriel interactif continue-t-elle d'influencer l'expérience d'apprentissage des étudiants du 3e cycle rencontrant des difficultés — en termes de réussite, de charge cognitive, d'état affectif et d'attention visuelle — lorsque la complexité du jeu augmente graduellement?

Dans cette étude, tous les enfants sont considérés en difficulté d'apprentissage, y compris ceux confrontés à des troubles d'apprentissages précis et des troubles de l'attention. Néanmoins, la différence du groupe d'apprenants ayant des diagnostics précis, tels que TDAH, dyslexique, dysorthographique, est seulement considérée pour observer l'effet du tutoriel sur la charge cognitive et l'influence du diagnostic sur cette relation.

À la lumière des recherches et de la littérature actuelle, il y a peu d'études sur le tutoriel interactif chez les jeunes apprenants en difficulté d'apprentissage du primaire, qui évaluent aussi les différents niveaux de complexité du jeu. Cette recherche vise à combler cette lacune tout en évaluant les effets du tutoriel interactif et de la difficulté du jeu sur plusieurs dimensions clés de l'expérience d'apprentissage : la charge cognitive, l'attention visuelle, l'état affectif et la réussite des apprenants. La plupart des études évaluent l'engagement, et ne présentent pas ces dimensions essentielles à la composition d'une expérience d'apprentissage optimale (Krath et al., 2021). Il s'avère important d'étudier

ces relations tout en s'appuyant sur les théories de la charge cognitive (Sweller, 1994), de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2024) et la zone proximale de développement (Vygotsky, 1978). Sachant que les ressources cognitives mobilisées peuvent varier chez les apprenants en situation de défi d'apprentissage (Valdois, 2010 ; Snowling & Hulme, 2013), il semble essentiel d'évaluer les mécanismes et le rôle du tutoriel sur leur expérience d'apprentissage. En guidant les apprenants, le tutoriel peut potentiellement agir en tant que support, et diminuer la charge cognitive (Aponte et al., 2009).

Au-delà de son apport théorique, cette recherche a aussi une visée plus pratique pour les concepteurs de jeux sérieux et d'outils pédagogiques, tels que l'organisme Alloprof, un organisme œuvrant dans le soutien pédagogique chez les jeunes au Québec. En explorant les effets du tutoriel et la manière qu'il module la complexité du jeu, cela donne un bon indicateur sur la nécessité de créer ces tutoriels.

Afin de répondre à ces questions, les participants, les apprenants en difficulté d'apprentissage du 3e cycle au primaire, sont amenés à jouer avec un jeu sérieux d'apprentissage qui demande d'écrire des mots tout en protégeant leur personnage des ennemis. Les ennemis avancent vers le personnage à une vitesse de plus en plus grande selon les niveaux du jeu, ce qui crée, ici, la difficulté du jeu qui augmente à travers l'expérience. Deux groupes sont créés, le premier est exposé à la condition A, la présence du tutoriel, et le deuxième à la condition B, l'absence du tutoriel. Cette division entre les deux groupes, exposés au même jeu et à ses différents niveaux, permet de comparer les expériences de jeu avec la présence et l'absence du tutoriel interactif, ici le support.

Les résultats montrent que le tutoriel améliore l'expérience des apprenants en réduisant leur charge cognitive, particulièrement pour ceux ayant des troubles comme la dyslexie-dysorthographie ou le TDAH. L'attention visuelle est optimale à un niveau de difficulté intermédiaire, tandis que le tutoriel n'a pas d'effet direct sur celle-ci. Bien que l'étude ait été menée en milieu contrôlé pour garantir des conditions uniformes en laboratoire et obtenir des résultats valides, les différences individuelles des enfants n'ont pas été pleinement prises en compte. Autrement dit, leur comportement peut varier dans un contexte hors laboratoire.

Au cœur de cet article, une revue de la littérature expose les travaux et la littérature actuels qui a permis de composer des hypothèses, une section qui décrit la méthodologie de l'étude expérimentale, une section résultat, une discussion qui présente les implications de cette étude et une conclusion qui résume les différentes parties de l'article et offre une piste de recherche future.

2.2 Revue de la littérature

2.2.1 *L'apprentissage chez les enfants contraints à des difficultés d'apprentissage*

L'expérience d'apprentissage n'est pas la même pour tous les types d'élève. Certains élèves peuvent éprouver des difficultés générales à suivre le rythme d'apprentissage en classe (Lewis, 2018), tandis que d'autres présentent des troubles d'apprentissage diagnostiqués avec des bases neurobiologiques spécifiques (Neault & Guay, 2023). Les troubles d'apprentissage, comme la dyslexie développementale, sont des troubles spécifiques de l'acquisition de la lecture (Snowling & Hulme, 2013). La dyslexie se manifeste par des difficultés importantes dans la reconnaissance, le décodage et l'orthographe des mots (Neault & Guay, 2023). Un déficit visuo-attentionnel vient influencer la mémoire lexicale de l'enfant, ce qui crée les différentes difficultés auxquelles fait face un apprenant ayant de la dyslexie (Lewis, 2018). Ces difficultés peuvent entraîner des conséquences importantes sur l'estime de soi et le risque de décrochage scolaire et la motivation (Lewis, 2018). On estime un 2 ans de retard dans l'apprentissage de la lecture par rapport à l'avancement de classe avant qu'il y ait une intervention de l'école (Vernhes et al., 2014). La dyslexie est un trouble d'apprentissage plus marqué chez les enfants du sexe masculin, en effet, entre 60-80 % des enfants diagnostiqués sont de sexe masculin (Lewis, 2018).

Bien que la dyslexie puisse engendrer une distraction dans l'attention, il ne faut pas confondre avec le trouble de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH). Il est vrai de dire qu'il est fréquent de trouver chez les enfants dyslexiques un déficit d'attention (Lefebvre et Stanké, 2016). Néanmoins, le TDAH reste un trouble aussi individuel. Les recherches sur les enjeux du TDAH montrent qu'environ 6-8% des enfants souffrent de TDAH, cette statistique est uniforme à travers le monde (Institut TA, s. d.). Les enfants

vivant avec le TDAH ont de la difficulté à suivre les consignes, et ils peuvent abandonner rapidement des tâches à haute demande cognitive (Gouvernement du Québec, 2024). Leur attention est courte (Gouvernement du Québec, 2024).

De plus, la dysorthographie est un trouble, souvent relié à la dyslexie, et qui réside à être un trouble lié à l'orthographe. Cela cause un déficit dans l'écriture des mots (Institut des troubles d'apprentissage, 2019). Dans ce contexte, l'utilisation de jeux sérieux semble une approche prometteuse afin de bâtir une expérience d'apprentissage positive et engageante chez l'enfant rencontrant des difficultés d'apprentissage ou des troubles d'apprentissage (Lewis, 2018 ; Holmes, 2011). Les jeux apportent une dimension ludique aux objectifs d'apprentissage et permettent d'améliorer la concentration (Lewis, 2018) Si on prend l'exemple des jeux sérieux pour les enfants vivant avec de la dyslexie, celui-ci peut inclure des activités pédagogiques pour améliorer la conscience phonémique et phonologique. Ainsi, le jeu se présente comme un outil complémentaire qui soutient l'apprentissage de la lecture et de l'écriture tout en offrant une expérience agréable aux enfants rencontrant des difficultés d'apprentissage (Lewis, 2018 ; Holmes, 2011).

2.2.2 Les jeux sérieux d'apprentissage : une méthode pertinente d'apprentissage

À l'intersection entre un jeu numérique divertissant et un outil éducatif, les jeux sérieux suscitent un grand intérêt dans le domaine de la recherche pédagogique (Holmes, 2011). Les jeux sérieux favorisent l'épanouissement des apprenants dans un espace où les erreurs sont perçues comme un défi à accomplir, de ce fait, une opportunité d'apprentissage (Riopel et al., 2019). Cet espace interactif d'apprentissage renforce la confiance de l'apprenant en ses compétences et l'apprentissage autonome (Baah, 2024).

Les jeux sérieux sont appréciés pour différents éléments. En premier lieu, par ses attraits motivationnels et engageants, créés par les mécanismes de récompense et de jeu, le jeu sérieux incite l'intérêt des apprenants, a progressé à travers les niveaux, et de créer un espace d'apprentissage non-traditionnel auquel l'enfant oublie qu'il est en train d'apprendre (Cohard, 2015 ; Krath et al., 2021). D'autant plus, ils permettent d'adapter le contenu et la difficulté des tâches, favorisant un apprentissage sur mesure et une expérience éducative personnalisée (Faber et al., 2024).

La littérature présente plusieurs effets positifs des jeux sérieux d'apprentissage sur l'état cognitif, attentionnel, motivationnel et affectif (Garard et al., 1998). Plusieurs études s'entendent à dire que les jeux sérieux améliorent l'expérience d'apprentissage et l'engagement de l'apprenant (Göbel et al., 2018). Ils offrent aussi des possibilités d'évaluation formative en temps réel (Shannon et al., 2013).

Les jeux sérieux contribuent au développement de compétences telles que la résolution de problèmes, la créativité et la pensée critique, des éléments valorisés par plusieurs industries (Cohard, 2015). C'est pourquoi ils sont très sollicités pour le développement de compétence dans divers domaines tels que la formation dans l'industrie des banques, le marketing, la gestion du stress et d'autant plus, ils encouragent à certains moments le travail d'équipe et la collaboration dans des jeux qui demande la participation d'un groupe d'employés (Krath, 2021).

2.2.3 Les environnements d'apprentissage multimédia et l'interactivité

Afin de créer la meilleure expérience d'apprentissage dans un jeu, il est important de prendre en compte l'interactivité, qui encourage l'apprenant à s'engager activement avec le contenu (Mayer, 2024). En effet, l'apprentissage dans un environnement interactif semble favoriser non seulement la rétention à court terme, mais également la consolidation des connaissances à long terme (Riopel et al., 2019). Toutefois, l'intégration des technologies requiert une structuration et une organisation optimisées des informations visuelles, sonores et textuelles afin d'assurer une efficacité, en tenant compte de la dimension cognitive de l'apprenant sous-jacente (Giardina, 1992). Parallèlement, il est important d'appliquer les principaux concepts de l'apprentissage multimédia de Mayer, une théorie qui joue un rôle crucial dans la conception du jeu et de ses éléments (Mayer, 2024).

Développée par Richard Mayer en 1997, la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia relève du domaine des sciences cognitives et appliquée dans les expériences d'apprentissage (Mayer, 2024). Elle suggère l'idée que le médium de présentation de l'information, le principe de la redondance de l'information, le principe de contiguïté spatiale, le principe de segmentation pour faciliter le traitement cognitif et la rétention et

le principe de cohérence de l'information sont tous des éléments essentiels (Chandler & Sweller, 1991). Elle se base sur des critères sensoriels qui poussent l'apprenant à optimiser ses apprentissages (Mayer, 2024). Dans d'autres mots, cette théorie met l'accent sur la manière dont les individus apprennent de manière significative à partir de matériel pédagogique combinant des mots et des images, tout en considérant l'intégration de représentations picturales, la narration et l'organisation des mots de manière à présenter une cohérence verbale (Mayer, 2024).

Au sein des jeux sérieux d'apprentissage, le tutoriel, intégrant les instructions et la narration, représente un élément facilitateur de la construction des liens cognitifs et de la résolution de problème (Mayer & Anderson, 1992).

2.2.4 La zone proximale de développement, le concept d'échafaudage du tutoriel et de la difficulté du jeu

Les tutoriels, qu'ils soient utilisés dans le cadre pédagogique ou dans les jeux vidéo, offrent un puissant levier pour accompagner les apprenants dans leur progression (Tasnim et al., 2024). En effet, les tutoriels suivent une sorte d'étayage d'apprentissage ou d'échafaudage (Hung et al., 2014). L'échafaudage est défini comme le soutien apporté à un apprenant pour réaliser une tâche qu'il ne pourrait accomplir seul (Zhang et al., 2018). L'objectif est d'aider les étudiants à résoudre des problèmes, facilitant ainsi leur progression dans leur zone proximale de développement (ZPD) (Vygotsky & Cole, 1978). La zone proximale représente l'écart entre ce qu'un apprenant peut faire seul et ce qu'il peut potentiellement maîtriser avec le soutien et l'assistance (Vygotsky & Cole, 1978).

Le fait de donner des instructions du type « juste à temps », en courtes rafales, avec des repères visuels, permet aux apprenants de comprendre les mécanismes et l'interface du jeu, ce qui accroît l'efficacité de l'apprentissage dans le cadre du jeu sérieux (Shannon et al., 2013). Cette approche peut rendre l'expérience d'apprentissage plus intuitive et moins intimidante. Tout en ajoutant la variable de la difficulté graduelle, les élèves réussissent à jouer grâce au support du tutoriel, tout en facilitant l'acquisition progressive de compétences plus complexes (Shannon et al., 2013).

Un tutoriel bien conçu doit tenir compte de la complexité du jeu, étant plus crucial pour les jeux complexes que pour les jeux faciles (Andersen et al., 2012) Lorsqu'il est question d'instructions interactives et animées, les résultats dans la littérature soutiennent un principe clé de l'apprentissage multimédia : les étudiants assimilent mieux une explication lorsque les mots et les images qui l'accompagnent sont présentés de façon rapprochée dans le temps à effectuer la tâche (Mayer & Anderson, 1992; Tasnim et al., 2024). Par ailleurs, une autre étude portant sur l'évolution du tutoriel dans un jeu, et composée d'un échantillon de dix-sept élèves âgés entre 9 à 13 ans, appuie cette pensée (Shannon et al., 2013). Elle mentionne que pour qu'un tutoriel soit efficace, il doit donner un retour immédiat, qui offre un soutien correctif et affectif, avec diverses séquences d'instructions courtes et des repères visuels, présentées au moment opportun où le joueur est amené à accomplir la tâche dans l'instant présent (Shannon et al., 2013). L'échafaudage, étape par étape est important afin de laisser l'enfant jouer sans compromettre l'expérience (Shannon et al., 2013).

Il est crucial de noter que la difficulté du jeu doit être adaptée à la zone proximale de l'apprenant (Chang & Yang, 2023). Une difficulté modérée peut mener à la meilleure performance d'apprentissage. Si la difficulté est trop faible, l'apprenant risque de ne pas être engagé, tandis qu'une difficulté excessive peut engendrer un état affectif négatif, augmentant l'agitation et la frustration. L'échafaudage peut aider à réduire l'anxiété liée à la difficulté (Chang & Yang, 2023).

De plus, l'efficacité de l'échafaudage peut varier en fonction du style cognitif de l'apprenant. Par exemple, un échafaudage rigide peut être plus bénéfique pour les apprenants séquentiels, tandis qu'un échafaudage souple peut mieux convenir à d'autres types d'apprenants (Chang & Yang, 2023). Ainsi, la conception de tutoriels et l'ajustement de la difficulté doivent tenir compte des différences individuelles des apprenants pour optimiser leur expérience d'apprentissage (Hung et al., 2014). Par ailleurs, un tutoriel bien conçu, agissant comme une forme d'échafaudage dynamique, peut augmenter l'engagement et favoriser un état affectif positif, contribuant ainsi à la réussite de l'apprenant (Hung et al., 2014).

L'importance de l'équilibre entre le défi, le support et les conceptions dans les jeux sérieux, résumé par le concept d'échafaudage est mentionnée dans quelques études pédagogiques (Zhang et al., 2018). Par exemple, l'étude de la plateforme Writaupair, une plateforme d'assistance contextuelle conçue pour aider les enfants contraints à des difficultés d'écriture, utilise le concept d'échafaudage de la zone proximale de développement (Anish et al., 2021). La plateforme fournit une assistance contextuelle sous forme de mots-clés, de phrases ou suggestions de phrases dans le but de stimuler la pensée de l'apprenant. Cela lui permet de composer des textes plus longs et cohérents (Anish et al., 2021). L'objectif de la plateforme est d'offrir de l'aide quand le besoin se présente, mais que cette aide soit progressivement retirée au fur à mesure que l'apprenant acquiert de l'autonomie (Anish et al., 2021).

L'échafaudage proposé par le tutoriel à travers les différents niveaux de jeu aide les apprenants à maintenir un engagement élevé sans se sentir dépassé. Selon les connaissances actuelles, l'échafaudage semble avoir un effet significatif sur l'apprentissage, soit une meilleure réussite, et l'engagement des apprenants (Faber et al., 2024). Cela permet de poser cette hypothèse :

H1a : La présence d'un tutoriel interactif améliore la réussite des apprenants dans un jeu sérieux.

Concernant l'effet du niveau de difficulté qui augmente, différentes sources indiquent qu'il est crucial de trouver un équilibre entre le défi et le niveau de compétence du joueur (Aponte et al., 2009; Cantuni, 2020). Une difficulté trop grande peut nuire à l'expérience d'apprentissage, et affecter les performances dans le jeu (Cantuni, 2020). Selon une étude sur l'approche interactive du jeu pour améliorer les performances d'apprentissage des étudiants de Hung et al., les jeux stimulants avec une bonne dose de défi encouragent l'engagement, mais que les apprenants peuvent se sentir anxieux et abandonner si le jeu devient trop difficile (Hung et al., 2014).

H1b : Une augmentation du niveau de difficulté du jeu a un effet négatif sur la réussite des apprenants.

2.2.5 Les trois dimensions sous étude : cognitives, affectives et l'attention visuelle

Le premier mécanisme étudié est l'état cognitif de l'enfant. Lorsque la charge cognitive est adressée, la théorie de la charge cognitive est indispensable pour la compréhension de ce mécanisme. La théorie de la charge cognitive (Sweller, 1989) s'intéresse à la manière dont les ressources cognitives sont concentrées et utilisées pendant l'apprentissage et la résolution de problèmes. La théorie repose sur deux concepts clés : la mémoire de travail et la réduction de la charge cognitive pour optimiser l'apprentissage (Sweller, 1989).

La charge cognitive qui se relie le plus à l'étude-ci est la charge qui comprend les capacités de traitement de l'information, spécifiquement celle de la charge cognitive extrinsèque (Sweller, 1989). En effet, dans cette étude, vu la nature du tutoriel interactif décrite comme un guide d'instruction, et qu'il ne touche pas les compétences pédagogiques en soi (tels que l'apprentissage d'une nouvelle notion), la charge cognitive explorée est celle extrinsèque (Seufert, 2018). C'est-à-dire qu'elle résulte de la manière dont l'information est présentée.

Une présentation claire, sans redondance et adaptée par le concepteur améliore l'apprentissage, et sa compréhension de la tâche (Sweller, 2010). En d'autres mots, la théorie de la charge cognitive qui s'applique ici s'intéresse à la manière dont les ressources cognitives sont amenées afin de comprendre la tâche et de la résoudre adéquatement (Seufert, 2018). Ainsi, une bonne interactivité et compréhension du mécanisme du jeu tendent l'apprenant vers une diminution de la charge cognitive (Schlichting, 2016). Autrement dit, une charge cognitive importante générée par des activités non pertinentes vient nuire à l'acquisition de compétences et en conséquence, il y a une perte de valeur dans l'activité d'apprentissage (Chandler, 1991).

Par sa présentation de l'information et son application du concept d'échafaudage expliqué plus haut, cela mène à croire que le tutoriel interactif réduit la charge cognitive (Lacerda, 1993). L'utilisation du concept d'échafaudage par un tutoriel réduit la charge cognitive en guidant l'apprenant à travers les mécanismes du jeu, et en lui fournissant une assistance juste-à-temps (Tasnim et al., 2024). Le fait de décomposer les tâches en différentes étapes, ici par 8 boîtes d'instructions, le tutoriel peut permettre aux apprenants de se concentrer

sur l'apprentissage et l'écrire des mots plutôt qu'être submergés par la complexité de l'interface et par la compréhension du jeu (Tasnim et al., 2024). Ainsi, cela mène à poser cette hypothèse :

H2a : La présence d'un tutoriel interactif diminue la charge cognitive des apprenants.

Par la suite, un niveau de difficulté élevé peut potentiellement augmenter la charge cognitive, au point de même dépasser les capacités de traitement de l'apprenant (Hung et al., 2014). Une vitesse trop rapide du jeu ou si les tâches sont trop complexes, cela peut entraîner une surcharge cognitive. Une surcharge cognitive peut mener à la frustration et à une réussite moins grande (Hung et al., 2014). En accord avec la zone proximale de développement, l'enfant peut se sentir dépassé et ne pas sentir avoir les compétences pour bien réussir à performer (Vygotsky & Cole, 1978). Basée sur ces informations, l'hypothèse sur la difficulté est développée comme-ci :

H2b : Une augmentation de la difficulté d'un jeu sérieux augmente la charge cognitive de l'apprenant.

