

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

EFFETS DE L'ENSEIGNEMENT DU CONCEPT DE NEUROPLASTICITÉ SUR L'ÉTAT D'ESPRIT ET SUR LA
CORRECTION D'ERREURS À LA SUITE DE RÉTROACTIONS

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN ÉDUCATION

PAR

EVE ST-GERMAIN DUVAL

JUILLET 2023

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.04-2020). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

La rédaction d'un mémoire de maîtrise est le fruit d'un long travail intellectuel qui n'aurait été possible sans l'aide et le soutien de plusieurs personnes que j'ai eu la chance de côtoyer pendant mes études. Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de mon projet de recherche. Ce fut pour moi une expérience extrêmement enrichissante et valorisante et cet accomplissement m'emplit d'une grande fierté.

Tout d'abord, je tiens à remercier chaleureusement M. Steve Masson, Mme Lorie-Marlène Brault-Foisy et Mme Geneviève Allaire-Duquette, trois personnes merveilleuses qui m'ont initiée au domaine de la neuroéducation et grâce à qui j'ai découvert une réelle passion pour ce domaine. Vous avez été des professeurs exemplaires, d'une grande humanité, inspirants et stimulants. Votre façon d'enseigner et de transmettre votre savoir a été pour moi une source de motivation pour mon inscription à la maîtrise.

Je tiens à remercier particulièrement mon directeur de recherche, M. Steve Masson, qui a toujours cru en mon potentiel de chercheuse et m'a poussée à me dépasser. J'ai beaucoup apprécié sa disponibilité, son écoute attentive et sa grande rigueur intellectuelle. Ses encouragements et son soutien tout au long de mes études ont contribué au plaisir que j'ai eu à faire ma maîtrise. Merci également aux membres du Laboratoire de recherche en neuroéducation (LRN). J'ai apprécié l'entraide et le partage de cette équipe dynamique. Enfin, merci à M. Martin Riopel et Mme Isabelle Plante qui ont accepté d'être les évaluateurs de ce mémoire. Leurs judicieux conseils m'ont vraiment aidée à améliorer mon projet de recherche.

Merci à mes parents, Suzanne St-Germain et Alain Duval, qui m'ont toujours encouragée à faire des études supérieures. Merci de m'avoir transmis cette soif d'apprendre.

Tout ce travail n'aurait été possible sans le soutien de ma famille. Maxime Harvey, mon amour, merci pour ton écoute, pour m'avoir fait tant réfléchir en me posant des questions sur mon sujet de recherche. Tes encouragements m'ont beaucoup aidée à surmonter les moments plus difficiles. Merci à Théo et Maélie, mes enfants, pour votre patience. Vous avez dû partager votre maman avec ses études et son travail à temps plein pendant quatre ans. Je vous en serai éternellement reconnaissante.

DÉDICACE

*À mes enfants,
Théo et Maélie*

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
DÉDICACE	iii
TABLE DES MATIÈRES	iv
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
RÉSUMÉ	ix
ABSTRACT	1
INTRODUCTION	2
CHAPITRE 1 PROBLÉMATIQUE	3
1.1 Rôle de la motivation et de l'engagement dans la réussite scolaire	3
1.2 Rôle et perception de l'erreur dans l'apprentissage.....	7
1.3 Rôle de la rétroaction dans la réussite des élèves	9
1.4 Enseignement de la neuroplasticité comme outil pour favoriser la correction difficile d'erreurs.....	10
1.5 Question de recherche.....	11
CHAPITRE 2 CADRE THÉORIQUE.....	13
2.1 Apprentissages complexes.....	13
2.2 Concept de neuroplasticité	16
2.2.1 Origines et évolution du concept.....	16
2.2.2 Définitions du concept.....	18
2.2.3 Recherches démontrant la neuroplasticité lors d'un apprentissage.....	20
2.2.4 Définition retenue.....	21
2.3 Concept d'état d'esprit	23
2.4 Concept de rétroaction	26
2.4.1 Modèle de Hattie et Timperley : les niveaux de rétroaction.....	28
2.4.2 Effets de la rétroaction sur le cerveau.....	32
2.5 Recherches qui établissent des liens entre les concepts clés de cette étude	34
2.5.1 Relation entre la neuroplasticité et l'état d'esprit	34
2.5.2 Relation entre l'état d'esprit et la réussite scolaire.....	36
2.5.3 Mécanismes neurocognitifs expliquant l'influence de l'état d'esprit sur la réussite scolaire : correction d'erreurs et rétroaction	42
2.6 Hypothèses de recherche	46