Lorsque l'apprenant se concentre sur les aspects importants du jeu et de l'apprentissage, cela va de soi qu'il peut mieux intérioriser les connaissances et se développer selon ses compétences (Zou et al., 2021). Dans un contexte de jeu d'apprentissage, certaines études présentent l'efficacité sur la gestion de la demande cognitive (Wouters et al., 2013; Faber et al., 2024). Elles présentent qu'une charge cognitive peut être prise en charge dans ces environnements favorisant une facilité d'apprentissage, et conséquemment influencé le succès des apprenants (Zou et al., 2021). La réduction de la charge cognitive facilite l'apprentissage et conduit vers de meilleurs résultats (Tricot, 1998).

H2c : Une diminution de la charge cognitive des apprenants mène vers de meilleures réussites.

Par la suite, le second mécanisme concerne l'état affectif de l'enfant, incluant ses émotions et son niveau d'agitation, qui peuvent influencer sa capacité à s'engager activement dans l'apprentissage (Giannakos, 2013). Le tutoriel interactif, si bien conçu, peut contribuer à un état affectif dit positif en rendant l'expérience plus intuitive et

efficace (Hung et al., 2014). Le fait de fournir des instructions claires et un soutien progressif, cela peut réduire la frustration et l'état d'agitation que l'apprenant peut ressentir face à un nouveau ou la complexité des mécanismes du jeu (Tasnim et al., 2024). Par ailleurs, le soutien peut mener à un sentiment de compétence plus grand, ce qui renforce le sentiment de plaisir et de satisfaction face à l'expérience d'apprentissage (Faber et al., 2024). En conséquence, pour éviter les frustrations et se concentrer sur l'apprentissage même, soit le but initial du jeu d'apprentissage, et non seulement sur l'aspect ludique, les instructions données par les tutoriels sont importantes afin de garantir le plaisir chez l'enfant (Cantuni, 2020). À la lumière de ces informations, cela mène à penser que les tutoriels peuvent influencer positivement l'état affectif de l'enfant en diminuant sa frustration et d'autant plus, venir réduire le niveau d'agitation à l'aide du tutoriel qui agit à titre de support :

H3a : La présence d'un tutoriel interactif dans un jeu sérieux favorise un état affectif positif chez l'apprenant.

Comme mentionné précédemment, un niveau de difficulté qui n'est ajusté aux compétences de l'apprenant peut avoir un impact négatif sur le pan émotif et l'apprentissage (Aponte et al., 2009; Cantuni, 2020). En effet, un niveau de difficulté trop élevé peut influencer l'état affectif de l'apprenant, par exemple, il peut se sentir constamment en échec ou dépassé par la complexité du jeu, ce qui provoque une insatisfaction, de la frustration ou du stress (Sampayo-Vargas et al., 2013 ; Meyer 2019). Il est important de calibrer la difficulté de manière à éviter la démotivation, qui peut être une conséquence d'une difficulté perçue (Meyer, 2019). De plus, la recherche de Chang et Yang, mentionne que le design visuel multimédia peut susciter une émotion positive face à l'apprentissage, ce qui affecte directement la performance des apprenants (Chang & Yang, 2023). Lorsque l'attention est portée sur l'activité en cours ou la tâche précise, cela indique un niveau de défi adéquat (Chang & Yang, 2023). Un défi trop facile est synonyme d'ennui et trop difficile crée une certaine anxiété (Chang & Yang, 2023). Par ces informations, on comprend que l'état affectif a un impact direct sur la réussite des apprenants dans le jeu ou simplement dans leur apprentissage.

H3b : Une augmentation de la difficulté du jeu sérieux conduit à un état émotionnel plus négatif chez l'apprenant.

Par les faits mentionnés, on présume aussi :

H3c : Plus l'état affectif de l'apprenant est positif, plus sa réussite dans un jeu sérieux est grande.

Ainsi, si l'état affectif est agité, cela ne favorise pas la réussite de l'apprenant dans le jeu.

Enfin, l'attention visuelle, ou la capacité de l'enfant à rester focalisé, est un troisième mécanisme potentiel qui influence l'apprentissage (Shi et al., 2017). Elle se traduit par une capacité à se concentrer sur les informations visuelles importantes et de filtrer les informations qui sont importances. D'autant plus, l'attention visuelle se définit par la capacité de maintenir l'attention sur le jeu et la réalisation de la tâche (Krejtz et al., 2016; Pinelli & Portrat, 2023). Dans cette étude, elle se présente comme la dispersion de l'attention visuelle sur la plateforme de jeu, et les différentes boîtes d'instructions données.

Selon les études précédentes, les résultats montrent que, par sa présentation des instructions avec des encadrés, le tutoriel peut impacter le niveau d'attention visuelle (Chandler & Sweller, 1991). Les joueurs identifient clairement les objectifs par la narration et profitent d'une meilleure compréhension générale du jeu avec les messages présentés, souvent dans des encadrés d'instructions, pour réaliser une tâche précise (Barnabé, 2020). Ainsi, cela permet aux joueurs d'être plus conscients des objectifs, et donc d'être plus attentifs à l'apprentissage, et augmenter par conséquent l'attention de l'apprenant, grâce aux stimuli visuels qui apparaissent graduellement pour tenir l'enfant en alerte, ce qui stimulent l'attention sur le jeu (Wang et al., 2017 ; Institut TA, s. d.).

H4a : La présence d'un tutoriel interactif dans un jeu sérieux améliore l'attention visuelle des apprenants.

De plus, il faut savoir que l'attention est un construit psychologique complexe avec plusieurs dimensions (Pinelli & Portrat, 2023). La difficulté de la tâche a un effet sur

l'attention visuelle (Meyer, 2019) Il se peut que la difficulté d'un jeu puisse entraîner une dispersion de l'attention visuelle, et une réduction de l'efficacité de la prise d'informations et de la prise de décision (Pinelli & Portrat, 2023). D'autant plus, le fait d'allouer davantage de ressources attentionnelles au traitement de l'ensemble d'un stimulus tente vers une réduction de la taille du focus attentionnel (Meyer, 2019). L'exemple de l'étude de Svetlana Meyer a mené plusieurs faits intéressants. Tout d'abord, l'étude porte sur un logiciel éducatif d'entraînement des capacités d'attention visuelles impliquées en lecture destiné à améliorer les capacités d'attention des élèves en cours préparatoire (approximatif 6-7 ans) (Meyer, 2019). Quatre mini jeux ont été présentés à 730 élèves, afin d'évaluer le lien entre l'attention visuelle et l'apprentissage de la lecture. L'évaluation de cette relation a permis de poser des constants importants : le taux de réussite trop élevé peut indiquer que les enfants ne sont pas suffisamment sollicités au niveau de leurs ressources attentionnelles (Meyer, 2019). Tandis qu'un taux de réussite trop bas, peut suggérer que la difficulté n'est pas bien adaptée aux capacités de l'enfant, ainsi rendre la tâche décourageante et difficile pour le maintien de l'attention (Meyer, 2019). Cela mène à penser à cette courbe de la difficulté, à laquelle l'attention visuelle est optimale à la tâche intermédiaire (Aponte et al., 2009). Bien que l'étude ne soit pas exactement la même que celle discutée dans le mémoire, elle donne un bon aperçu de ce que les résultats peuvent donner.

Par ces constants, cela permet de poser ces deux hypothèses-ci :

H4b : Une augmentation de la difficulté d'un jeu sérieux conduit à une attention visuelle moins focalisée (plus dispersée).

H4c : Une meilleure (plus focalisée) attention visuelle favorise la réussite de l'apprenant dans un jeu sérieux.

Dans l'étude-ci, on cherche à observer si l'effet du groupe diagnostic, composé d'enfants avec des troubles d'apprentissage et d'attention précis, tels que la dyslexie, TDAH et la dysorthographie amplifie l'effet de la relation entre le tutoriel et la charge cognitive. Ce qui mène à croire que le groupe diagnostic peut avoir un effet est que ces apprenants sont plus sensibles à des grandes demandes cognitives (Snowling & Hulme, 2013). Ainsi, le

fait de leur apporter un support peut davantage les aider comparativement aux élèves neurotypiques ou aux élèves rencontrant des difficultés d'apprentissage, sans diagnostic précis. En effet, les enfants avec des diagnostics tels que la dyslexie, dysorthographie et le TDAH rencontrent souvent des obstacles dans l'intégration de nouvelles informations, la compréhension des consignes et l'exécution des tâches (Neault & Guay, 2023). Leur besoin en ressources cognitives pour accomplir une tâche donnée est plus élevé, les rendant ainsi plus vulnérables à une surcharge cognitive, qui peut entraver leur apprentissage (Snowling & Hulme, 2013). Leur mémoire de travail est limitée par leur trouble d'apprentissage et/ou d'attention. (Snowling, 2013; Alloway & Gathercole, 2006). Ainsi, cela pose l'hypothèse-ci :

H5 : La présence de trouble d'apprentissage ou trouble d'attention (dyslexie, dysorthographie et TDAH) accentue l'effet de la présence d'un tutoriel interactif sur la charge cognitive, de sorte que les apprenants ayant de trouble d'apprentissage entraînant une réduction plus marquée de la charge cognitive par rapport aux apprenants sans trouble d'apprentissage précis ou trouble d'attention.

Pour résumer les hypothèses sous études nommées dans cette revue de la littérature, un tableau récapitulatif présente la liste des hypothèses (Tableau 2) et toutes les hypothèses, basée sur la littérature, a créé un modèle de recherche (Figure 1).

Tableau 2. Liste des hypothèses.

Hypothèses	
H1a	La présence d'un tutoriel interactif améliore la réussite des apprenants dans un jeu sérieux.
H1b	Une augmentation du niveau de difficulté du jeu a un effet négatif sur la réussite des apprenants.
H2a	La présence d'un tutoriel interactif diminue la charge cognitive des apprenants.
H2b	Une augmentation de la difficulté d'un jeu sérieux augmente la charge cognitive de l'apprenant.

- H2c** Une diminution de la charge cognitive des apprenants mène vers de meilleures réussites.
- H3a** La présence d'un tutoriel interactif dans un jeu sérieux favorise un état affectif positif chez l'apprenant.
- H3b** Une augmentation de la difficulté du jeu sérieux conduit à un état émotionnel plus négatif chez l'apprenant.
- H3c** Plus l'état affectif de l'apprenant est positif, plus sa réussite dans un jeu sérieux est grande.
- H4a** La présence d'un tutoriel interactif dans un jeu sérieux améliore l'attention visuelle des apprenants.
- H4b** Une augmentation de la difficulté d'un jeu sérieux conduit à une attention visuelle moins focalisée (plus dispersée).
- H4c** Une meilleure (plus focalisée) attention visuelle favorise la réussite de l'apprenant dans un jeu sérieux.
- H5** La présence de trouble d'apprentissage ou trouble d'attention (dyslexie, dysorthographie et TDAH) accentue l'effet de la présence d'un tutoriel interactif sur la charge cognitive, de sorte que les apprenants ayant de trouble d'apprentissage entraînant une réduction plus marquée de la charge cognitive par rapport aux apprenants sans trouble d'apprentissage précis ou trouble d'attention.
-

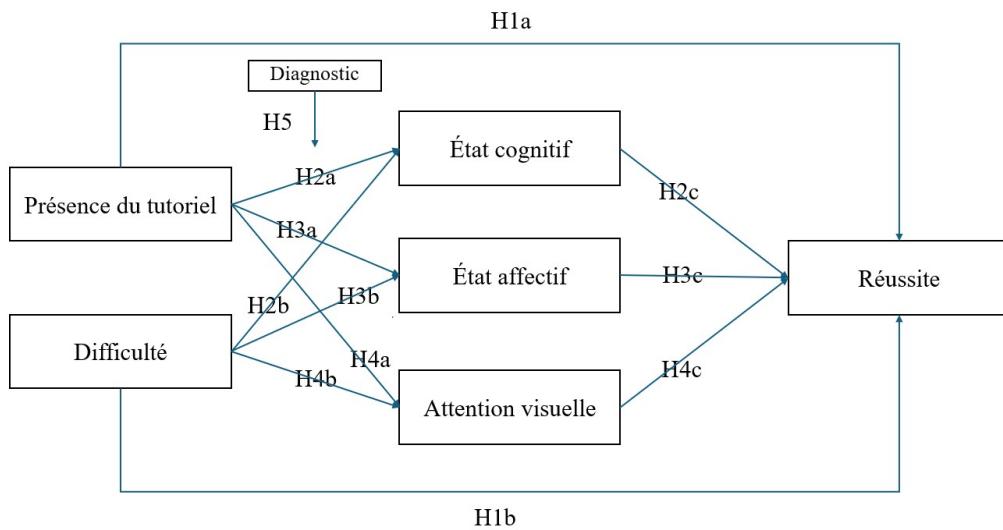


Figure 1 Modèle de recherche

2.3 Méthodologie

Pour tester ces hypothèses, nous avons mené une expérimentation. On retrouve dans cette section toute la méthodologie, à commencer par la description des participants, le design expérimental, les stimuli, la procédure, la présentation des instruments de mesure, l'opérationnalisation des variables et les analyses statistiques.

2.3.1 *Les participants*

Ce sont 29 enfants du troisième cycle du primaire, 5e ou 6e année, étant dans une situation dite de difficultés d'apprentissage, et notamment des enfants vivant avec des troubles de l'attention ou des troubles d'apprentissage en français tels que la dyslexie, dysorthographie, TDAH qui ont participé à l'expérience. Finalement, 14 garçons et 15 filles âgés entre 10 et 12 ans ($\mu = 11 \text{ ans} \pm 0,63$) composent l'échantillon. Le tableau 3 ci-dessous présente le pourcentage de participants par âge.

Tableau 3. Nombre de participants par âge et par sexe.

	Fille			Garçon		
Âge	10 (ans)	11 (ans)	12 (ans)	10 (ans)	11 (ans)	12 (ans)
Nombre	2	10	3	2	7	5

Étant donné que les participants sont mineurs, et âgés de moins de 14 ans, une méthodologie rigoureuse a été mise en place afin de garantir l'éthique et la validité des résultats. Le consentement parental a été demandé, et les parents restaient sur place. Ils avaient le choix d'attendre dans la salle d'attente ou de rester dans la salle d'observation. Les enfants, ayant préalablement rempli un questionnaire de recrutement via Google Form avec leur parent, ont été invités à confirmer leur consentement via un lien Qualtrics avant de début l'expérience, afin de s'assurer qu'ils comprennent que s'ils ne sentaient pas bien,

il était possible d'arrêter le tout. L'étude respecte les normes éthiques en vigueur et le protocole a été approuvé par un comité d'éthique de HEC Montréal.

Le comité d'éthique de HEC Montréal a validé que la collecte de données associée à cette étude respecte les normes éthiques en vigueur pour la recherche impliquant des êtres humains. Le numéro du formulaire éthique de cette recherche est le suivant : 2024-5899. L'enfant avait la possibilité de refuser ou de retirer son consentement à tout moment avant ou pendant la séance, sans aucune condition. Lorsqu'il y a interruption dans la collecte de donnée, la décision de l'arrêt entraînera l'interdiction pour les chercheurs d'utiliser les données déjà collectées.

Le chercheur, ainsi que tous les membres de l'équipe de recherche, s'engagent à protéger les renseignements personnels recueillis. De plus, toute personne ayant accès aux données a signé un engagement de confidentialité afin de garantir la protection de ces informations.

De plus, le recrutement s'est réalisé à l'aide d'un partenaire dans le domaine de l'éducation, qui dispose d'une liste de parents abonnés, et collabore avec plusieurs écoles à travers le Québec. D'autant plus, un appel public a été lancé auprès d'établissements offrant des services d'aide aux enfants en difficulté d'apprentissage afin d'aller recruter plus d'enfants. La population pour cette étude est les élèves en situation de difficulté d'apprentissage au Québec, définis par une note inférieure à 69 % en français ou un diagnostic reconnu. Toutefois, l'évaluation ne se limitait pas uniquement à la moyenne générale : le jugement d'un parent, d'un enseignant ou d'un professionnel pédagogique était également pris en compte pour identifier les enfants en difficulté. Tous les participants devaient avoir le français comme langue maternelle ou être scolarisés en français, et être en mesure de se déplacer au Tech3Lab à Montréal. Ainsi, la population sous étude représente une estimation d'environ 13 028 enfants de 5^e et 6^e année de la population au Québec, dont le français est leur langue maternelle. Cette estimation est basée sur l'estimation d'élèves de 5^e et 6^e dans un programme régulier au Québec en 2021 (Statistique Canada, 2022) et le 10% reconnu par l'ordre des psychologues d'enfants en âge scolaire qui rencontreraient des difficultés d'apprentissage en français (Ordre des psychologues du Québec, 2014). Les critères d'exclusion incluaient l'épilepsie ou des

troubles visuels importants tels que la myopie prononcée, l'astigmatisme et l'hypermétropie sévère. Pour toute participation, une compensation est remise à la fin de l'expérience, soit une carte cadeau d'une valeur de 30\$ dans une librairie et un jeu éducatif pour enfant d'une valeur de 20\$.

2.3.2 Le design expérimental

De nature expérimentale, cette étude a été menée en laboratoire avec des conditions contrôlées. L'étude présente un facteur inter-sujet (présence ou absence du tutoriel) et un facteur intra-sujet (niveaux de difficulté variant par la vitesse graduelle du jeu), permettant d'observer l'influence du tutoriel dans différentes conditions de jeu. L'attribution des conditions s'est faite de manière aléatoire au commencement de l'étude. Ainsi, 16/29 ont été attribués à la condition A, soit la présence du tutoriel. Tandis que 13/29 ont été exposé à la condition B, soit la non-exposition du tutoriel. Dans les 16 participants exposés au tutoriel, 6/16 ont un diagnostic. Pour les 13 participants exposés à la condition B, 7/13 ont un diagnostic.

Concernant les manipulations, le tutoriel interactif est présenté à la première partie du jeu. La condition se définit par la présence du tutoriel ou l'absence du tutoriel dépendamment de la condition. De plus, la deuxième manipulation est la difficulté qui présente sous forme de 3 conditions : la vitesse lente, les ennemis qui avancent par une multiplication de 1 seconde, la vitesse moyenne, les ennemis qui avancent par une multiplication de 3 secondes, et la vitesse rapide, les ennemis qui avancent par une multiplication de 6 secondes. Le choix de ces trois différents niveaux est expliqué par la manière que le jeu est réalisé (il n'y a que ces trois niveaux de vitesse). On ne demande pas explicitement aux participants s'il remarque que le jeu va plus vite, car c'est ce qu'on évalue.

2.3.3 Les stimuli

L'expérience repose sur la présentation de stimuli visuels sous deux interfaces distinctes : un tutoriel itératif, intégré au jeu sous forme de boîtes de texte, et la plateforme du jeu elle-même. Tous les participants interagissent avec la même plateforme de jeu, tandis que seule la moitié d'entre eux est exposée au tutoriel lors de leur première partie. Le nom du

jeu est Magimot version 1.2.5 du jeu (voir figure 2). Le jeu est présenté sur la plateforme Alloprof.

Les tâches principales du jeu consistent à établir une correspondance entre les sons (phonèmes) et les symboles écrits (graphèmes) afin d'écrire correctement un mot. Un lecteur automatique intégré prononce un mot, que le participant doit ensuite saisir rapidement à l'aide du clavier. Tout au long du jeu, les participants sont exposés à divers stimuli sonores, incluant des effets auditifs produits par les personnages en cas de réussite ainsi qu'une trame sonore accompagnant l'univers du jeu. Toutefois, l'impact spécifique de ces stimuli sonores n'est pas mesuré dans cette étude, et leurs paramètres restent constants pour tous les participants.

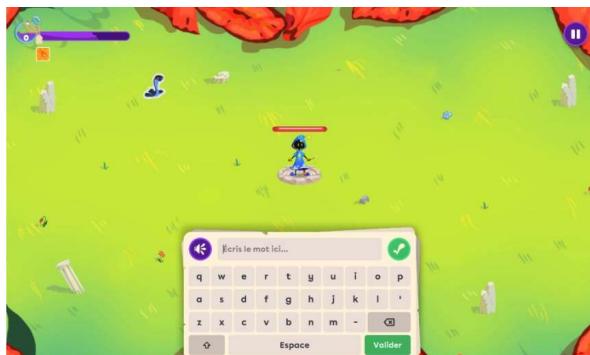


Figure 2 L'interface du jeu.

L'expérimentation prévoit trois sessions de jeu successives. Chaque partie dure entre 4 et 7 minutes. Avant de commencer, les participants du groupe expérimental (condition A) seulement sont exposés au tutoriel interactif. Ce tutoriel est présenté immédiatement après une bande dessinée d'introduction qui place le joueur dans l'univers fantastique du jeu. Il fournit des instructions progressives sur les mécaniques générales, l'utilisation des potions magiques et la sélection des cartes de pouvoir, guidant ainsi l'apprenant de manière immersive dès la première session. Le tutoriel est composé de 8 boîtes informatives, présentées, fur à mesure que l'apprenant avance dans la première partie. Pour voir les différentes sections du tutoriel, la référence se trouve à l'annexe I. Afin d'assurer une clarté, ces boîtes du tutoriel sont présentées au groupe de la condition A. Le groupe

de la condition B ne voient pas ces informations lorsqu'il joue sur la plateforme de jeu (voir figure 3). Ainsi, il ne voit que le jeu sans informations.

À titre d'exemple :

Condition A :



Condition B :



Figure 3 Comparaison entre condition A et condition B.

Note. Lors de la première partie à laquelle le tutoriel est présenté.

Lorsqu'un participant commet une faute, une rétroaction corrective est fournie. Les trois parties du jeu sont structurées selon un ordre croissant de rapidité : T1 (lent), T2 (moyen) et T3 (rapide). Les listes de mots utilisées dans chaque session sont de difficulté équivalente. Les listes sont présentées à l'annexe II.

2.3.4 La procédure

L'expérience s'est déroulée en plusieurs étapes sur une durée de 60 minutes, incluant un accueil, une tâche d'échauffement, trois parties de jeu à vitesses variables et un questionnaire post-tâche après chaque session de jeu. Comme mentionné, une tâche de réchauffement a été réalisé afin de s'assurer que l'enfant comprend les échelles de mesure, et le principe dont le jeu utilise, la modératrice prend le temps avec lui d'effectuer les exercices d'échauffement (voir Figure 4). Les paramètres de la vitesse des monstres sont définis par une multiplication de la vitesse du jeu : pour la vitesse lente, on multiplie par 1 seconde, quant à la vitesse moyenne par 3 secondes et pour la vitesse rapide par 6 secondes. Donc, la troisième partie va 6 fois plus vite que la première partie et la deuxième partie va 3 fois plus vite que la première partie, et vice-versa.

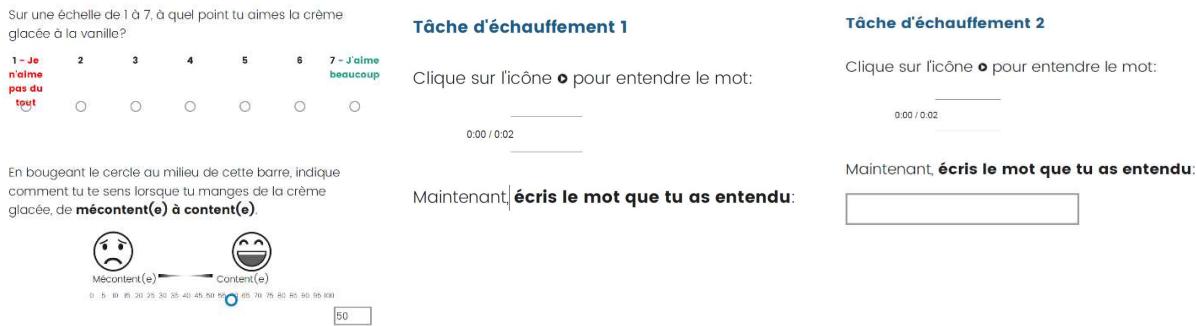


Figure 4. L'exercice d'échauffement.

2.3.5 La présentation des instruments de mesure

L'expérimentation a été réalisée à l'aide de divers instruments et équipements pour assurer une collecte de données précise et fiable. Ces instruments ont permis d'évaluer les états cognitifs et affectifs et l'attention visuelle des participants, ainsi que leurs perceptions et performances dans le jeu.

L'expérimentation a été réalisée à l'aide de divers instruments et équipements, disposés de manière optimimale dans le laboratoire afin d'assurer une collecte de données précise et fiable. Tout d'abord, l'outil oculométrie *Tobii Pro Lab* (Version v.1.241, Tobii AB, Suède), installé sous l'écran de l'ordinateur *Lenovo Thinkvision T2224d* (21.5 pouces, Thinkvision, Chine) a servi à prendre les mesures liées au suivi oculaire et à la pupille. Quant à la mesure physiologique de l'état cognitif, soit la valence et l'arousal, les outils tels qu'une webcam Logitech C922 1080p (Logitech, Suisse), qui captait les expressions du visage de l'enfant, le logiciel FaceReader version 8 (Noldus, Pays-Bas) et MediaRecorder (MediaRecorder, Noldus, Netherlands) ont été utilisés pour l'analyse des expressions faciales. D'autant plus, les données électrodermiques (EDA) ont été collectées par Biopac MP-150 (BIOPAC System Inc., États-Unis), tout en étant synchroniser avec le logiciel Acknowledge 4.X (Noldus, Pays-Bas).

Les mesures perceptives, démographique et de contrôle ont été recueillies à l'aide d'un questionnaire sur la plateforme Qualtrics (Qualtrics, Provo, UT, États-Unis). Pour la réussite, le nombre de mots réussis a été noté, après chaque partie, dans un document Excel nommé *observation*.

En ce qui concerne la disposition et configuration en laboratoire, dans la salle du participant, l'enfant était assis à une distance de 60 à 70 cm de l'écran, avec la webcam installée au-dessus du moniteur. Deux haut-parleurs étaient placés dans la salle pour permettre une interaction avec la modératrice et l'assistante de recherche. Dans la salle d'observation, la Syncbox, synchronisant Observer XT 11.5, MediaRecorder et Tobii, envoyait un signal toutes les 120 secondes afin d'assurer la cohérence des enregistrements. Grâce à cette configuration, l'ensemble des dispositifs permettait une collecte rigoureuse des données, garantissant une analyse efficace des réponses des participants dans un environnement contrôlé.

La synchronisation des données s'est réalisée grâce à l'outil ObserverXT 11.5 (Observer XT 11.5, Noldus, Netherlands) qui permet de synchroniser Biopac (BIOPAC MP-150, System inc, U.S.A), MediaRecorder (MediaRecorder, Noldus, Netherlands) et Tobii (Tobii AB, Danderyd, Sweden) ensemble. Observert XT synchronise le tout à l'aide de la syncbox.

2.3.6 L'opérationnalisation des variables de recherche

L'étude repose sur la mesure de quatre construits principaux : l'état cognitif, l'état affectif, l'attention visuelle et la réussite. Ces variables ont été évaluées à l'aide d'une combinaison de mesures physiologiques, de mesures de perception et d'évaluation. D'autant plus, dans l'étude-ci, il y a présence de la variable modératrice qui se définit comme étant les troubles d'apprentissage et d'attention, tels que le TDAH, la dyslexie et la dysorthographie. Le construit est souvent nommé le groupe diagnostic dans la section résultat. Sans oublier, la motivation intrinsèque face à l'apprentissage du français est une variable contrôlée prise au début de l'étude, afin d'évaluer si la motivation de départ est le même pour chaque groupe, soit celui de la condition A (présence du tutoriel) et celui de la condition B (absence de tutoriel).

1. État cognitif

(Charge cognitive)

L'état cognitif a été évalué à l'aide de mesures physiologiques. Pour la prise de la mesure physiologique par l'oculométrie, la charge cognitive a été estimée par l'analyse de la taille

moyenne des pupilles au cours des tâches, ainsi que par la variation de cette taille par rapport à la valeur de référence, celle prise de base.

2. État affectif

(Valence, arousal, plaisir auto-reporté, arousal auto-reporté)

L'évaluation de l'état affectif a combiné des mesures physiologiques et des mesures subjectives. Les images prises par la webcam a permis une analyse des expressions faciales. Par la suite, l'activité électrodermale, prise à l'aide de Biopac MP-150(BIOPAC System Inc., États-Unis) permettait de comprendre l'intensité de l'émotion. Pour le plaisir ressenti, soit la valence, cela a été évalué à l'aide d'une échelle auto-reportée (Betella & Verschure, 2016). Un curseur visuel avec images a été utilisé pour faciliter la compréhension des enfants. Le niveau d'agitation perçu (arousal) a aussi été prise à l'aide d'une échelle auto-reportée intégrée à Qualtrics (Betella & Verschure, 2016). Un curseur visuel avec des images a été utilisé pour faciliter la compréhension des enfants.

3. Attention visuelle

(Coefficient focal-ambiant k, AOIs)

La mesure physiologique de l'attention visuelle a été mesurée à l'aide du suivi oculaire. L'attention visuelle a été évaluée à l'aide de l'oculométrie. Cette mesure repose sur l'analyse de la dispersion visuelle et est caractérisée par la moyenne des coefficients focal-ambient K (Krejtz et al., 2016).

Pour avoir la mesure juste concernant le regard posé sur les boîtes qui composent le tutoriel, des zones d'intérêt (AOI) ont été prises.

4. Réussite

Pour la dernière variable mesurée, soit la réussite des participant, cela a été mesurée de manière objective. La réussite des participants dans le jeu a été comptabilisé par le nombre de mots correctement réussis à chaque partie. Les données ont été enregistrées dans un fichier Excel nommé Observation, qui servait à noter toutes les observations pertinentes lors de l'étude.

Toute l'opérationnalisation des construits (les variables de recherche) est précisée et concises dans un tableau en annexe III avec leur source.

5. Motivation intrinsèque

À l'aide d'une échelle de 4 items, sur 1, étant tout à fait en désaccord, et 7 étant tout à fait en accord, la question de la motivation intrinsèque de l'apprenant a été posée et répondue dans le Qualtrics avant de débuter les 3 trois parties. La motivation intrinsèque a été demandée à titre de variable de contrôle, afin de comparer si la motivation intrinsèque pour l'apprentissage du français est relativement semblable pour les deux groupes, le groupe de la condition A et le groupe de la condition B.

2.3.7 Les analyses statistiques

Avant toute analyse statistique, il est important d'exécuter une synchronisation des données (expliquée dans la section 2.3.5). À la suite de la synchronisation des données, le statisticien nettoie les données dans le but de recevoir un fichier de données prêt à analyser. Toutes les analyses statistiques ont été réalisés sur SAS, version en ligne (SAS Institute, North Carolina, USA).

Afin de connaître quel type de test prendre pour confirmer ou infirmer une hypothèse, il a été nécessaire de vérifier les distributions des variables dépendantes à l'aide d'histogrammes et des tests de normalité. Pour les variables dépendantes auxquelles la normalité n'est pas respectée, elles ont eu recours à une transformation, par exemple, en considérant la distribution irrégulière, non-normale, de la mesure physiologique de l'état cognitif, une coupure à la médiane a été réalisée afin de créer une variable binaire, qui catégorise les participants avec une grande mesure de la taille de la pupille (la variation tend vers une taille plus grande de base) et une petite taille de la pupille (la variation tend vers une taille plus petite de base). De plus, due à sa distribution irrégulière, non-normale, de la mesure auto-reportée du niveau d'agitation perçu (échelle curseur de 1 à 100; calme à agité(e)), une médiane split a été réalisée afin de créer une variable binaire, qui a catégorisé les participants avec des réponses mentionnant un comportement plus calme et les participants avec des réponses disant se sentir plus agité(e). Par ailleurs, une autre variable qui a subi une transformation est la valence. Une régression logarithmique, une

régression linéaire modifiée incluant une variable logarithmique, a été appliquée pour cette variable physiologique. Quant à la variable réussite, celle-ci suit une distribution normale, ainsi le test de la régression linéaire a été utilisé pour mesurer l'effet du tutoriel sur la réussite des apprenants lors des différents niveaux du jeu. Vu que la réussite suit une distribution normale, le test de la régression linéaire a été utilisé pour mesurer l'effet de la charge cognitive sur la réussite des apprenants lors des différents niveaux du jeu. Ainsi, une combinaison de régressions linéaires, logistiques et non-binaires, selon la nature des variables dépendantes a permis des réponses aux hypothèses posées plus tôt.

À l'exception de l'attention visuelle qui suivait une courbe. Le test effectué est une courbe avec valeur numérique avec *random intercept*. La conversion de la vitesse en valeur numérique suppose implicitement, comme présentée à l'équation 1 (Gelman & Hill, 2007).

$$(1) \text{ Vitesse moyenne} - \text{Vitesse lente} = \text{Vitesse haute} - \text{Vitesse moyenne}$$

2.4 Résultats

2.4.1 Les statistiques descriptives de l'étude

Tout d'abord, en ce qui concerne les caractéristiques socio-démographiques des participants, 14 garçons et 15 filles ont participé à l'étude. À titre de rappel, tous les participants sont des élèves en difficulté d'apprentissage âgés entre 10 et 12. Afin de connaître la répartition des âges, le tableau 4 résume le nombre de participants selon l'âge.

Tableau 4. Répartition des participants par âge.

Âge	n	(%)
10	3	10,3
11	18	62,1
12	8	27,6

Note. La répartition des participants est présentée en nombre et en pourcentage.

Par la suite, en ce qui concerne l'expérience de jeu, 14 des 16 participants de la condition A avaient déjà joué à la version 1 du jeu (ancienne version), mais seulement 2 avaient expérimenté la version 2 (celle évaluée). Pour la condition B, 9 participants sur 13 avaient joué à la version 1, tandis qu'un seul avait joué à la version 2.

Enfin, en ce qui concerne la motivation intrinsèque à l'apprentissage du français, mesurée sur une échelle de 4 items, notée de 1 à 7, les participants de la condition A (présence du tutoriel) avaient un score moyen de $M= 4,48 \pm 1,21$ tandis que ceux de la condition B (absence du tutoriel) avaient un score de $M= 4,44 \pm 1,78$. Les résultats montrent une motivation relativement similaire entre les deux groupes. En effet, le test de comparaison de moyenne entre le groupe A et B, donne une p-value non significative s'élevant à 0,60.

En s'intéressant aux habitudes des participants, 26/29 ont mentionné jouer à des jeux éducatifs à l'école sur mobile ou ordinateur. 23/29 ont mentionné que l'appareil le plus utilisé pour jouer à des jeux sérieux d'apprentissage à la maison est l'ordinateur.

Pour ce qui est des statistiques descriptives des variables étudiées, le tableau 5 présente les statistiques descriptives des variables d'intérêt, y compris la moyenne (M), l'écart-type (SD). Ces variables seront davantage abordées dans les résultats par hypothèse. La condition A représente la présence du tutoriel, tandis que les participants de la condition B n'ont eu aucun tutoriel à titre de support dans le jeu.

Tableau 5. Statistiques des variables étudiées selon les conditions.

Variable	Condition A			Condition B		
	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Charge cognitive	48	0,26	0,22	39	0,45	0,24
Arousal	48	0,22	0,29	39	0,17	0,17
Valence/plaisir	48	-0,23	0,12	39	-0,16	0,17
Arousal auto-reportée	48	44,81	31,48	39	53,85	22,61
Valence auto-reportée	48	73,40	21,02	39	77,70	14,97
Attention visuelle	48	0,04	0,15	39	0,04	0,13
Réussite	48	7,31	2,11	39	6,44	2,66

Afin d'être le plus précis possible, des mesures ont été prises pour connaître si l'enfant a consulté ou regardé le tutoriel interactif. Le tableau (Tableau 6) résume la prise du regard sur les zones d'intérêt, qui sont en fait toutes les boîtes d'information qui composent le tutoriel.

Tableau 6. Consultation des tutoriels.

# de la boîte présentée du tutoriel	Nombre de personnes ayant vu la boîte (Sur 16)	Temps moyen de la visite (s)	Nombre moyen de visites	Temps moyen total passé sur la boîte (Seconde)
1	15	0,5	2	1,08
2	aucun	n/a	n/a	n/a
3	3	0,27	1,33	0,36
4	16	1,1	2,25	2,48
5	3	1,86	1,33	2,47
6	16	0,99	3,31	3,28
7	16	2,16	1,63	3,52
8	16	1,35	1,81	2,44

Note. Le tableau présente le nombre de personnes ayant consulté la boîte du tutoriel, le temps moyen de visite, le temps moyen total passé sur le tutoriel et le nombre de visites.

Pour la boîte d'information #2, un problème technique a empêché l'affichage pour 9 participants. La boîte disparaissait trop rapidement, ou elle n'apparaissait tout simplement pas. Les 7 autres participants ne l'ont pas regardé.

Par ailleurs, pour les boîtes d'informations 4, 6, 7 et 8, tous les participants les visitent puisqu'ils sont dans l'obligation de cliquer sur le OK pour passer au suivant. De plus, le nombre moyen de visites est plus élevé et la durée moyenne des visites aussi. Ceci vient

appuyer ce que l'étude de Cheung et al. de 2014, les tutoriels, qui ne sont pas imposés d'une certaine manière au joueur, par une fonctionnalité ou un élément à cliquer, il est possible que ceux-ci sont complètement ignorés (Cheung et al., 2014).

2.4.2 Les tests et la validation des hypothèses

H1 : L'effet des manipulations de l'étude sur la réussite

Dès le départ, l'étude tente de comprendre l'effet du tutoriel et de la difficulté sur la réussite de l'apprenant, ici, considéré comme le résultat final de l'apprentissage. La première hypothèse de ces principales manipulations est la H1a :

H1a : La présence d'un tutoriel interactif améliore la réussite des apprenants dans un jeu sérieux.

À titre de rappel, la condition A signifie le groupe de participants ayant reçu l'aide du tutoriel tout au long de la première partie du jeu. Tandis que la condition B, c'est le groupe n'ayant eu recourt à aucun support. En comparant les deux conditions ensemble selon la tâche, ici, la partie 1, partie 2 et la partie 3, on remarque que la moyenne de tous les résultats des participants, soit le nombre de mots réussis, est plus grande pour les participants du groupe de la condition A (présence du tutoriel) (voir Tableau 7).

Tableau 7. Nombre de mots réussis par tâche selon la condition.

Tâche	Condition A		Condition B	
	M	SD	M	SD
Tâche 1	8,44	1,93	7,38	3,25
Tâche 2	7,56	1,82	6,62	2,10
Tâche 3	5,94	1,84	5,31	2,25

Le succès des participants pour la tâche 1 avec tutoriel ($M= 8,44$ mots, $SD=1,93$), quant au succès sans tutoriel ($M= 7,38$ mots, $SD=3,25$) mots. Pour la tâche 2, soit la partie 2 du jeu, le groupe exposé au tutoriel ($M= 7,56$ mots, $SD=1,82$), tandis que le groupe B, donc celui non exposé au tutoriel a eu une plus petite moyenne de mots réussis ($M= 6,62$ mots, $SD=2,10$). Le succès des participants pour la tâche 3, avec tutoriel, ($M=5,94$, $SD= 1,84$) et sans tutoriel, ($M= 5,31$, $SD=2,25$). La tâche 1, plus facile, possède le succès moyen de l'ensemble des participants le plus grand.

Toutefois, pour répondre à l'hypothèse initiale, on souhaite comparer les résultats entre la condition A et B sur l'ensemble des trois parties, et non divisée par partie.

Conformément aux standards de plusieurs revues scientifiques, en particulier dans le cadre d'études exploratoires, il est pertinent de rapporter les effets dont la valeur p se situe entre 0,05 et 0,10, en plus de ceux atteignant le seuil conventionnel de 0,05. Ces effets sont alors qualifiés de « marginalement significatifs ». Cette pratique permet de mettre en lumière des tendances ou effets potentiellement intéressants qui méritent d'être explorés davantage, comme cela a été observé dans la revue International Journal of Child-Computer Interaction, notamment dans les travaux de Deater-Deckard et al. (Deater-Deckard et al., 2014) et de Dillenbourg (Dillenbourg, 2024).

Dans le cadre de la présente étude, un effet marginalement significatif a été observé à un seuil de 10 % ($B = 0,88$, $SE = 0,64$, $p = 0,08 < 0,10$), suggérant que le tutoriel a eu un impact positif sur la réussite des apprenants. Plus précisément, les participants ayant bénéficié du tutoriel ont obtenu de meilleurs résultats que ceux n'y ayant pas eu accès.

En observant le tableau 7, on remarque aussi qu'à chaque fois qu'on augmente le niveau de difficulté (partie 1 versus partie 2, et ainsi de suite), la réussite diminue. Cela mène vers la deuxième hypothèse liée à la manipulation de la difficulté :

H1b : Une augmentation du niveau de difficulté du jeu a un effet négatif sur la réussite des apprenants.

L'analyse de l'effet global de la difficulté, opérationnalisée par l'augmentation progressive de la vitesse entre les parties du jeu, révèle une influence significative sur la

réussite des apprenants, soit moins de mots réussis ($p < 0,0001$). Ce résultat indique que la difficulté du jeu, dans son ensemble, affecte de manière significative le nombre de mots correctement identifiés. Néanmoins, cet effet ne rend pas compte des effets simples entre les niveaux de difficulté.