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE.....	49
3.1 Approche de recherche.....	49
3.2 Participants	50
3.2.1 Échantillonnage et modalités de recrutement	50
3.2.2 Caractéristiques des participants.....	53
3.3 Formation des groupes contrôle et expérimental	54
3.3.1 Équivalence des groupes	55
3.4 Interventions.....	56
3.4.1 Intervention du groupe expérimental	57
3.4.2 Intervention du groupe contrôle	57
3.5 Instruments de mesure	59
3.5.1 Tâche diagnostique	59
3.5.2 Questionnaire sur l'état d'esprit.....	60
3.5.3 Tâche visant à vérifier la correction d'erreur	60
3.6 Déroulement	63
3.6.1 Conditions de réalisation de l'expérimentation	63
3.6.2 Administration du questionnaire sur l'état d'esprit	64
3.6.3 Réalisation de la tâche visant à vérifier la correction d'erreur.....	64
3.7 Analyse des données.....	65
3.7.1 Comparaison de l'état d'esprit des participants des deux groupes	66
3.7.2 Comparaison du taux de réussite des deux groupes.....	67
3.7.3 Amélioration en cours de tâche : analyse de la correction d'erreurs.....	67
3.7.4 Analyse des temps de réponse : attention portée à la tâche et à la rétroaction	71
3.8 Considérations éthiques	72
3.8.1 Bénéfices liés aux apprentissages vécus lors des interventions.....	72
3.8.2 Obtention d'un consentement éclairé.....	72
3.8.3 Respect de la confidentialité et des résultats.....	73
CHAPITRE 4 RÉSULTATS.....	74
4.1 États d'esprit des participants des groupes contrôle et expérimental.....	74
4.2 Taux de réussite des participants des groupes contrôle et expérimental.....	77
4.3 Amélioration en cours de tâche : analyse de la correction d'erreurs des participants	80
4.4 Attention portée à la rétroaction ou en cours de tâche	81
CHAPITRE 5 DISCUSSION	84
5.1 Interprétation des résultats	84
5.1.1 Effets des interventions sur les états d'esprit.....	84
5.1.2 Effets des interventions sur les taux de réussite	86
5.1.3 Effet des interventions sur la correction d'erreur	90
5.1.4 Effet des interventions sur l'attention portée à la rétroaction	91

5.2 Limites et recherches futures.....	92
5.3 Retombées de la recherche	94
CONCLUSION	97
ANNEXE A FORMULAIRE D'ENGAGEMENT DES ENSEIGNANTS.....	101
ANNEXE B LETTRE EXPLICATIVE DU PROJET DE RECHERCHE	103
ANNEXE C FORMULAIRE DE CONSENTEMENT	104
ANNEXE D PLANIFICATION DÉTAILLÉE DES ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES SELON LE GROUPE D'INTERVENTION	107
ANNEXE E ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES DU GROUPE EXPÉRIMENTAL	109
ANNEXE F OUTILS DE COLLECTE DE DONNÉES.....	122
BIBLIOGRAPHIE.....	130

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Modèle récapitulatif des interactions entre la motivation et la réussite	4
Figure 2.1 Modèle de rétroaction pour améliorer l'apprentissage	29
Figure 2.2 Relations entre les concepts de la recherche.....	45
Figure 3.1 Schéma du devis de recherche.....	50
Figure 3.2 Analyse de puissance statistique avec le logiciel G*Power.....	51
Figure 3.3 Interprétation de la taille d'effet (d de Cohen) dans le domaine de l'éducation	66
Figure 4.1 États d'esprit des participants (valeur globale calculée) selon les groupes d'intervention.....	75
Figure 4.2 Résultats moyens au questionnaire sur les états d'esprit selon le groupe d'intervention.....	76
Figure 4.3 Résultats moyens au questionnaire sur les états d'esprit selon le niveau scolaire et le groupe d'intervention	77
Figure 4.4 Résultats des participants à la tâche expérimentale en fonction des groupes d'intervention..	78
Figure 4.5 Moyennes des taux de réussite à la tâche expérimentale des deux groupes d'intervention ...	79
Figure 4.6 Moyennes des taux de réussite à la tâche expérimentale des groupes d'intervention selon le niveau scolaire.....	80
Figure 4.7 Temps de réaction lié à la correction d'erreurs (attention portée à la rétroaction négative)...	83

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Différentes traductions françaises des termes <i>fixed mindset</i> et <i>growth mindset</i>	23
Tableau 2.2 Ampleur de l'effet (<i>d</i> de Cohen) de l'enseignement de la neuroplasticité	41
Tableau 3.1 Statistiques descriptives de tous les participants recrutés	53
Tableau 3.2 Statistiques descriptives des participants en fonction des groupes d'intervention	55
Tableau 3.3 Comparaison des interventions.....	58
Tableau 3.4 Exemples pour l'analyse de chacune des réponses de chaque participant par homophone .	70
Tableau 3.5 Les quatre temps de réponse utilisés pour les analyses et le but visé pour chacun.....	71
Tableau 4.1 Nombre de participants de chaque groupe selon leur état d'esprit (après l'intervention)....	74
Tableau 4.2 Analyse des réponses pour chaque homophone selon le groupe d'intervention	81