Des comparaisons deux à deux montrent une diminution significative de la réussite à chaque augmentation de la vitesse :

- Le passage de la vitesse lente à la vitesse moyenne est associé à une baisse du nombre de mots réussis ($B = -0,83, SE = 0,45, p = 0,03 < 5\%$),
- Le passage de la vitesse lente à la vitesse rapide entraîne une diminution plus marquée ($B = -2,31, SE = 0,45, p = 0,0005 < 1\%$),
- Enfin, le passage de la vitesse moyenne à la vitesse rapide est également significatif ($B = -1,48, SE = 0,44, p = 0,002 < 1\%$).

Ces résultats suggèrent un effet négatif direct et progressif de la difficulté sur la réussite : à mesure que la vitesse augmente, la réussite des apprenants diminue. Le tableau 8 présente l'ensemble des comparaisons entre les niveaux de difficulté.

Tableau 8. Comparaison entre les niveaux difficulté (la vitesse) sur la réussite.

Comparaison des vitesses	Variable dépendante	Estimation	p-value
Vitesse lente vs. Vitesse moyenne	Réussite	-0,83	0,03
Vitesse lente vs. Vitesse rapide	Réussite	-2,31	0,0005
Vitesse moyenne vs. Vitesse rapide	Réussite	-1,48	0,002

Note. Les valeurs p indiquent les résultats des tests de comparaison entre les différentes vitesses.

Par la suite, l'étude se concentre sur les mécanismes de l'étude choisis liés à l'apprentissage, soit les dimensions cognitives, affectives et attentionnelles. Les tests d'hypothèses suivants présentent les résultats de ces dimensions.

H2 : Les hypothèses liée à la dimension cognitive

H2a : La présence d'un tutoriel interactif diminue la charge cognitive des apprenants.

À un niveau de signification de 5 %, le test est significatif ($B = -1,95$, $SE = 0,99$, $p = 0,03$). Bien que le tutoriel semble avoir un effet sur la réussite, cet effet pourrait être en partie expliqué par la charge cognitive. Cette interprétation est renforcée par les résultats de l'hypothèse H2c, qui indiquent que l'état cognitif influence le nombre de mots réussis.

H2b : Une augmentation de la difficulté d'un jeu sérieux augmente la charge cognitive de l'apprenant.

Bien que la littérature mentionne que le niveau de difficulté peut possiblement influencer la charge cognitive, dans ce contexte, aucune significativité n'a été trouvé pour l'effet de la difficulté sur l'état cognitif de l'apprenant.

À un niveau de signification de 5%, le test est non-significatif ($p = 0,13 > 5\%$, ni marginalement significatif à 10%)

H2c : Une diminution de la charge cognitive des apprenants mène vers de meilleures réussites.

Une analyse statistique a été menée afin d'examiner l'effet de la charge cognitive sur la réussite. Les résultats indiquent une relation significative entre ces deux variables ($\beta = -0,98$, $p = 0,046 < 5\%$). Plus précisément, lorsque la charge cognitive (la taille moyenne des pupilles) est élevée, la réussite (le nombre de mots) des apprenants tend à être plus faible, et vice versa. Ces résultats suggèrent que la charge cognitive exerce un effet direct sur la réussite des participants.

H3 : L'effet des variables sur l'état affectif

H3a : La présence d'un tutoriel interactif dans un jeu sérieux favorise un état affectif positif chez l'apprenant.

Malgré ce que la littérature présume, dans ce contexte-ci, les analyses n'ont révélé aucun effet significatif du tutoriel sur les variables affectives, qu'il s'agisse des mesures physiologiques ou auto-reportées.

- Arousal physiologique : $B = -0,24, p = 0,32$
- Valence physiologique : $B = -0,07, p = 0,91$
- Arousal auto-rapporté : $B = -0,52, p = 0,25$
- Valence auto-rapportée : $B = -1,33, p = 0,93$

Aucun des tests n'a atteint le seuil de signification statistique ($\alpha = 5\%$), suggérant que, dans le contexte de cette étude, la présence ou l'absence de tutoriel n'a pas eu d'effet mesurable sur l'état affectif des apprenants.

H3b : Une augmentation de la difficulté du jeu sérieux conduit à un état émotionnel plus négatif chez l'apprenant.

Concernant l'effet de la difficulté sur le niveau d'agitation perçu, il a été observé que la difficulté du jeu a un impact significatif sur le niveau d'agitation perçu. Cet effet global significatif ($p=0,05$) stipule que la vitesse en générale a un impact sur le niveau d'agitation perçu. Toutefois, cet effet ne prend pas en compte les effets simples 1 à 1. Lorsqu'on s'intéresse aux effets simples, les résultats du test de comparaison deux à deux montrent qu'il y a un effet considéré marginalement significatif seulement pour la comparaison de la vitesse rapide avec lent indiquant que plus la vitesse augmente, plus l'état d'agitation augmente ($B = 1,40 \text{ SE } B = 0,65 \text{ } p=0,06 < 0,1$) Pour les autres comparaisons, les effets ne sont pas significatifs : vitesse lente à moyenne ($B=1,01, \text{ SE } B= 0,65, p=0,13$) vitesse rapide à moyenne ($B=0,39, \text{ SE } B= 0,63, p=0,28$) (voir Tableau 9).

Tableau 9. Effet du changement de niveau de difficulté (vitesse) sur l'état d'agitation perçu.

Comparaison entre les niveaux	Estimation	Erreur type	p-value	Statut
Vitesse moyenne vs. lente	1,01	0,65	0,13	Non supportée
Vitesse rapide vs. lente	1,40	0,65	0,06	Marginalement supportée
Vitesse rapide vs. moyenne	0,39	0,63	0,28	Non supportée

Note. L'analyse compare l'effet du changement de niveau de difficulté (vitesse) sur l'état d'agitation auto-reportée (arousal) en paires de conditions.

Pour les autres variables qui composent l'état affectif, les analyses n'ont révélé aucun effet significatif de la difficulté sur l'arousal physiologique ($F(2,55) = 0,44, p = 0,65$), la valence physiologique ($F(2,56) = 0,04, p = 0,96$), ni sur la valence auto-rapportée ($F(2,56) = 0,07, p = 0,93$). Ces résultats suggèrent que la difficulté du jeu n'influence pas ces dimensions de l'état affectif.

H3c : Plus l'état affectif de l'apprenant est positif, plus sa réussite dans un jeu sérieux est grande.

Parmi les différentes composantes de l'état affectif, seul l'arousal auto-rapporté présente un lien significatif avec la réussite ($B = -1,41, p = 0,012 < 5\%$), suggérant qu'un niveau élevé d'arousal perçu pourrait diminuer la réussite de l'apprenant.

En revanche, les autres dimensions de l'état affectif n'ont pas montré de relation significative avec la réussite :

- Arousal physiologique : $B = 0,45 p = 0,67$
- Valence physiologique : $B = 0,78 p = 0,72$
- Valence auto-rapportée : $B = 0,29 p = 0,62$

Ces résultats indiquent que la réussite des apprenants ne semble pas être influencée par la valence émotionnelle, qu'elle soit mesurée physiologiquement ou auto-rapportée.

H4 : Les tests d'hypothèses liées au mécanisme de l'attention visuelle

H4a : La présence d'un tutoriel interactif dans un jeu sérieux améliore l'attention visuelle des apprenants.

La présence du tutoriel n'a pas eu d'effet significatif sur le coefficient k , indicateur de l'attention visuelle ($B = 0.006, p = 0,44 > 0,05$).

H4b : Une augmentation de la difficulté d'un jeu sérieux conduit à une attention visuelle moins focalisée (plus dispersée).

L'analyse par modèle linéaire mixte à intercepts aléatoires, dans lequel la variable vitesse a été traitée comme ordinaire numérique, indique que le coefficient k , utilisé comme indicateur de l'attention visuelle, atteint son maximum lorsque la vitesse est moyenne ($B = 0,02, SE = 0,01, p = 0,05 < 10\%$). Ce résultat, marginalement supporté, suggère un coefficient k plus élevé à une vitesse modérée, correspondant à la Partie 2 du jeu.

La relation observée entre la vitesse et le coefficient k ne suit pas une progression linéaire : les valeurs les plus basses du coefficient sont associées aux vitesses lente et rapide, alors que la valeur la plus élevée est observée à la vitesse moyenne (focalisation visuelle plus marquée), dessinant une courbe en forme de « n ». Ainsi, cela suggère une relation non linéaire entre la difficulté perçue (opérationnalisée ici par la vitesse du jeu) et l'attention visuelle (coefficient k). Autrement dit, la relation se dit curvilinéaire, où un niveau modéré de difficulté, ici représenté par la vitesse moyenne, favorise un engagement attentionnel optimal.

Il est important de souligner que le codage numérique de la variable vitesse implique une hypothèse d'égal espacement entre les niveaux de vitesse, ce qui peut influencer l'interprétation du modèle.

H4c : Une meilleure (plus focalisée) attention visuelle favorise la réussite de l'apprenant dans un jeu sérieux.

Le test n'était pas significatif ($B = -2,35$, $p=0,104 > 10\%$), indiquant que l'attention visuelle, soit le coefficient k, ne joue pas un rôle de médiateur dans la réussite. Ainsi, aucun effet significatif de l'attention visuelle sur le nombre de mots réussis n'a été observé.

H5 : Effet modérateur de la présence d'un diagnostic formel sur la relation entre le tutoriel et la charge cognitive

Pour terminer l'analyse des hypothèses, on revient sur la relation du tutoriel et de la charge cognitive (soit, la moyenne de la taille des pupilles), afin d'observer l'effet de la présence d'un diagnostic précis d'apprentissage sur la relation. Il est important de se rappeler que tous les enfants participants sont dans une situation de difficulté d'apprentissage, toutefois, certains ont des diagnostics précis de trouble d'apprentissage.

Afin d'illustrer plus concrètement l'effet modérateur de la présence d'un trouble d'apprentissage ou d'attention sur la relation entre le tutoriel et la charge cognitive, la figure 5 présente les effets du tutoriel séparément pour les enfants avec et sans diagnostic reconnu (par exemple, dyslexie, dysorthographie, TDAH).

Cette figure met en évidence que, bien que tous les participants soient en situation de difficulté d'apprentissage, l'effet du tutoriel est particulièrement marqué chez ceux ayant un diagnostic précis. Chez ces derniers, le tutoriel est associé à une réduction significative de la charge cognitive, tandis qu'aucun effet significatif n'est observé chez les enfants sans diagnostic formel.

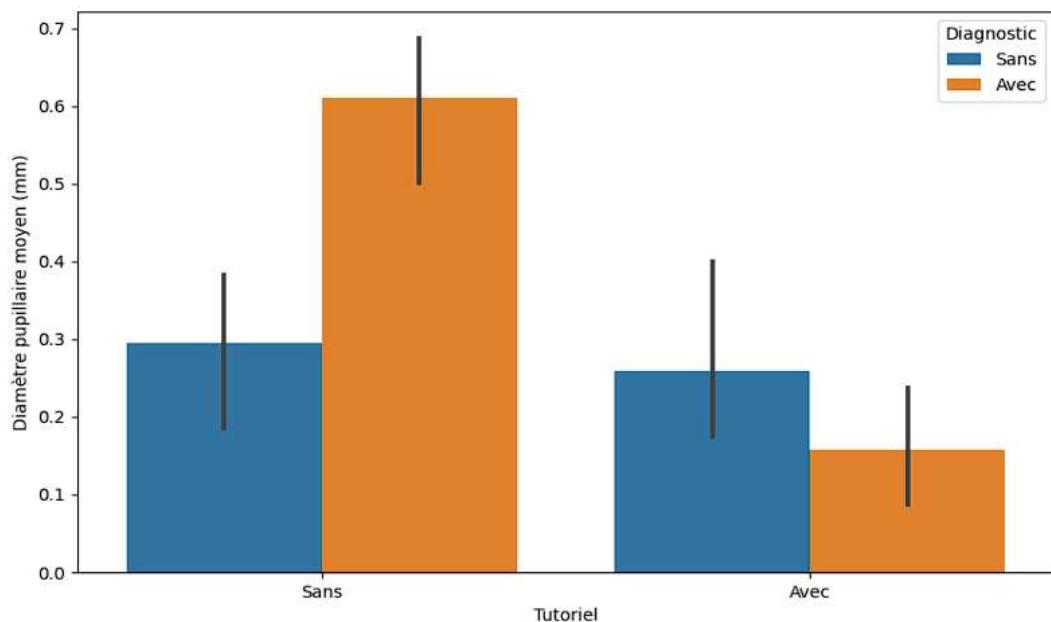


Figure 5. La taille des pupilles.

Note. Le tutoriel (sans) représente la condition B et le tutoriel (avec) représente la condition A. De plus, le diamètre pupillaire moyenne (mm) représente la charge cognitive de chacun des groupes dans cette étude.

Rappel de l'hypothèse sur cette modération :

H5 : La présence de trouble d'apprentissage ou trouble d'attention (dyslexie, dysorthographie et TDAH) accentue l'effet de la présence d'un tutoriel interactif sur la charge cognitive, de sorte que les apprenants ayant de trouble d'apprentissage entraînant une réduction plus marquée de la charge cognitive par rapport aux apprenants sans trouble d'apprentissage précis ou trouble d'attention.

Concernant la variable modératrice qu'est la présence d'un trouble d'apprentissage (dyslexie, dysorthographie) ou d'un diagnostic d'attention reconnu (TDAH), les résultats suggèrent que l'effet du tutoriel sur la charge cognitive, mesurée par la dilatation pupillaire moyenne, dépend de la présence d'un diagnostic formel. En effet, une régression incluant l'interaction entre la variable « tutoriel » (condition A ou B) et la présence d'un diagnostic formel révèle un effet d'interaction significatif sur la charge cognitive (la moyenne de la taille de pupille) ($F(1, 58) = 7,94, p = 0,0066 < 1\%$). Plus précisément, le tutoriel réduit significativement la charge cognitive chez les enfants ayant

reçu un tel diagnostic formel ($B = -0,41, p = 0,0007 < 1\%$), alors qu'aucun effet n'a été détecté chez les enfants sans diagnostic d'apprentissage reconnu ($B = 0,01, p= 0,9213 > 10\%$).

Afin d'avoir un regard plus approfondi sur la relation de la modération de la présence de trouble d'apprentissage (dyslexie, dysorthographie) ou diagnostic reconnu (TDAH), des analyses supplémentaires ont été effectuées pour voir son effet par tâche, soit pour chaque partie du jeu.

En regardant au niveau des tâches, pour les enfants ayant un trouble d'apprentissage ou trouble de l'attention précis, la taille ajustée moyenne de la pupille tend à diminuer de la taille de la pupille de base. Ainsi, la charge cognitive diminue de -2.64 mm pour la tâche 1, partie avec la vitesse lente ($p= 0,004 < \alpha=5\%$), -2.50 mm pour la tâche 2, partie avec la vitesse moyenne ($p= 0,02 < \alpha=5\%$) et -2,64 mm pour la tâche 3, partie avec la vitesse rapide, ($p= 0,01 < \alpha=5\%$).

Afin d'avoir une vue d'ensemble sur les tests significatifs, le modèle de recherche de départ ressemble dorénavant à la Figure 6. Pour résumer tous les tests des hypothèses, le Tableau 11 présente le statut de chaque relation étudiée.

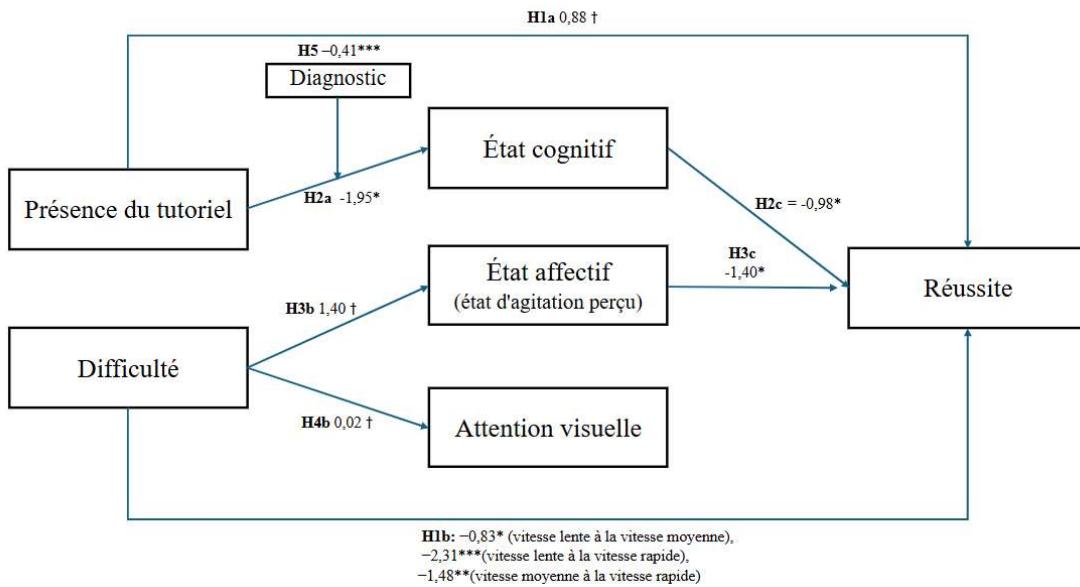


Figure 6. Modèle de recherche simplifié

Note. 1 étoile (*) indique que la relation est significative à un niveau p de 0,05 ; 2 étoiles (**) indiquent que la relation est significative à un niveau de p de 0,01 ; 3 étoiles (***) indiquent que la relation est significative à un niveau de p de 0,001. Le symbole † indique un effet marginalement significatif (p entre 0,05 et 0,10). Dans le cadre de cette étude exploratoire, ces tendances sont rapportées car elles peuvent orienter et enrichir les pistes d'analyse pour de futures recherches.

Tableau 10. Le statut des hypothèses de l'étude.

Hypothèse	Description	Statut
H1a	La présence d'un tutoriel interactif améliore la réussite des apprenants dans un jeu sérieux.	Supportée
H1b	Une augmentation du niveau de difficulté du jeu a un effet négatif sur la réussite des apprenants.	Supportée
H2a	La présence d'un tutoriel interactif diminue la charge cognitive des apprenants.	Supportée
H2b	Une augmentation de la difficulté d'un jeu sérieux augmente la charge cognitive de l'apprenant.	Non supportée
H2c	Une diminution de la charge cognitive des apprenants mène vers de meilleures réussites.	Supportée
H3a	La présence d'un tutoriel interactif dans un jeu sérieux favorise un état affectif positif chez l'apprenant.	Non supportée

H3b	Une augmentation de la difficulté du jeu sérieux conduit à un état émotionnel plus négatif chez l'apprenant.	Partiellement supportée
H3c	Plus l'état affectif de l'apprenant est positif, plus sa réussite dans un jeu sérieux est grande.	Partiellement supportée
H4a	La présence d'un tutoriel interactif dans un jeu sérieux améliore l'attention visuelle des apprenants.	Non supportée
H4b	Une augmentation de la difficulté d'un jeu sérieux conduit à une attention visuelle moins focalisée (plus dispersée).	Supportée
H4c	Une meilleure (plus focalisée) attention visuelle favorise la réussite de l'apprenant dans un jeu sérieux.	Non supportée
H5	La présence d'un diagnostic de trouble d'apprentissage (ex. dyslexie, TDAH, dysorthographie) amplifie l'effet du tutoriel interactif sur la charge cognitive, de sorte que les apprenants ayant un diagnostic bénéficient davantage de l'échafaudage offert par le tutoriel, entraînant une réduction plus marquée de la charge cognitive par rapport aux apprenants sans diagnostic précis.	Supportée

2.5 Discussion

Lors d'un contexte de jeu sérieux, l'expérience d'apprentissage et de jeu est améliorée par la présence du tutoriel interactif. Brièvement, la présence du tutoriel améliore la réussite des participants, indépendamment du niveau de difficulté du jeu. Cet effet s'explique en partie par la réduction de la charge cognitive induite par le tutoriel. Cet effet permet à l'apprenant de se concentrer et de mobiliser la demande cognitive seulement sur l'accomplissement de la tâche, soit d'écrire les mots de vocabulaire sans erreurs (Chandler, 1991). L'effet du tutoriel est encore plus grand chez les participants, qui ont un diagnostic précis, soit le TDAH, la dyslexie ou la dysorthographie.

Cela étant dit, le tutoriel ne change pas tout sur le plan de l'expérience, mais offre une possibilité de réduire la charge cognitive, un mécanisme important dans l'apprentissage. Il mène l'apprenant vers une expérience de jeu plus intuitive et moins ardue pour la compréhension des principes et règles du jeu. Il est important de se rappeler que le tutoriel peut aussi s'avérer une nuisance par sa redondance et son format (Tasnim et al., 2024).

Ainsi, il faut s'assurer que sa conception se concentre sur un contenu pertinent, sans surchargés d'informations (Sweller, 2005).

En somme, le tutoriel améliore les résultats principalement en réduisant la charge cognitive, sans influence directe sur les émotions ou l'attention. Ces conclusions ont des implications intéressantes pour l'éducation et la conception d'environnements d'apprentissage numériques. L'ajout de celui-ci est encore plus pertinent lorsqu'on tente de réduire la charge cognitive d'un enfant contraint à de grandes difficultés d'apprentissage.

Du côté des résultats de la manipulation de la difficulté, on remarque que la difficulté a un effet sur la réussite des mots, le niveau d'agitation perçu et l'attention visuelle. En effet, plus le jeu augmente en termes de difficulté, moins les résultats sont bons. Bien que la difficulté du jeu affecte négativement la réussite, les mécanismes sous-jacents à cet effet restent flous. Ce qu'il a été possible de déduire est que la difficulté influence le niveau d'agitation perçu et l'attention visuelle, mais seulement le facteur du niveau d'agitation perçu semble affecter directement la réussite de l'apprenant. Ce mécanisme affectif contribue à éclairer, du moins partiellement, les effets de la difficulté du jeu sur la réussite (Chang & Yang, 2023). Il reste pertinent d'approfondir ces dimensions cognitives, affectives et attentionnelles, afin d'explorer si les enfants développent, dans certains cas, des stratégies de compensation, comme l'hyperfocalisation.

L'augmentation de la difficulté se traduit dans une diminution de la réussite, mais la complexité de la dernière partie semble plus marquante. Autrement dit, le passage entre la partie 2 à la trois semble plus frappant que le passage de niveau entre la partie 1 et 2. La dernière partie, soit la vitesse rapide, peut s'avérer trop complexe vis-à-vis les compétences de l'apprenant en défi d'apprentissage. De ce fait, cela pourrait expliquer les raisons pour lesquelles l'attention visuelle atteint son point maximal à la deuxième partie. Cette observation suggère l'existence d'un effet plafond, voire d'un seuil de rupture, invitant à repenser la progression des niveaux de difficulté pour maintenir l'engagement à long terme sans provoquer de surcharge cognitive. Dans cette perspective, le niveau intermédiaire, soit lorsque la vitesse du jeu est moyenne, apparaît comme un point

d'ancre pertinent, suggérant un équilibre entre les compétences de l'apprenant et le défi (Aponte et al., 2009 ; Hung et al., 2014).

Ces résultats mettent en évidence l'importance d'un équilibre entre défi, support et compétences dans la conception des jeux sérieux, en lien avec le concept d'échafaudage. Inspirée de la théorie de la zone proximale de développement de Vygotsky (Vygotsky, 1978), l'approche de l'échafaudage fournit une assistance temporaire adaptée, progressivement retirée à mesure que l'apprenant gagne en autonomie (Zhang et al., 2018). Un bon design de jeu repose sur une courbe de difficulté bien équilibrée (Aponte et al., 2009), offrant un niveau de stimulation suffisant sans submerger l'apprenant (Cantuni, 2020). L'intégration de tutoriel interactif et de mécanismes d'ajustement de la difficulté contribue à adapter l'expérience d'apprentissage aux besoins individuels des enfants en difficulté (Casillas et al., 2021).

En conclusion, ces résultats soulignent des implications théoriques, pratiques et méthodologiques, offrant des perspectives pour le développement de jeux pédagogiques adaptés aux besoins spécifiques des apprenants en difficulté.

Contribution théorique

Il en résulte que l'effet du tutoriel interactif semble diminuer considérablement la charge cognitive chez l'apprenant du 3e cycle, mais aussi de réduire davantage celle des apprenants avec des diagnostics tels que la dyslexie, dysorthographie et TDAH. Ce qui mène une interaction intéressante entre l'apport du tutoriel interactif et la mémoire du travail d'un apprenant en situation de défi d'apprentissage (Zhang et al., 2018).

Ce résultat sur cette diminution de la charge cognitive suggère un potentiel d'adaptation des supports d'apprentissage pour mieux répondre aux besoins des élèves ayant des troubles d'apprentissage (Lewis, 2018). Cette découverte enrichit les théories de la charge cognitive en introduisant le tutoriel comme un soutien stratégique permettant de mieux gérer la complexité des tâches et de s'approcher de la zone proximale de développement, en particulier pour les apprenants qui présentent un plus grand besoin d'accompagnement spécifique pour surmonter leurs limites cognitives actuelles. Les résultats soulignent aussi

que la charge cognitive joue un rôle essentiel dans l'optimisation de la réussite, et ce, de manière distincte selon les besoins des apprenants.

Ainsi, le tutoriel interactif joue un rôle de soutien, en accompagnant les enfants à accomplir les tâches du jeu tout en diminuant la charge cognitive. De cette façon, le tutoriel agit comme un médiateur cognitif qui pousse l'apprenant à accomplir des tâches à sa capacité limitée actuelle, tout en favorisant un apprentissage plus efficace et adapté.

Implications managériales

La présente recherche informe les concepteurs de jeux sérieux, en vue d'améliorer l'expérience d'apprentissage, sous trois différentes dimensions – cognitive, affective et visuelle – chez les enfants présentant des défis d'apprentissage. Elle met en lumière des éléments clés liés à la complexité du jeu, tels que l'effet de l'augmentation de la vitesse sur l'attention visuelle, à laquelle celle-ci tend de suivre une courbe, et l'effet du tutoriel sur la charge cognitive. Ce dernier agit à titre de soutien cognitif, plus particulièrement, les élèves du troisième cycle du primaire rencontrant des difficultés scolaires. En effet, sa présence contribue à réduire la charge cognitive, favorisant une meilleure concentration et un engagement accru et, ultimement, une réussite plus grande.

Au-delà des concepteurs de jeux sérieux, les résultats de cette étude peuvent également intéresser les enseignants et intervenants scolaires qui souhaitent intégrer des outils numériques dans leur pratique pédagogique. Le fait d'approfondir le lien entre le niveau de défi et les outils de soutien intégrés dans le jeu sérieux permet de comprendre de quelles manières l'attention, la charge cognitive et les émotions jouent des rôles cruciaux dans l'expérience d'apprentissage par le jeu. Cela incite donc les enseignants à faire des choix plus conséquents, tout en prenant compte ces trois dimensions. Par exemple, sélectionner une activité numérique offrant un bon équilibre entre le défi, la compétence et le support peut accroître l'engagement des apprenants et soutenir ceux ayant des besoins particuliers.

Par ailleurs, les résultats obtenus peuvent bénéficier aux organisations œuvrant en éducation, qu'il s'agisse d'organismes communautaires ou de centres de soutien à l'apprentissage. Cette recherche contribue à promouvoir des pratiques avec des jeux

sérieux adaptés aux enfants plus vulnérables en termes de demande cognitive. D'autant plus, en présentant les bénéfices du support, ici le tutoriel interactif, cela insiste l'intégration de celui-ci dans les futures activités pédagogiques.

Innovation(s) ou extension méthodologique

Ce qui est particulièrement intéressant dans cette expérimentation, c'est la création de la courbe en fonction des différents niveaux du jeu, remarquée par la différence dans les résultats. En effet, les niveaux de difficulté : lent, moyen et rapide créent des différences dans l'expérience du jeu. Le niveau de la vitesse lente semble ne pas susciter assez de défi concernant la capacité de l'enfant, quant au niveau de la vitesse rapide, le défi est trop grand, donc l'enfant n'arrive plus à répondre aux demandes du jeu.

D'autant plus, l'adaptation de nos échelles est un élément pertinent pour la méthodologie scientifique. À la suite de tests avec des enfants sur la compréhension des échelles, il a été rapidement remarqué que leur conception n'était pas là même que celle d'un adulte (Cantuni, 2020). L'ajout de simple emoji pour certaines échelles, par exemple, pour celle du plaisir (valence) n'est pas une solution suffisante. Donc, les échelles avaient un code de couleur qui représentait une émotion ou une opinion positive par le vert et une émotion et une opinion négative par le rouge. Sans oublier, l'ajout d'un exercice de compréhension des échelles, rapidement discuté dans le point 2.3.7-*Procédure* de l'article, a permis de s'assurer que toutes les échelles soient comprises dans son fonctionnement et son interprétation par l'enfant participant. L'exercice s'est basé sur l'appréciation de la crème glacée, et deux types de question ont été posés : 1) Sur une échelle de 1 à 7, à quel point tu aimes la crème glacée à la vanille. 2) En bougeant le cercle au milieu de la barre, indique comment tu te sens lorsque tu manges de la crème glacée (*slider* de mécontent.e à content.e). Ainsi, cela a permis d'éviter des biais dans plusieurs réponses.

Les limites possibles

Néanmoins, malgré toutes les mesures préventives prises, la recherche ne reste pas sans lacune. Tout d'abord, l'efficacité pour chaque apprenant est chose individuelle. La

question de la réussite de l'apprenant interagit avec différents facteurs de la vie d'un élève : la sévérité du diagnostic, la médication prise, l'heure de passage du test et ses besoins.

Pour finir, le tutoriel évalué et développé en collaboration avec un partenaire a quelques limites à considérer concernant le développement du jeu et de l'apparition des différentes boîtes du tutoriel. Plus spécifiquement, la boîte du tutoriel #2 (voir annexe I, 2^e image), soit celle ayant le message suivant : « Pour continuer à jouer, prends le temps de lire le mot bien écrit et appuie sur active la magie pour lancer tes sorts » n'apparaissait tout simplement pas ou disparaissait rapidement, ainsi l'œil de l'enfant n'arrivait pas à le consulter. Ainsi, aucun participant l'a consulté. D'autant plus, les deux premiers participants, exposés à la condition A, n'ont pas eu à cliquer sur le OK de la boîte interactive #4, qui mentionne d'appuyer sur les potions pour continuer le jeu (voir Annexe I, 4^e image). Ceci a été modifié au début du processus d'évaluation par le partenaire. En soi, cela n'a pas eu un grand effet sur l'expérience générale de l'enfant, toutefois, certains participants s'arrêtaient un instant pendant le jeu, car ils ne réalisaient pas qu'il fallait cliquer sur les potions, mais le temps de jeu n'est pas considéré dans cette étude-ci. En ce qui concerne les valeurs de la valence physiologique prise par l'électrodermale, elles peuvent s'avérer non-significatives, par le fait même que l'utilisation de cette technologique chez les enfants en un si bas jeune est très exploratoire, vu leur niveau d'agitation sur lors du jeu et sur la chaise. Ainsi, il peut parfois avoir à certains moments du bruit dans les données.

2.6 Conclusion

En résumé, la principale question au cœur de cet article est : Comment le tutoriel et l'augmentation de la complexité du jeu influencent-ils l'apprentissage des élèves en difficulté, en termes de réussite, charge cognitive, état affectif et attention visuelle ? Il s'avère que cette étude mène des recommandations essentielles aux concepteurs de jeux sérieux en mettant en lumière des mécanismes favorisant l'apprentissage des enfants en difficulté. Elle montre que l'intégration d'un tutoriel interactif peut réduire la charge cognitive, facilitant ainsi l'accomplissement des tâches et améliorant la réussite scolaire. De plus, l'impact de la complexité du jeu sur l'attention visuelle suit une dynamique non linéaire, suggérant qu'un niveau de défi modéré optimise l'engagement des apprenants.

Ces résultats soulignent l'importance d'un équilibre entre soutien et complexité pour créer des environnements d'apprentissage numériques à la fois stimulants et adaptés aux besoins spécifiques des enfants rencontrant des défis d'apprentissage. Sans oublier, la complexité augmentée mène l'apprenant à percevoir un plus grand niveau d'agitation vis-à-vis le jeu, ce niveau d'agitation perçu ne semble pas directement influencé la réussite du jeu. Toutefois, plus que le niveau de vitesse augmente, plus la réussite de l'apprenant diminue.

Dans un contexte auquel les enfants sont confrontés à des difficultés d'apprentissage, des boîtes de tutoriel interactives, conçues pour être lues, ne s'avèrent pas nécessairement le meilleur moyen de présenter de l'information. Si les boîtes d'instructions sont difficiles à comprendre et à lire, cela demande à l'apprenant de décoder le message, ce qui présente comme un défi supplémentaire pour l'apprenant en défi d'apprentissage (Snowling et al., 2013). Une possibilité à explorer est le tutoriel sous forme d'animation (Barnabé, 2020). L'animation est un élément intéressant pour montrer comment fonctionne une interaction et/ou dicter de quelle manière effectuer une tâche dans un jeu. Elle attire l'attention du joueur et permet de le guider tout au long du processus du jeu (Barnabé, 2020). D'autant plus, l'animation, par exemple sous forme de nouveau personnage, attire l'attention de l'utilisateur et l'aide à séparer le contenu ludique et instructif du contenu pédagogique (Cantuni, 2020).

Cette recherche supplémentaire pourrait venir explorer l'idée de Mousavi, Low et Sweller sur la présentation d'instructions et la charge cognitive. Les auteurs Mousavi, Low et Sweller suggèrent que les présentations didactiques devraient se faire en mode duel (Mousavi et al., 1995). Le mode duel signifie de présenter l'information de manière à être intégré de différentes modalités sensorielles (par exemple, auditive et visuelle) tout en faisant attention de ne pas simplement répéter tel quel les instructions. Ceci serait optimal pour réduire la charge cognitive et offrir une expérience de jeu optimale (Mousavi et al., 1995).

2.7 Déclaration des intérêts et des collaborations

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont pas d'intérêts financiers concurrents connus ou de relations personnelles qui auraient pu sembler influencer le travail présenté dans cet article.

La réalisation de ce projet a été fait en collaboration avec un partenaire œuvrant dans l'industrie de l'éducation (organisme à but non lucratif) et le Tech3Lab, un laboratoire de recherche en expérience utilisateur à Montréal.

Références

Alloway, T. P., & Gathercole, S. E. (Éds.). (2006). *Working Memory and Neurodevelopmental Disorders*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203013403>

Andersen, Erik, Eleanor O'Rourke, Yun-En Liu, Rich Snider, Jeff Lowdermilk, David Truong, Seth Cooper, et Zoran Popovic. « The Impact of Tutorials on Games of Varying Complexity ». In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 59-68. Austin Texas USA: ACM, 2012. <https://doi.org/10.1145/2207676.2207687>.

Anish, P. R., Joshi, V., Sonar, P., & Ghaisas, S. (2021). Writaupair : Assistive Platform for Children with Writing Difficulties. *2021 IEEE 22nd International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science (IRI)*, 380-384. <https://doi.org/10.1109/IRI51335.2021.00059>

Aponte, M.-V., Levieux, G., & Natkin, S. (2009). Scaling the Level of Difficulty in Single Player Video Games. In S. Natkin & J. Dupire (Éds.), *Entertainment Computing – ICEC 2009* (Vol. 5709, p. 2435). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04052-8_3

Baah, C., Govender, I., & Subramaniam, P. R. (2024). Enhancing Learning Engagement : A Study on Gamification's Influence on Motivation and Cognitive Load. *Education Sciences*, 14(10), 1115. <https://doi.org/10.3390/educsci14101115>

Baron, Reuben M., et David A. Kenny. « The moderator–mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. » *Journal of personality and social psychology* 51, no 6 (1986): 1173.

Betella, A., & Verschure, P. F. (2016). The affective slider: A digital self-assessment scale for the measurement of human emotions. *PLoS one*, 11(2), e0148037.

Boisvert, Marie-Eve & Daigle, Daniel. (2023, octobre 5). *Troubles d'apprentissage : Pour une réussite élargie*. <https://nouvelles.umontreal.ca/article/2023/10/05/troubles-d-apprentissage-pour-une-reussite-elargie/>

Cao, S., & Liu, F. (2022). Learning to play : Understanding in-game tutorials with a pilot study on implicit tutorials. *Heliyon*, 8(11), e11482. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11482>

Cantuni, R. (2020). Designing Digital Products for Kids : Deliver User Experiences That Delight Kids, Parents, and Teachers. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6287-0>

Casillas, J. C. L., Valdez, K. M., Lopez, S. R. F., Canto, D., Carranza, D. B., & Negron, A. P. P. (2021). Saving the Word : A serious game to improve kids reading skills. *2021 Mexican International Conference on Computer Science (ENC)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ENC53357.2021.9534816>

Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction.

Faculty of Education - Papers, 8. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804_2

Cohard, P. (2015). L'apprentissage dans les serious games : Proposition d'une typologie:

@GRH, n° 16(3), 11-40. <https://doi.org/10.3917/grh.153.0011>

Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T., & Boyle, J. M. (2012). A systematic

literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education*, 59(2), 661686. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.004>

Csikszentmihalyi, M. (2014). Applications of Flow in Human Development and Education :

The Collected Works of Mihaly Csikszentmihalyi. Springer Netherlands.

<https://doi.org/10.1007/978-94-017-9094-9>

Cuisinier, F., Sanguin-Bruckert, C., Bruckert, J.-P., & Clavel, C. (2010). Les émotions

affectent-elles les performances orthographiques en dictée ? *année psychologique*.

Deater-Deckard, K., El Mallah, S., Chang, M., Evans, M. A., & Norton, A. (2014). Student

behavioral engagement during mathematics educational video game instruction with 11–14 year olds. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 2(3), 101-108.

<https://doi.org/10.1016/j.ijCCI.2014.08.001>

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1987). The support of autonomy and the control of behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, 53(6), 1024–1037.
<https://doi.org/10.1037/0022-3514.53.6.1024>

Delignières, D. (1993). La perception de l'effort et de la difficulté. In J.P. Famose (Ed.), Cognition et performance (pp. 183-218).

Dillenbourg, P. (2024). *Can Children Benefit from Technological Applications for Body Posture Correction to Improve Handwriting? A Study to Quantitatively Investigate the Correlation between Body Posture and Handwriting Quality.*

<https://doi.org/10.5075/epfl-labo-311523>

Faber, T. J. E., Dankbaar, M. E. W., Van Den Broek, W. W., Bruinink, L. J., Hogeveen, M., & Van Merriënboer, J. J. G. (2024). Effects of adaptive scaffolding on performance, cognitive load and engagement in game-based learning : A randomized controlled trial. BMC Medical Education, 24(1), 943. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05698-3>

Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C., & Paris, A. H. (2004). School Engagement : Potential of the Concept, State of the Evidence. *Review of Educational Research*, 74(1), 59-109.
<https://doi.org/10.3102/00346543074001059>

Gagné, Y. (2017). Des troubles invisibles, mais des difficultés bien réelles. Des adaptations technologiques pour aider les étudiants ayant un trouble d'apprentissage. 30(no 2), 16.

Garard, D. L., Lippert, L., Hunt, S. K., & Paynton, S. T. (1998). Alternatives to traditional instruction : Using games and simulations to increase student learning and motivation. *Communication Research Reports*, 15(1), 36-44.

<https://doi.org/10.1080/08824099809362095>

G. Blanchard, Emmanuel, et Claude Frasson. « Un système tutoriel intelligent inspiré des jeux vidéo pour améliorer la motivation de l'apprenant ». Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation 14, n° 1 (2007): 309-37. <https://doi.org/10.3406/stice.2007.962>

Gelman, A., & Hill, J. (2007). *Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models*. Cambridge University Press.

Giannakos, M. N. (2013). Enjoy and learn with educational games : Examining factors affecting learning performance. *Computers & Education*, 68, 429-439.

<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.06.005>

Giardina, M. (1992). L'interactivité dans un environnement d'apprentissage multimédia. Revue des sciences de l'éducation, 18(1), 43-66. <https://doi.org/10.7202/900719ar>

Göbel, S., Garcia-Agundez, A., Tregel, T., Ma, M., Baalsrud Hauge, J., Oliveira, M., Marsh, T., & Caserman, P. (Éds.). (2018). Serious Games : 4th Joint International Conference,

JCSG 2018, Darmstadt, Germany, November 7-8, 2018, Proceedings (Vol. 11243).

Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02762-9>

Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M. A., & Suman, R. (2022). Understanding the role of digital technologies in education : A review. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 275-285.

<https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.004>

Holmes, W. (2011). Using game-based learning to support struggling readers at home.

Learning, Media and Technology, 36(1), 519.

<https://doi.org/10.1080/17439884.2010.531023>

Hung, C.-Y., Kuo, F.-O., Chih-Yuan Sun, J., & Yu, P.-T. (2014). An Interactive Game Approach for Improving Students' Learning Performance in Multi-Touch Game-Based Learning. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 7(1), 31-37. IEEE Transactions on Learning Technologies. <https://doi.org/10.1109/TLT.2013.2294806>

Institution des troubles d'apprentissage (2019). *Apprendre avec une dyslexie-dysorthographie*.

<https://www.institutta.com/>

Krath, J., Schürmann, L., & Von Korflesch, H. F. O. (2021). Revealing the theoretical basis of gamification : A systematic review and analysis of theory in research on gamification, serious games and game-based learning. *Computers in Human Behavior*, 125, 106963.

<https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106963>

Krejtz, K., Duchowski, A. T., Krejtz, I., Szarkowska, A., & Kopacz, A. (2016). Discerning Ambient/Focal Attention with CoefficientK. ACM Transactions on Applied Perception, 13(3), 1–20. <https://doi.org/10.1145/2896452>

Krstić, K., Šoškić, A., Ković, V., & Holmqvist, K. (2018). All good readers are the same, but every low-skilled reader is different: an eye-tracking study using PISA data. European Journal of Psychology of Education, 33(3), 521–541. <https://doi.org/10.1007/s10212-018-0382-0>.

Lacerda, G. (1993). La modélisation cognitive de l'étudiant et les systèmes tutoriels intelligents. *Revue des sciences de l'éducation*, 19(3), 501-509. <https://doi.org/10.7202/031644ar>

Les troubles d'apprentissage (épisode 1). (2023). OOAQ. Consulté 11 mars 2024, à l'adresse <https://www.ooaq.qc.ca/découvrir/mois-ouie-communication/troubles-apprentissage/>

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*.

Lewis, J. R. (1995). IBM Computer Usability Satisfaction Questionnaires: Psychometric Evaluation and Instructions for Use. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7(1), 57-78.

Loijens, L. & Olga, K. (2018). Facereader methodology note. A white paper by Noldus Information Technology.

Mathôt, S. (2018). Pupillometry: Psychology, Physiology, and Function. *Journal of Cognition*, 1(1), 16. <https://doi.org/10.5334/joc.18>

Mayer, R. E. (2024). The Past, Present, and Future of the Cognitive Theory of Multimedia Learning. *Educational Psychology Review*, 36(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09842->.

Mayer, R. E., Paas, F., & Sweller, J. (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press.

Meyer, S., Diard, J., & Valdois, S. (2018). Lecteurs, votre attention s'il vous plaît ! Le rôle de l'attention visuelle en lecture. A.N.A.E. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant. <https://hal.science/hal-02002545>

Michaud, L., & Alvarez, J. (2008). Serious games : Advergaming, edugaming, training. Paris: IDATE.

Nagels, M., Abel, M.-H., & Tali, F. (2018). Focus on the Agency of Learners to Innovate in Pedagogy. Dans A. Visvizi, M. D. Lytras, & L. Daniela (Éds.), *The Future of Innovation and Technology in Education : Policies and Practices for Teaching and Learning Excellence* (p. 27-40). Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/978-1-78756-555-520181004>

Neault, I., & Guay, M.-C. (2023). Ces enfants qui souffrent en silence de la dyslexie : Un diagnostic méconnu, souvent tardif et confondu avec le TDAH. *Revue de psychoéducation*, 36(1), 129-147. <https://doi.org/10.7202/1097199ar>

Ordre des psychologues du Québec (2014). *Lignes directrices pour l'évaluation de la dyslexie chez les enfants*. Montréal, Québec, Canada

Pinelli, M., & Portrat, S. (2023). Étude de la validité d'une mesure de l'attention auto-rapportée en milieu scolaire. *Recherches & éducations*. <https://doi.org/10.4000/rechercheseducations.15069>

Riedl, R., & Léger, P.-M. (2016). Fundamentals of NeuroIS : Information Systems and the Brain. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-45091-8>

Riopel, M., Nenciovici, L., Potvin, P., Chastenay, P., Charland, P., Sarrasin, J. B., & Masson, S. (2019). Impact of serious games on science learning achievement compared with more

conventional instruction: An overview and a meta-analysis. *Studies in Science Education*.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03057267.2019.1722420>

Ruiz, Jean-Philippe, Julie Lassault, Liliane Sprenger-Charolles, Ulla Richardson, Heikki Lyytinen, et Johannes C Ziegler. « GraphoGame: Un Outil Numérique Pour Enfants En Difficultés d'apprentissage de La Lecture », 2018.

Sampayo-Vargas, S., Cope, C. J., He, Z., & Byrne, G. J. (2013). The effectiveness of adaptive difficulty adjustments on students' motivation and learning in an educational computer game. *Computers & Education*, 69, 452-462.

<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.004>

Schlichting, M. (2016). *Understanding Kids, Play, and Interactive Design : How to Create Games Children Love*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429021183>

Seufert, T. (2018). The interplay between self-regulation in learning and cognitive load. *Educational Research Review*, 24, 116-129. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2018.03.004>

Shannon, A., Boyce, A., Gadwal, C., & Barnes, T. (2013). *Effective practices in game tutorial systems*. International Conference on Foundations of Digital Games. <https://www.semanticscholar.org/paper/Effective-practices-in-game-tutorial-systems-Shannon-Boyce/d8d5b44fb22ea09171ace0f3ff999cc6fdfabc40>

Snowling, M. J., & Hulme, C. (2013). Children's reading impairments : From theory to practice. *Japanese Psychological Research*, 55(2), 186202.

<https://doi.org/10.1111/j.1468-5884.2012.00541.x>

Statistique Canada. Tableau 37-10-0007-01. Nombre d'élèves dans les programmes réguliers pour les jeunes, écoles primaires et secondaires publiques, selon l'année d'études et le sexe, <https://doi.org/10.25318/3710000701-fra>.

Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295312. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5)

Sweller, J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123-138. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5>

Sweller, J. (2005). *Implications of cognitive load theory for multimedia learning*. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 19–30). New York: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.003>

Tasnim, R. A., Hossan, M. M., & Eishita, F. Z. (2024). Analyzing Differential Impact of Text-Based Instructions in Video Games. *2024 Intermountain Engineering, Technology and Computing (IETC)*, 227-232. <https://doi.org/10.1109/IETC61393.2024.10564249>

Tobii AB (2024). Tobii Pro Lab (Version v 1.241) [Computer software]. Danderyd, Sweden:

Tobii AB.

Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une présentation des travaux de John Sweller. *Revue de Psychologie de l'Éducation*, 3, 37.

Vanjari, N., Patil, P., & Sharma, S. (2019). Interactive Web Based Design for Learning Disabled Children. *2019 IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/I2CT45611.2019.9033620>

Valdois, S. (2010). Evaluation des difficultés d'apprentissage de la lecture: *Revue française de linguistique appliquée*, Vol. XV(1), 89-103. <https://doi.org/10.3917/rfla.151.0089>

Vygotsky, L. S., & Cole, M. (1978). *Mind in Society : Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.

Wang, Y., Rajan, P., Sankar, C. S., & Raju, P. K. (2017). Let Them Play : The Impact of Mechanics and Dynamics of a Serious Game on Student Perceptions of Learning Engagement. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 10(4), 514525. IEEE Transactions on Learning Technologies. <https://doi.org/10.1109/TLT.2016.2639019>

Wouters, P., Van Nimwegen, C., Van Oostendorp, H., & Van Der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 249-265. <https://doi.org/10.1037/a0031311>

Yu, F. y., Chang, L. j., Liu, Y. h., & Chan, T. w. (2002). Learning preferences towards computerised competitive modes. *Journal of Computer Assisted Learning*, 18(3), 341-350. <https://doi.org/10.1046/j.0266-4909.2002.00245.x>

Zhang, S., Lai, W., Song, J., Yu, X., Liao, X., & Hao, J. (2018). Scaffolding Instruction Design Research Based on Zone of Proximal Development of Learning Community. *2018 Seventh International Conference of Educational Innovation through Technology (EITT)*, 258-262. <https://doi.org/10.1109/EITT.2018.00061>

Zou, D., Huang, Y., & Xie, H. (2021). Digital game-based vocabulary learning : Where are we and where are we going? *Computer Assisted Language Learning*, 34(5-6), 751-777. <https://doi.org/10.1080/09588221.2019.1640745>

Chapitre 3

Repenser l'expérience des enfants en difficulté dans les jeux sérieux, une étude sur les tutoriels interactifs et les différents niveaux de difficulté du jeu

Les enfants adorent jouer, et ce n'est un secret pour personne. Ainsi, intégrer le jeu dans l'apprentissage apparaissait comme une évidence. Le célèbre psychologue, pédagogue et théoricien de l'éducation, Lev Vygotsky, a soutenu d'ailleurs que le jeu est essentiel au développement des compétences chez l'enfant (CMEC, 2012). De nombreux chercheurs ont également souligné le potentiel du jeu en tant qu'outil pédagogique, capable de stimuler l'engagement et de favoriser l'apprentissage (Göbel et al., 2018).

Toutefois, pour que cette promesse devienne réalité, encore faut-il que le jeu soit adapté aux besoins de l'apprenant. Chaque enfant apprend à son propre rythme, avec ses forces et ses défis. D'autant plus, pour ceux qui font face à des troubles d'apprentissage et des troubles de l'attention, comme la dyslexie ou le TDAH, les demandes cognitives peuvent être plus grandes, ce qui rend l'expérience de jeu plus difficile. Comment s'assurer que ces enfants ne soient pas laissés de côté ? Le jeu peut-il véritablement s'ajuster aux compétences de chacun et offrir un support adapté ? Il est primordial de s'assurer que le jeu reste un plaisir, tout en étant un véritable levier d'apprentissage.

Une étude menée en laboratoire avec 29 enfants du primaire s'est concentrée sur l'effet d'un tutoriel, un potentiel support cognitif, sur l'expérience de jeu sérieux d'un enfant en situation de difficulté d'apprentissage. Pour créer une courbe entre la compétence et le défi, l'enfant a été plongé dans le jeu pour un ensemble de trois parties de niveaux de complexité différente.

3.1 Les jeux sérieux, un atout pour les enfants en difficulté d'apprentissage

Les jeux sérieux d'apprentissage offrent un potentiel considérable pour soutenir les enfants en difficulté scolaire, notamment ceux souffrant de troubles d'apprentissage, tels que la dyslexie, la dysorthographie (Ruiz et al., 2018). Les jeux sérieux d'apprentissage sont aussi des méthodes privilégiées pour accompagner les enfants lors de leurs devoirs et études, sans être dans l'obligation de demander de l'aide parentale pour accomplir

celui-ci. D'autant plus, les jeux sérieux sont très efficaces dans la consolidation des acquis (Holmes, 2011).

Il faut reconnaître que les enfants vivant avec des difficultés d'apprentissage représentent une part importante des élèves au Québec (OOAQ, 2023). Au primaire, on compte qu'il y a environ 20% des élèves avec des plans d'intervention (Robillard, 2023), et en 2019, il y avait entre 5% à 15 % des enfants d'âge scolaire qui présentent un trouble d'apprentissage, et le trouble le plus fréquent est la dyslexie (Institut TA, 2019).

Les enfants en situation de défi d'apprentissage sont particulièrement vulnérables à la surcharge cognitive, un obstacle clé dans l'acquisition, la rétention des nouvelles connaissances et la compréhension des instructions (Alloway & Gathercole, 2006). Afin d'offrir une expérience de jeu améliorée, il est essentiel que les consignes soient bien comprises, et que l'enfant puisse accomplir la tâche avec succès. Prenons exemple, sur le parent ou l'enseignant qui guide l'enfant lors d'un apprentissage précis, cela lui apporte un support important dans l'accomplissement de la tâche (Wood & Ross, 2006). Dans le monde du jeu, on parle du tutoriel, comme étant le support. Le tutoriel communique clairement les mécanismes du jeu et les actions à faire, ce qui guide l'apprenant tout au long de son expérience de jeu (Andersen et al., 2012).

Étant donné que le tutoriel peut influencer l'expérience de jeu de manière positive chez de jeunes apprenants (Barzilai & Blau, 2014), cette étude s'est orientée sur l'effet de ce support, le tutoriel interactif, à travers différents niveaux du jeu tout en tenant compte de la population cible, soit les enfants confrontés à des défis d'apprentissage.

3.2 Les objectifs précis de l'étude

Cela a conduit vers la formulation de cet objectif principale: comprendre de quelle manière le tutoriel interactif influence l'expérience des enfants du 3e cycle du primaire, particulièrement ceux rencontrant des difficultés d'apprentissage. Plus précisément, nous nous intéressons à plusieurs aspects de cette expérience, comme la réussite des enfants, leur charge cognitive, leur état émotionnel et leur attention visuelle pendant le jeu.

Une autre question importante est de savoir si l'effet positif du tutoriel persiste lorsque le jeu devient plus complexe. Par exemple, lorsque la vitesse du jeu augmente, est-ce que le tutoriel continue à être un soutien efficace ? Et comment cette augmentation de la difficulté affecte-t-elle la réussite des enfants, leur bien-être émotionnel, leur attention et leur demande cognitive ?

3.3 29 enfants du 3^e cycle sont venus en laboratoire

29 enfants du 3^e cycle du primaire contraints à des défis d'apprentissage sont venus au laboratoire du Tech3lab tester un jeu sérieux d'apprentissage, nommé Magimot créé par AlloProf, un organisme qui œuvre dans le soutien pédagogique au Québec. De ces 29 enfants, un certain nombre avait des troubles d'apprentissage ou d'attention, tels que la dyslexie, dysorthographie et TDAH.

À son arrivée, l'enfant s'installe, outils physiologiques mis, prêt à jouer au jeu. Une partie des apprenants ont été exposés au support, le tutoriel interactif, et l'autre partie n'a eu aucune aide. Le tutoriel interactif du jeu se compose de huit boîtes de texte présentant une fonctionnalité du jeu et une consigne. Tous les enfants ont joué un total de trois parties de vitesses différentes (lente, moyenne et rapide), qui représentent les niveaux de difficulté du jeu. Le but du jeu est le même pour les 3 parties : écrire correctement et le plus rapidement possible les mots entendus par voix intégrée, et éviter que les ennemis viennent nuire au personnage principal. Si l'enfant effectue trop d'erreurs ou s'il ne l'écrit pas assez vite, au grand désarroi de celui-ci, le personnage à protéger peut rapidement perdre toutes ses vies.

Chaque perception et réaction physiologique, soit cognitive, émotionnelle et attentionnelle, sont prises tout au long de l'expérience de jeu de l'enfant. D'autant plus, les mesures de perceptions ont été prises après chaque partie du jeu, soit le plaisir perçu et le niveau d'éveil/agitation perçu. Cela mène à se mettre dans l'esprit de l'apprenant et de comprendre le regard qu'il porte sur son expérience perçue du jeu. Sans oublier, après chaque partie, le nombre de mots réussis a été noté.

Toutes les données récoltées, le passage à l'analyse fut des tests combinant des régressions linéaires, logistiques et non binaires en fonction de la nature des variables dépendantes. Réaliser ces tests a permis d'arriver à des constats assez intéressants, présentés dès le prochain paragraphe.

3.4 Le tutoriel est un accompagnement qui fait une différence dans l'expérience

Les résultats de l'étude ont montré que l'intégration d'un tutoriel, dans un contexte de jeu numérique pédagogique, améliore l'expérience des jeunes apprenants en situation de difficulté d'apprentissage, particulièrement pour les enfants avec des troubles d'apprentissages ou d'attention, tels que la dyslexie, TDAH et dysorthographie. Le tutoriel interactif agit à titre de support à travers les différentes tâches que l'enfant doit réaliser dans le jeu. Il réduit de manière significative la charge cognitive, un facteur clé pour soutenir la réussite d'un apprenant. En effet, les participants ayant bénéficié du tutoriel présentent des taux de réussite plus élevés que ceux n'ayant pas eu accès à ce support interactif. Toutefois, il semble que les mécanismes, liés à l'état affectif et attentionnel, ne sont pas impactés par l'influence du tutoriel, ainsi la réussite est plus grande indépendamment de ces mécanismes.

3.5 L'augmentation de la complexité du jeu : vitesse de plus en plus rapide

Concernant la difficulté du jeu, l'attention visuelle atteint son maximum potentiel à un niveau du jeu intermédiaire, soit le niveau auquel la vitesse moyenne du jeu est présentée. Cela suggère que ce niveau offre un équilibre optimal entre défi et compétences de l'apprenant. Un niveau facile est trop peu stimulant, tandis qu'un niveau difficile dépasse les capacités des enfants avec des défis d'apprentissage. La progression entre les niveaux 2 et 3 est perçue comme plus marquée, ce qui peut expliquer une baisse de la réussite dans la dernière partie du jeu.

D'autant plus, la difficulté du jeu vient augmenter le sentiment d'agitation perçu de l'enfant. En d'autres mots, plus le niveau de défi est grand, plus l'enfant se sent agité, et ce sentiment d'agitation peut nuire à sa réussite.

3.6 Mais, comment cela s'applique ?

Beaucoup d'éléments sont présentés dans le texte. Ce sont des résultats pertinents, mais comment ces résultats s'appliquent-ils vraiment?

1-Intégration du tutoriel dans la conception du jeu ou dans une activité pédagogique

À commencer, l'intégration de tutoriel interactif semble une idée favorable pour améliorer l'expérience d'apprentissage chez l'enfant.

Il est essentiel d'inclure des tutoriels interactifs dès le début du jeu du jeu ou d'une activité pédagogique en classe. Cela aide particulièrement les élèves en difficulté de suivre au même niveau que les autres élèves en classe. Le tutoriel doit commencer par présenter les bases et mécanismes de l'activité, puis continuer à guider l'apprenant jusqu'à ce que toutes les règles soient claires. Cet ajout apporte à l'enfant une meilleure compréhension des mécanismes du jeu, ce qui mène vers une expérience pédagogique plus intuitive et agréable.

2-Ajustement dynamique de la difficulté

Par la suite, l'ajustement de la difficulté entre les compétences de l'apprenant et le défi est primordial pour arriver à des apprentissages pertinents. Cela permet de maintenir un équilibre optimal entre le défi et la capacité de l'apprenant, dans le but de stimuler son attention, sans dépasser ses limites et, tout en évitant un manque de stimulation.

Il est intéressant de penser à des niveaux de difficulté qui s'adaptent au progrès de chaque joueur. Deux options s'offrent aux concepteurs d'introduire la difficulté dans un jeu : d'opter pour une difficulté fixe ou, mieux encore, intégrer des algorithmes adaptatifs qui modifient le défi en fonction de la performance de l'enfant (Faber et al., 2024). Un tel ajustement permet de maintenir l'attention sans frustrer ou ennuyer, en trouvant le bon équilibre entre défi et capacité de l'apprenant.

Ainsi, les approches présentées-ci peuvent aider les développeurs de jeux sérieux à offrir des expériences d'apprentissage plus améliorées et efficaces pour tous les enfants, y

compris les plus vulnérables. Sans oublier, les enseignants peuvent s'inspirer de ces recommandations lors de la création d'activités pédagogiques en classe.

3.7 Une piste vers de futures études

En résumé, l'ajout d'un tutoriel dans les jeux dans les jeux sérieux d'apprentissage, mais aussi dans les jeux numériques en ligne, aide grandement les jeunes enfants du 3^e année du primaire. Le tutoriel agit à titre de support, ce qui mène l'apprenant à accomplir des tâches, de plus en plus complexe, jusqu'à une certaine limite. Rappelons-nous qu'un des problèmes principaux qu'on retrouve chez les enfants dyslexique-dysorthographiques réside dans l'acquisition des mots écrits nécessaire à la lecture, l'écriture et la compréhension (Lefebvre & Stanké, 2016). L'enfant dyslexique est confronté à un défi de décodage par rapport au sens des mots, des phrases ou du textes lus. Ainsi, les textes ou les instructions sont souvent mieux compris lorsque présentés oralement (Neault & Guay, 2023).

À la suite de ces découvertes, de futures recherches seraient pertinentes. À commencer, il serait intéressant de porter une attention particulière aux différents formats possible de tutoriel, particulièrement pour trouver un format adapté aux enfants plus vulnérables en termes de capacité de mémoire et de charge cognitive. Un tutoriel sous forme d'animation est-il favorable pour l'engagement? Un tutoriel intégrant de l'assistance vocal, n'est-ce pas une solution préférable pour des enfants qui éprouvent des difficultés en lecture?

Références

Alloway, T. P., & Gathercole, S. E. (Éds.). (2006). *Working Memory and Neurodevelopmental Disorders*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203013403>

Andersen, E., O'Rourke, E., Liu, Y.-E., Snider, R., Lowdermilk, J., Truong, D., Cooper, S., & Popovic, Z. (2012). The impact of tutorials on games of varying complexity. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 59-68. <https://doi.org/10.1145/2207676.2207687>

Astuces pour intervenants : « Stratégies pour améliorer les capacités d'attention des élèves »
| Institut TA. (s. d.). Consulté 10 février 2025, à l'adresse <https://www.institutta.com/s-informer/strategies-ameliorer-capacites-attention-eleves-astuces>

Barnabé, F. (2020). Entre règles et narration : Étude narratologique des tutoriels de jeu vidéo et des « personnages-guides ». *Cahiers de Narratologie*, 38. <https://doi.org/10.4000/narratologie.11676>

Barzilai, S., & Blau, I. (2014). Scaffolding game-based learning : Impact on learning achievements, perceived learning, and game experiences. *Computers & Education*, 70, 65-79. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.08.003>

Conseil des ministres de l'Éducation du Canada. (2012). *Déclaration du CMEC sur l'apprentissage par le jeu*. <http://www.cmecc.ca/fr/>

Faber, T. J. E., Dankbaar, M. E. W., Van Den Broek, W. W., Bruinink, L. J., Hogeveen, M., & Van Merriënboer, J. J. G. (2024). Effects of adaptive scaffolding on performance, cognitive load and engagement in game-based learning : A randomized controlled trial. *BMC Medical Education*, 24(1), 943. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05698-3>

Göbel, S., Garcia-Agundez, A., Tregel, T., Ma, M., Baalsrud Hauge, J., Oliveira, M., Marsh, T., & Caserman, P. (Éds.). (2018). *Serious Games : 4th Joint International Conference, JCSG 2018, Darmstadt, Germany, November 7-8, 2018, Proceedings* (Vol. 11243). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02762-9>

Holmes, W. (2011). Using game-based learning to support struggling readers at home. *Learning, Media and Technology*, 36(1), 5-19. <https://doi.org/10.1080/17439884.2010.531023>

Institution des troubles d'apprentissage (2019). *Apprendre avec une dyslexie-dysorthographie*. <https://www.institutta.com/>

Lefebvre, P., & Stanké, B. (2016). *Les dyslexies-dysorthographies*. <https://www.puq.ca/catalogue/livres/les-dyslexies-dysorthographies-2943.html>

Les troubles d'apprentissage (épisode 1). (s. d.). OOAQ. Consulté 11 mars 2024, à l'adresse <https://www.ooaq.qc.ca/decouvrir/mois-ouie-communication/troubles-apprentissage/>

Neault, I., & Guay, M.-C. (2023). Ces enfants qui souffrent en silence de la dyslexie : Un diagnostic méconnu, souvent tardif et confondu avec le TDAH. *Revue de psychoéducation*, 36(1), 129-147. <https://doi.org/10.7202/1097199ar>

Robillard, J.-P. (2023, novembre 30). *Hausse marquée du nombre d'élèves du secondaire en difficulté au Québec*. Radio-Canada; Radio-Canada.ca. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2030745/hausse-eleves-secondaire-difficulte-plans-intervention>

Ruiz, J.-P., Lassault, J., Sprenger-Charolles, L., Richardson, U., Lyytinen, H., & Ziegler, J. C. (2018). *GraphoGame : Un outil numérique pour enfants en difficultés d'apprentissage de la lecture*.

Wood, D., & Ross, G. (2006). The Role of Tutoring in Problem Solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47, 89-100. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>

Chapitre 4 : Conclusion

4.1 Un retour sur l'étude

L'objectif principal de ce mémoire est d'accompagner Alloprof, un organisme œuvrant dans le soutien pédagogique chez les jeunes, à reconnaître si le tutoriel vient ajouter ou améliorer l'expérience d'apprentissage dans un jeu sérieux. Il faut savoir que de bâtir un tutoriel s'avère couteux avec les différents tests et ajustements à faire (Cantuni, 2020), ainsi, il est important, d'autant plus chez les organismes à but non lucratif, de voir s'il est intéressant d'y mettre un montant d'argent dans la création de tutoriel. Sensible aux enjeux d'éducation et consciente des défis auxquelles les enfants en difficulté d'apprentissage font face, il est essentiel pour l'organisme de se concentrer sur cette population.

Des questions pertinentes en sont découlées. Avant tout, dans quelle mesure la présence du tutoriel affecte-t-elle l'expérience d'apprentissage chez l'apprenant du 3^e cycle rencontrant des difficultés tout en prenant compte les dimensions importantes qui compose cette expérience d'apprentissage, soit la réussite, l'état cognitif, l'état affectif et l'attention visuelle. Tout en évaluant l'augmentation de la complexité du jeu à chaque partie et son effet sur les dimensions cognitives, affectives, visuelle et la réussite.

L'étude est arrivée à des conclusions intéressantes pour le monde de l'éducation et de la conception d'environnement d'apprentissage numérique. En effet, cette étude montre que l'ajout d'un tutoriel dans un jeu pédagogique améliore l'expérience des apprenants, en particulier ceux ayant des troubles comme la dyslexie, le TDAH et la dysorthographie. Le tutoriel réduit la charge cognitive, ce qui favorise une meilleure compréhension et une expérience de jeu plus fluide. Il a une nuance à faire, le tutoriel interactif ne change pas complètement l'expérience, mais joue un rôle clé dans la réussite des enfants en allégeant l'effort cognitif nécessaire, ce qui permet à l'apprenant de se concentrer pleinement sur son apprentissage.

Par ailleurs, l'attention visuelle des élèves atteint son maximum lorsque la vitesse du jeu est intermédiaire. Ce niveau semble offrir le meilleur équilibre entre la stimulation, la

compréhension du jeu et le support du tutoriel. Autrement dit, un jeu trop lent manque de défi et un jeu trop rapide devient trop exigeant. Néanmoins, le tutoriel n'a pas d'effet direct sur l'attention visuelle, peu importe le niveau de difficulté.

Ainsi, ces constats mettent en évidence l'importance d'un bon équilibre entre le défi, le support et les compétences dans la conception des jeux sérieux, un concept qui se résume par le concept d'échafaudage. S'inspirant de la théorie de la zone proximale de développement de Vygotsky (Vygotsky, 1978), le concept d'échafaudage fournit une assistance en y donnant des instructions claires à l'apprenant en difficulté (Anish et al., 2021). En quelques sortes, l'objectif est d'offrir un soutien adapté au moment opportun, qui se retire progressivement à mesure que l'apprenant gagne en autonomie (Zhang et al., 2018). De plus, un bon design de jeu vise à créer une courbe de difficulté bien équilibrée (Aponte et al., 2009). Cela signifie que le jeu doit être suffisamment stimulant pour engager le joueur sans le submerger (Cantuni, 2020). L'intégration de tutoriels interactifs et de mécanismes d'ajustement de la difficulté peut aider à adapter l'expérience d'apprentissage aux capacités individuelles des enfants ayant des défis d'apprentissage (Casillas et al., 2021). Ainsi, l'intégration d'un tutoriel interactif et d'un ajustement de la difficulté sont des éléments à considérer pour concevoir des jeux adaptés aux enfants ayant des défis d'apprentissage.

En résumé, ces intéressants constats orientent l'étude vers différentes implications, soit théoriques, pratiques et méthodologique.

4.2 Les implications théoriques

Cette étude apporte des contributions théoriques significatives en approfondissant les concepts de charge cognitive, tout en s'accordant avec la théorie de la zone proximale de développement. Sur le plan de la charge cognitive, les résultats montrent que l'intégration d'un tutoriel interactif constitue un soutien stratégique efficace pour réduire la complexité des tâches et optimiser l'utilisation de la mémoire de travail (Cantuni, 2020 ; Chandler & Sweller, 1991). Cette diminution de la charge cognitive est particulièrement marquée chez les apprenants du 3^e cycle de l'enseignement primaire, ainsi que chez ceux composant avec des troubles d'apprentissage tels que la dyslexie, la dysorthographie et le TDAH. Ces résultats s'inscrivent dans le cadre des théories de la charge cognitive (Snowling & Hulme,

2013), en démontrant que la conception de supports d'apprentissage, utilisant des aspects visuels et textuels, peut améliorer l'expérience d'apprentissage des jeunes élèves confrontés à des grandes demandes cognitifs.

En suivant la théorie de la zone proximale de développement (Vygotsky, 1978), cette étude confirme le rôle du tutoriel interactif en tant que médiateur cognitif, permettant aux apprenants d'accomplir des tâches qui dépassent leur capacité actuelle lorsqu'ils sont accompagnés d'un soutien (Anish et al., 2021 ; Zhang et al., 2018). Le tutoriel offre un guidage qui favorise la progression des apprenants vers des niveaux de compétence plus élevés. Cette approche est particulièrement pertinente pour les élèves ayant un besoin accru d'accompagnement afin de surmonter leurs limitations cognitives. Dans cette étude-ci, le tutoriel permet à l'enfant de se concentrer simplement sur l'apprentissage des mots (sa réussite), vu qu'il est supporté par des instructions et exemples clairs des mécanismes du jeu (les boîtes de tutoriel). La contribution majeure du tutoriel réside dans sa possibilité de réduire la charge cognitive tout en soutenant le développement progressif des compétences des apprenants (Cantuni, 2020).

D'autant plus, l'attention visuelle des apprenants est à son plus haut point à la partie 2 à laquelle la vitesse de jeu est moyenne. Ainsi, cela exprime la partie à laquelle l'apprenant a la meilleure capacité de traitement de l'information, tout en étant engagé. Selon la zone de développement proximal de Vygotsky et la théorie de la charge cognitive, un niveau modéré de difficulté maintenant l'attention à son maximum (Hung et al., 2014 ; Sweller, 1994). La partie 1, soit à laquelle la vitesse est lente, est probablement trop facile et moins stimulante, ce qui réduit l'engagement de l'apprenant et son attention (White, 2014). La diminution du coefficient k dans la partie 3 peut être causé par une surcharge cognitive, le rythme accéléré limite le temps de traitement visuelle des informations, et entraînant une attention plus dispersée, donc moins efficace (Wang et al., 2017).

Cela suit l'image de courbe que la zone proximale de développement propose (Vygotsky & Cole, 1978) : au départ, l'enfant réussit à accomplir des tâches sans avoir même de l'aide, ensuite, avec un support, il peut réussir à accomplir des tâches un peu plus au-dessus de ses compétences actuelles, et pour terminer sur une tâche à laquelle il n'est pas capable de faire même s'il y a de l'aide.

4.3 Les implications pratiques

Du point de vue de la pratique, cette étude apporte des implications précieuses pour les concepteurs de jeux sérieux et les personnes œuvrant dans le secteur de l'éducation. Cela permet de voir l'outil du tutoriel comme un outil technologique qui permet d'améliorer l'expérience d'apprentissage, notamment pour les enfants vivant avec de grandes difficultés scolaires. Elle met en lumière l'importance d'un équilibre dans la complexité du jeu, en analysant l'impact de la vitesse sur l'attention visuelle et le rôle du tutoriel sur la charge cognitive. Le tutoriel joue un rôle clé en tant que soutien cognitif, aidant les apprenants à accomplir des tâches de niveau intermédiaire. Cette réduction de la charge cognitive favorise une meilleure assimilation des connaissances et améliore la réussite des apprenants (Schlichting, 2016). Ainsi, il est importante de concevoir des jeux qui intègrent des mécanismes d'accompagnement adaptés aux besoins des enfants.

Une chose à retenir : les tutoriels dictent les instructions à l'apprenant, ce qui lui permet de se concentrer seulement sur l'apprentissage réel, et non, sur le décodage des objectifs ou d'une instruction donnée.

4.4 Les implications méthodologiques

Concernant les implications méthodologiques, cette étude innove en adaptant les échelles de mesure pour favoriser une meilleure compréhension chez l'enfant (utilisation d'exemple avant de commencer l'étude, utilisation des emojis reflétant une émotion, code de couleur). Autrement dit, l'intégration d'un exercice de pratique permet d'assurer que la validité des résultats en réduisant les biais liés à une mauvaise interprétation des échelles. L'utilisation d'échelles auto-rapportées spécifiquement adaptées aux enfants garantit une collecte de données plus fiable et pertinente. Ces échelles simplifiées tiennent compte du niveau de compréhension et de la capacité des enfants à exprimer leur ressenti, ce qui contribue à une meilleure évaluation de leur perception.

D'autant plus, l'étude propose une approche combinant des mesures physiologiques et auto-rapportées. Joindre ensemble ces deux types de mesures, cela permet d'avoir des données en temps réel pendant la partie du jeu et de compléter l'analyse avec les

perceptions de l'enfant. Cela enrichit les méthodes classiques des études qui observait un type de donnée sur des questions semblables sur le tutoriel. Aussi, cela permet d'approfondir la recherche sur les dimensions importantes qui composent l'expérience d'apprentissage d'un apprenant.

4.5 Les limites et les nouvelles avenues de recherche

Bien que l'étude contribue à développer des expériences numériques adaptées au besoin des enfants en difficulté, il reste que l'étude comporte certaines limites. À commencer par le fait que tous les enfants répondent à certains critères, afin d'identifier s'ils étaient dans une situation de difficulté d'apprentissage (note, évaluation par un spécialiste, professeur). Ainsi, tous les enfants est dans une situation de défi d'apprentissage, toutefois, l'échantillon de participant ayant un diagnostic (TDAH, dyslexie, dysorthographie) est plutôt petit. On compte parmi les 16 participants exposés au tutoriel, 6 participants ont un diagnostic, et pour les 13 participants exposés à la condition B, 7 ont un diagnostic. En conséquence, il n'a pas été possible dans l'analyse de diviser par diagnostic la modération (la modération entre le diagnostic, la charge cognitive et le tutoriel). Tous les participants, peu importe le diagnostic, ont été regroupés ensemble pour former le groupe *diagnostic*. De plus, le tutoriel présenté a comporté quelques lacunes sur le plan de sa présentation. Certaines boîtes d'instructions n'ont pas été montrées à tous les participants, vu un problème technologique et le partenaire a ajouté une action cliquable sur une boîte (il fallait cliquer sur OK après la lecture de l'instruction des potions magiques) qui au départ des tests, n'était pas présente. Concernant, la deuxième boîte du tutoriel, un problème technique a empêché l'affichage pour 9 participants, pour les 7 autres, la boîte disparaissait trop rapidement, ainsi ils ne l'ont pas regardé. Cela n'est pas venu nuire à l'ensemble des résultats, mais cela a été tout de même nommé et considéré dans l'analyse.

Une autre limite de cette étude est l'imposition du tutoriel. Autrement dit, les enfants exposés au tutoriel ne pouvaient pas le passer. Il a été imposé pour mesurer précisément son effet. Or, la littérature souligne qu'en contexte réel, les enfants ont tendance à passer le tutoriel, donc ce contexte n'est peut-être pas représentatif du contexte réel (Cheung et al, 2014 ; White, 2014). Cela pose une question pertinente pour les futures, sachant les

bénéfices qu'il apporte, de quelle manière un tutoriel peut-il capter l'attention de l'enfant, assez pour l'encourager à l'utiliser plutôt que l'ignorer?

En considérant les limitations de cette étude et ses résultats, cela conduit les chercheurs vers de nouvelles avenues d'explorations. Il serait avantageux pour les recherches futures d'augmenter la taille de l'échantillon, particulièrement celle des différents diagnostics. Cela permettrait d'approfondir le lien de la modération entre la charge cognitive et le diagnostic, et de grouper par diagnostic et évaluer si cela a un effet sur les variables physiologiques.

Par ailleurs, l'étude met en lumière l'effet du tutoriel interactif sur la diminution de la charge cognitive de l'apprenant tout en améliorant ses résultats, toutefois une question pertinente demeure : un tutoriel intégrant une option audio ou utilisant différents types d'animations visuelles aurait-il un effet plus intéressant sur l'expérience d'apprentissage? De plus, comment s'assurer que l'enfant s'engage à voir le tutoriel, en d'autres termes, ne pas passer celui-ci et le regarder jusqu'à la fin?

Un des principaux enjeux rencontrés par les enfants dyslexique-dysorthographiques concerne l'acquisition et le traitement des mots écrits, qui sont essentiels à la lecture, à l'écriture et à la compréhension du texte (Valdois, 2010 ; Ruiz et al., 2018). Ces enfants doivent surmonter des difficultés de décodage, ce qui peut altérer leur compréhension globale des consignes et du contenu pédagogique (Lassault & Ziegler, 2018).

Les travaux de Neault et Guay suggèrent que la présentation orale des textes et des instructions facilite la compréhension des enfants dyslexique-dysorthographiques (Neault et Guay, 2023). Ainsi, explorer l'intégration d'un support auditif dans les tutoriels interactifs pourrait représenter une avenue prometteuse pour adapter davantage les outils de support.

Bibliographie

Alloway, T. P., & Gathercole, S. E. (Éds.). (2006). *Working Memory and Neurodevelopmental Disorders*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203013403>

Andersen, E., O'Rourke, E., Liu, Y.-E., Snider, R., Lowdermilk, J., Truong, D., Cooper, S., & Popovic, Z. (2012). The impact of tutorials on games of varying complexity. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 59-68. <https://doi.org/10.1145/2207676.2207687>

Anish, P. R., Joshi, V., Sonar, P., & Ghaisas, S. (2021). Writaupair : Assistive Platform for Children with Writing Difficulties. *2021 IEEE 22nd International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science (IRI)*, 380-384. <https://doi.org/10.1109/IRI51335.2021.00059>

Aponte, M.-V., Levieux, G., & Natkin, S. (2009). Scaling the Level of Difficulty in Single Player Video Games. In S. Natkin & J. Dupire (Éds.), *Entertainment Computing – ICEC 2009* (Vol. 5709, p. 2435). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04052-8_3

Arezki, D. (2021). Interdépendance Des Processus Cognitif Et Affectif Dans L'apprentissage D'une Langue étrangère –le Français -. *Revue algérienne des lettres*, 5(1), Article 1.

Astuces pour intervenants : « Stratégies pour améliorer les capacités d'attention des élèves »

| Institut TA. (s. d.). Consulté 10 février 2025, à l'adresse <https://www.institutta.com/s-informer/strategies-ameliorer-capacites-attention-eleves-astuces>

Baah, C., Govender, I., & Subramaniam, P. R. (2024). Enhancing Learning Engagement : A Study on Gamification's Influence on Motivation and Cognitive Load. *Education Sciences*, 14(10), 1115. <https://doi.org/10.3390/educsci14101115>

Baron, Reuben M., et David A. Kenny. « The moderator–mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. » *Journal of personality and social psychology* 51, no 6 (1986): 1173.

Barzilai, S., & Blau, I. (2014). Scaffolding game-based learning : Impact on learning achievements, perceived learning, and game experiences. *Computers & Education*, 70, 65-79. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.08.003>

Betella, A., & Verschure, P. F. (2016). The affective slider: A digital self-assessment scale for the measurement of human emotions. *PloS one*, 11(2), e0148037.

Boisvert, Marie-Eve & Daigle, Daniel. (2023, octobre 5). *Troubles d'apprentissage : Pour une réussite élargie.* <https://nouvelles.umontreal.ca/article/2023/10/05/troubles-d-apprentissage-pour-une-reussite-elargie/>

Cao, S., & Liu, F. (2022). Learning to play : Understanding in-game tutorials with a pilot study on implicit tutorials. *Heliyon*, 8(11), e11482.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11482>

Cantuni, R. (2020). Designing Digital Products for Kids : Deliver User Experiences That Delight Kids, Parents, and Teachers. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6287-0>

Casillas, J. C. L., Valdez, K. M., Lopez, S. R. F., Canto, D., Carranza, D. B., & Negron, A. P. P. (2021). Saving the Word : A serious game to improve kids reading skills. *2021 Mexican International Conference on Computer Science (ENC)*, 1-4.

<https://doi.org/10.1109/ENC53357.2021.9534816>

Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Faculty of Education - Papers*, 8. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804_2

Cohard, P. (2015). L'apprentissage dans les serious games : Proposition d'une typologie: @GRH, n° 16(3), 11-40. <https://doi.org/10.3917/grh.153.0011>

Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T., & Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education*, 59(2), 661686. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.004>

Conseil des ministres de l'Éducation du Canada. (2012). *Déclaration du CMEC sur l'apprentissage par le jeu.* <http://www.cmecc.ca/fr/>

Csikszentmihalyi, M. (2014). Applications of Flow in Human Development and Education : The Collected Works of Mihaly Csikszentmihalyi. Springer Netherlands.

<https://doi.org/10.1007/978-94-017-9094-9>

Cuisinier, F., Sanguin-Bruckert, C., Bruckert, J.-P., & Clavel, C. (2010). Les émotions affectent-elles les performances orthographiques en dictée ? *année psychologique*.

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1987). The support of autonomy and the control of behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, 53(6), 1024–1037.
<https://doi.org/10.1037/0022-3514.53.6.1024>

Delignières, D. (1993). La perception de l'effort et de la difficulté. In J.P. Famose (Ed.), Cognition et performance (pp. 183-218).

Erhel, S., & Jamet, E. (2013). Digital game-based learning : Impact of instructions and feedback on motivation and learning effectiveness. *Computers & Education*, 67, 156-167. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.019>

Faber, T. J. E., Dankbaar, M. E. W., Van Den Broek, W. W., Bruinink, L. J., Hogeveen, M., & Van Merriënboer, J. J. G. (2024). Effects of adaptive scaffolding on performance,

cognitive load and engagement in game-based learning : A randomized controlled trial.

BMC Medical Education, 24(1), 943. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05698-3>

Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C., & Paris, A. H. (2004). School Engagement : Potential of the Concept, State of the Evidence. *Review of Educational Research*, 74(1), 59-109.
<https://doi.org/10.3102/00346543074001059>

Gagné, Y. (2017). Des troubles invisibles, mais des difficultés bien réelles. Des adaptations technologiques pour aider les étudiants ayant un trouble d'apprentissage. 30(no 2), 16.

Garard, D. L., Lippert, L., Hunt, S. K., & Paynton, S. T. (1998). Alternatives to traditional instruction : Using games and simulations to increase student learning and motivation. *Communication Research Reports*, 15(1), 36-44.

<https://doi.org/10.1080/08824099809362095>

G. Blanchard, Emmanuel, et Claude Frasson. « Un système tutoriel intelligent inspiré des jeux vidéo pour améliorer la motivation de l'apprenant ». Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation 14, n° 1 (2007): 309-37. <https://doi.org/10.3406/stice.2007.962>

Giannakos, M. N. (2013). Enjoy and learn with educational games : Examining factors affecting learning performance. *Computers & Education*, 68, 429-439.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.06.005>

Giardina, M. (1992). L'interactivité dans un environnement d'apprentissage multimédia.

Revue des sciences de l'éducation, 18(1), 43-66. <https://doi.org/10.7202/900719ar>

Göbel, S., Garcia-Agundez, A., Tregel, T., Ma, M., Baalsrud Hauge, J., Oliveira, M., Marsh,

T., & Caserman, P. (Éds.). (2018). Serious Games : 4th Joint International Conference,

JCSG 2018, Darmstadt, Germany, November 7-8, 2018, Proceedings (Vol. 11243).

Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02762-9>

Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M. A., & Suman, R. (2022). Understanding the role of digital

technologies in education : A review. *Sustainable Operations and Computers*, 3,

275-285. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.004>

Holmes, W. (2011). Using game-based learning to support struggling readers at home.

Learning, Media and Technology, 36(1), 5-19.

<https://doi.org/10.1080/17439884.2010.531023>

Hung, C.-Y., Kuo, F.-O., Chih-Yuan Sun, J., & Yu, P.-T. (2014). An Interactive Game

Approach for Improving Students' Learning Performance in Multi-Touch Game-Based

Learning. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 7(1), 31-37. IEEE Transactions

on Learning Technologies. <https://doi.org/10.1109/TLT.2013.2294806>

Institution des troubles d'apprentissage (2019). *Apprendre avec une dyslexie-dysorthographie*.

<https://www.institutta.com/>

Krath, J., Schürmann, L., & Von Korflesch, H. F. O. (2021). Revealing the theoretical basis of gamification : A systematic review and analysis of theory in research on gamification, serious games and game-based learning. *Computers in Human Behavior*, 125, 106963.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106963>

Krejtz, K., Duchowski, A. T., Krejtz, I., Szarkowska, A., & Kopacz, A. (2016). Discerning Ambient/Focal Attention with CoefficientK. *ACM Transactions on Applied Perception*, 13(3), 1–20. <https://doi.org/10.1145/2896452>

Krstić, K., Šoškić, A., Ković, V., & Holmqvist, K. (2018). All good readers are the same, but every low-skilled reader is different: an eye-tracking study using PISA data. *European Journal of Psychology of Education*, 33(3), 521–541. <https://doi.org/10.1007/s10212-018-0382-0>.

Lacerda, G. (1993). La modélisation cognitive de l'étudiant et les systèmes tutoriels intelligents. *Revue des sciences de l'éducation*, 19(3), 501-509.
<https://doi.org/10.7202/031644ar>

Lassault, J., & Ziegler, J. C. (2018). Les outils numériques d'aide à l'apprentissage de la lecture: *Langue française*, N° 199(3), 111-121. <https://doi.org/10.3917/lf.199.0111>

Les troubles d'apprentissage (épisode 1). (2023). OOAQ. Consulté 11 mars 2024, à l'adresse
<https://www.ooaq.qc.ca/decouvrir/mois-ouie-communication/troubles-apprentissage/>

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.*

Lewis, J. R. (1995). IBM Computer Usability Satisfaction Questionnaires: Psychometric Evaluation and Instructions for Use. International Journal of Human-Computer Interaction, 7(1), 57-78.

Lefebvre, P., & Stanké, B. (2016). *Les dyslexies-dysorthographies.*
<https://www.puq.ca/catalogue/livres/les-dyslexies-dysorthographies-2943.html>

Loijens, L. & Olga, K. (2018). Facereader methodology note. A white paper by Noldus Information Technology.

Mathôt, S. (2018). Pupillometry: Psychology, Physiology, and Function. *Journal of Cognition*, 1(1), 16. <https://doi.org/10.5334/joc.18>

Mayer, R. E. (2024). The Past, Present, and Future of the Cognitive Theory of Multimedia Learning. *Educational Psychology Review*, 36(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09842->

Mayer, R. E., Paas, F., & Sweller, J. (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press.

Meyer, S., Diard, J., & Valdois, S. (2018). Lecteurs, votre attention s'il vous plaît ! Le rôle de l'attention visuelle en lecture. A.N.A.E. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant. <https://hal.science/hal-02002545>

Michaud, L., & Alvarez, J. (2008). Serious games : Advergaming, edugaming, training. Paris: IDATE.

Nagels, M., Abel, M.-H., & Tali, F. (2018). Focus on the Agency of Learners to Innovate in Pedagogy. Dans A. Visvizi, M. D. Lytras, & L. Daniela (Éds.), *The Future of Innovation and Technology in Education : Policies and Practices for Teaching and Learning Excellence* (p. 27-40). Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/978-1-78756-555-520181004>

Neault, I., & Guay, M.-C. (2023). Ces enfants qui souffrent en silence de la dyslexie : Un diagnostic méconnu, souvent tardif et confondu avec le TDAH. *Revue de psychoéducation*, 36(1), 129-147. <https://doi.org/10.7202/1097199ar>

Ordre des psychologues du Québec (2014). *Lignes directrices pour l'évaluation de la dyslexie chez les enfants*. Montréal, Québec, Canada

Pinelli, M., & Portrat, S. (2023). Étude de la validité d'une mesure de l'attention auto-rapportée en milieu scolaire. *Recherches & éducations*.
<https://doi.org/10.4000/rechercheseducations.15069>

Riedl, R., & Léger, P.-M. (2016). Fundamentals of NeuroIS : Information Systems and the Brain. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-45091-8>

Riopel, M., Nenciovici, L., Potvin, P., Chastenay, P., Charland, P., Sarrasin, J. B., & Masson, S. (2019). Impact of serious games on science learning achievement compared with more conventional instruction: An overview and a meta-analysis. *Studies in Science Education*.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03057267.2019.1722420>

Robillard, J.-P. (2023, novembre 30). *Hausse marquée du nombre d'élèves du secondaire en difficulté au Québec*. Radio-Canada; Radio-Canada.ca. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2030745/hausse-eleves-secondaire-difficulte-plans-intervention>

Ruiz, J.-P., Lassault, J., Sprenger-Charolles, L., Richardson, U., Lyytinen, H., & Ziegler, J. C. (2018). *GraphoGame : Un outil numérique pour enfants en difficultés d'apprentissage de la lecture*.

Sampayo-Vargas, S., Cope, C. J., He, Z., & Byrne, G. J. (2013). The effectiveness of adaptive difficulty adjustments on students' motivation and learning in an educational computer

game. Computers & Education, 69, 452-462.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.004>

Schlichting, M. (2016). *Understanding Kids, Play, and Interactive Design : How to Create Games Children Love*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429021183>

Seufert, T. (2018). The interplay between self-regulation in learning and cognitive load. *Educational Research Review*, 24, 116-129. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2018.03.004>

Shabani, K. (2012). Computerized dynamic assessment : An interventionist procedure to assess L2 reading. *6Th National And 3Rd International Conference Of E -Learning And E -Teaching*, 15-24. <https://doi.org/10.1109/ICELET.2012.6333360>

Shannon, A., Boyce, A., Gadwal, C., & Barnes, T. (2013). *Effective practices in game tutorial systems*. International Conference on Foundations of Digital Games. <https://www.semanticscholar.org/paper/Effective-practices-in-game-tutorial-systems-Shannon-Boyce/d8d5b44fb22ea09171ace0f3ff999cc6fdfabc40>

Snowling, M. J., & Hulme, C. (2013). Children's reading impairments : From theory to practice. *Japanese Psychological Research*, 55(2), 186202. <https://doi.org/10.1111/j.1468-5884.2012.00541.x>

Statistique Canada. Tableau 37-10-0007-01. Nombre d'élèves dans les programmes réguliers pour les jeunes, écoles primaires et secondaires publiques, selon l'année d'études et le sexe, <https://doi.org/10.25318/3710000701-fra>.

Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295-312. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5)

Sweller, J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123-138. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5>

Sweller, J. (2005). *Implications of cognitive load theory for multimedia learning*. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 19–30). New York: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.003>

Tobii AB (2024). Tobii Pro Lab (Version v 1.241) [Computer software]. Danderyd, Sweden: Tobii AB.

Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une présentation des travaux de John Sweller. *Revue de Psychologie de l'Éducation*, 3, 37.

Vanjari, N., Patil, P., & Sharma, S. (2019). Interactive Web Based Design for Learning Disabled Children. *2019 IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/I2CT45611.2019.9033620>

Valdois, S. (2010). Evaluation des difficultés d'apprentissage de la lecture: *Revue française de linguistique appliquée*, Vol. XV(1), 89-103. <https://doi.org/10.3917/rfla.151.0089>

Vygotsky, L. S., & Cole, M. (1978). *Mind in Society : Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.

Wood, D., & Ross, G. (2006). The Role of Tutoring in Problem Solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17, 89-100. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>

Wang, Y., Rajan, P., Sankar, C. S., & Raju, P. K. (2017). Let Them Play : The Impact of Mechanics and Dynamics of a Serious Game on Student Perceptions of Learning Engagement. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 10(4), 514525. IEEE Transactions on Learning Technologies. <https://doi.org/10.1109/TLT.2016.2639019>

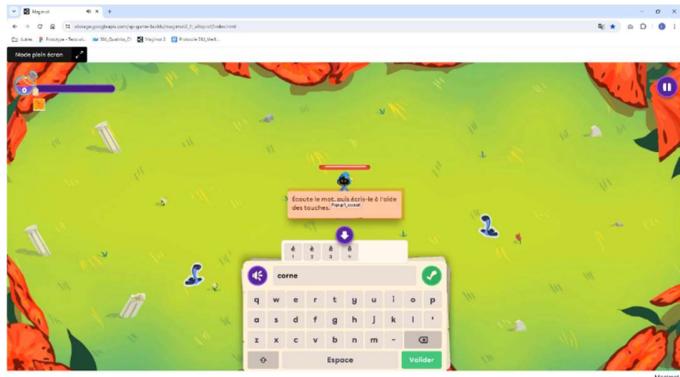
Wouters, P., Van Nimwegen, C., Van Oostendorp, H., & Van Der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 249265. <https://doi.org/10.1037/a0031311>

Yu, F. y., Chang, L. j., Liu, Y. h., & Chan, T. w. (2002). Learning preferences towards computerised competitive modes. *Journal of Computer Assisted Learning*, 18(3), 341-350. <https://doi.org/10.1046/j.0266-4909.2002.00245.x>

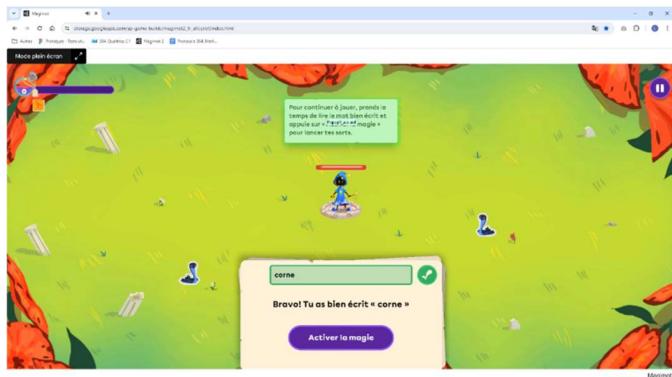
Zou, D., Huang, Y., & Xie, H. (2021). Digital game-based vocabulary learning : Where are we and where are we going? *Computer Assisted Language Learning*, 34(5-6), 751-777. <https://doi.org/10.1080/09588221.2019.1640745>

Annexes

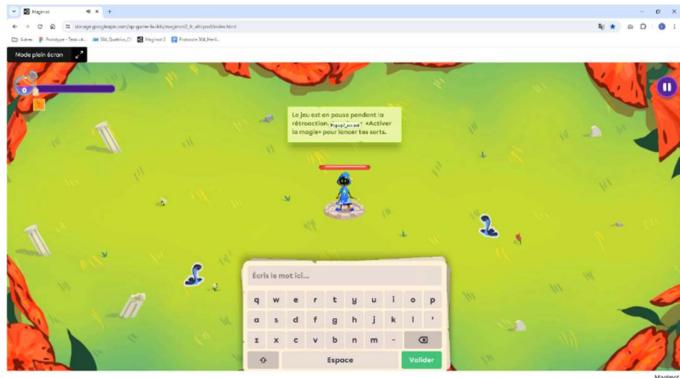
Annexe I. Les boîtes d’instructions qui composent le tutoriel.



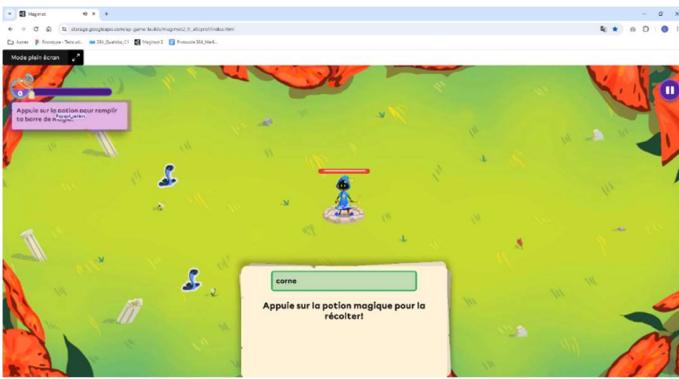
Écoute le mot. puis écris-le à l'aide des touches.
PopUp1_accueil



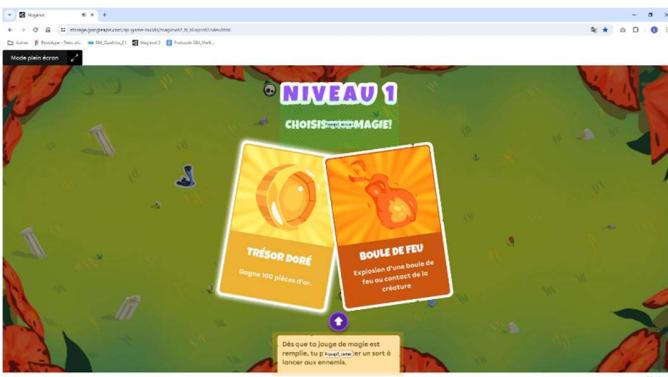
Pour continuer à jouer, prends le temps de lire le mot bien écrit et appuie sur « PopUp1_magie » pour lancer tes sorts.



Le jeu est en pause pendant la rétroaction. PopUp2_magie *Activer la magie pour lancer tes sorts.



Appuie sur la potion pour remplir
ta barre de magie.
Popup4_potion

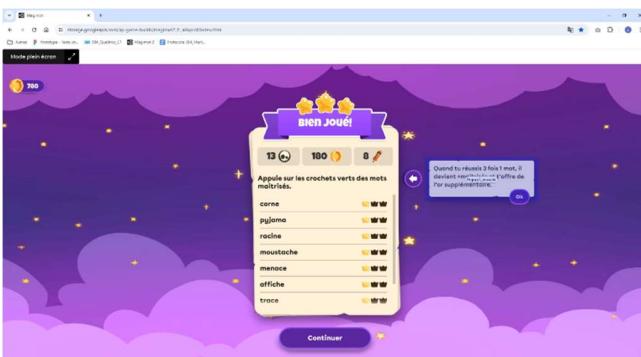


Dès que ta jauge de magie est
remplie, tu p
er un sort à
lancer aux ennemis.
Popup5_cartes



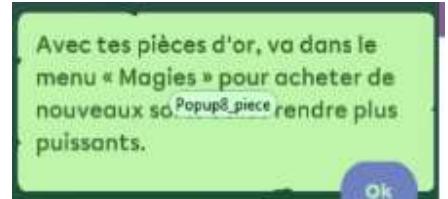
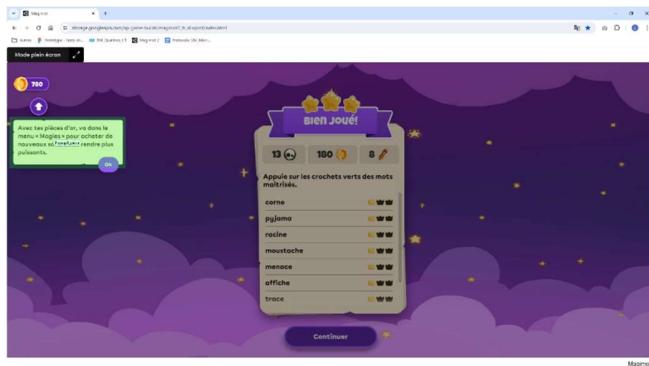
Consulte le nombre de monstres
ensorcelés, les pièces d'or
récoltées e
 Popup6_score
 de mots
réussis.

Ok



Quand tu réussis 3 fois 1 mot, il
devient «m
t'offre de
 Popup7_reusite
 l'or supplémentaire.

Ok



Annexe II. Les listes de mots présentées aléatoirement lors des parties du jeu.

Liste 1 - Tech3Lab (Liste importée)	
affiche	██████
colle	██████
copine	██████
banc	██████
trace	██████
menace	██████
racine	██████
corne	██████
moustache	██████
pyjama	██████

Liste 2 - Tech3Lab (Liste importée)	
silhouette	██████
urgence	██████
trouver	██████
art	██████
drapeau	██████
rapide	██████
linge	██████
bouton	██████
chemise	██████
action	██████

Liste 3 - Tech3Lab (Liste importée)	
liquide	██████
fromage	██████
refuge	██████
trajet	██████
orthographe	██████
adorer	██████
recette	██████
rare	██████
zone	██████
lecteur	██████

Note. Ce sont les mots auxquelles les enfants devaient écrire lors de leur partie du jeu. Ils sont tous

Annexe III. L'opérationnalisation des construits.

Échelles de mesures utilisées dans l'étude

Construit	Type de mesure	Description	Source
Attention visuelle	Physiologique	AOI, dispersion, ambient-focal coefficient K.	(Krejtz et al., 2016)
État affectif	Physiologique	Valence par FaceReader (Noldus), Media recorder, Biopac MP-160, Observer XT. Activation émotionnelle.	(Loijens & Krips, 2018)
État cognitif	Physiologique	Mesuré par la dilatation de la pupille, plus précisément en utilisant le pourcentage de changement du diamètre de la pupille (PCPD). Oculométrie : Eye-tracking, Tobii Pro Lab v.181.	(Courtemanche et al. 2022 ; Riedl & Léger 2016)
Plaisir perçu	Auto-reportée	Évaluation à l'aide d'un curseur visuel (sur 100 points) représentant un continuum de « très mécontent(e) » à « très content(e) » par rapport à la partie de jeu. Une image guide l'enfant.	(Betella & Verschure, 2016; Cantuni 2020)
Arousal (activation physiologique auto-reportée)	Auto-reportée	Curseur visuel (sur 100 points) permettant d'indiquer le niveau d'excitation ressenti pendant le jeu, allant de « très calme » à « très excité(e) ». Une image guide l'enfant.	(Betella & Verschure, 2016)
Réussite	Nombre	Nombre de mots réussis affiché à la fin de chaque partie (score).	N/A
Motivation intrinsèque	Auto-reportée	Questionnaire avec échelle de Likert, 4 items (1 = tout à fait en désaccord, 7 = tout à fait en accord)	(Guay, Vallerand & Blanchard, 2001)

Dans quelle mesure es-tu en accord ou en désaccord avec les affirmations suivantes :

1. Je pense qu'apprendre le français est intéressant.
 2. Je pense que l'apprentissage du français est agréable.
 3. Je pense qu'apprendre le français est amusant.
 4. Je me sens bien lorsque j'apprends le français.
-