RÉSUMÉ

Lorsqu'un apprentissage difficile présente un risque d'erreur élevé, l'élève doit croire en ses capacités pour le réussir adéquatement. Il doit percevoir les erreurs comme des occasions d'apprendre et fournir des efforts pour les corriger. L'état d'esprit dynamique, associé à la croyance qu'il est possible de s'améliorer, semble être un prédicteur de réussite puisqu'il permet l'activation de régions cérébrales associées à la détection et à la correction d'erreurs lors d'une tâche. En d'autres mots, cet état d'esprit favoriserait l'attention portée aux erreurs et la capacité des individus à corriger celles-ci. Les élèves ayant un état d'esprit dynamique seraient plus motivés et engagés et cette attitude permettrait d'augmenter les ressources cognitives allouées à une tâche, influençant positivement la performance lors d'apprentissages complexes.

Bien qu'il existe un bon nombre d'études portant sur la relation entre l'état d'esprit, la motivation et la réussite, la relation spécifique entre l'état d'esprit dynamique et la correction d'erreurs n'a été étudiée jusqu'à présent que dans quelques études menées en laboratoire. L'objectif de cette recherche est de vérifier si l'enseignement du concept de neuroplasticité en classe peut influencer l'état d'esprit des élèves et améliorer la capacité à corriger les erreurs à la suite de rétroactions. La neuroplasticité est la capacité du cerveau à modifier ses connexions neuronales pendant un apprentissage. Cette recherche émet les hypothèses que l'enseignement du concept de neuroplasticité induit un état d'esprit dynamique et que les élèves qui auront reçu cet enseignement seront plus attentifs à la rétroaction négative, démontreront une meilleure capacité à corriger leurs erreurs et conséquemment obtiendront un meilleur taux de réussite dans une tâche grammaticale.

Pour vérifier ces hypothèses, les participants à cette recherche, des élèves de 5e et 6e années du primaire ($n = 100$) ont été séparés en deux groupes : un groupe a vécu l'intervention expérimentale (l'enseignement de la neuroplasticité) et l'autre groupe a vécu l'intervention contrôle, l'enseignement d'un autre sujet scientifique (astronomie). À la suite des interventions, tous les participants ont rempli un questionnaire servant à identifier leur état d'esprit et une tâche à l'ordinateur visant à vérifier la correction d'erreurs à la suite de rétroactions. Cette tâche était de nature grammaticale, l'élève devant sélectionner l'homophone approprié dans une phrase trouée. La rétroaction immédiate reçue après chaque réponse a permis à l'élève d'avoir une explication du raisonnement grammatical adéquat pour pouvoir corriger ses erreurs afin de s'améliorer lors des phrases subséquentes.

Les résultats indiquent qu'expliquer aux élèves comment fonctionne leur cerveau lorsqu'ils apprennent est une intervention qui influence positivement l'état d'esprit et favorise l'attention portée à la rétroaction négative, propice à la correction d'erreurs. Par ailleurs, les résultats montrent également que les élèves du groupe expérimental, comparativement à ceux du groupe contrôle, ont obtenu de meilleurs taux de réussite à la tâche grammaticale, mais que la différence est attribuable à un nombre différent de participants de chaque niveau scolaire dans chacun des groupes plutôt qu'à l'intervention. Somme toute, ces résultats sont encourageants, car ils montrent qu'une intervention simple et peu coûteuse peut avoir des effets bénéfiques sur les élèves.

Mots clés : Neuroplasticité, Neuroéducation, État d'esprit, Théories implicites de l'intelligence, Rétroaction, Motivation, Réussite.

ABSTRACT

When difficult learning presents a high risk of error, students must believe in their abilities to successfully complete it. They must see mistakes as opportunities to learn and make efforts to correct them. The growth mindset, associated with the belief that it is possible to improve, seems to be a predictor of academic achievement since it allows the activation of brain regions associated with the detection and correction of errors during a task. In other words, this mindset would encourage attention to mistakes and the ability of individuals to correct them. Students with a growth mindset would be more motivated and engaged, and this attitude would increase the cognitive resources allocated to a task, positively influencing performance during complex learning.

Although there are many studies examining the relationship between mindset, motivation, and achievement, the specific relationship between growth mindset and error correction has so far only been investigated in a few laboratory studies. The aim of this research is to verify whether teaching the concept of neuroplasticity in the classroom can influence students' mindset and improve the ability to correct errors following feedback. Neuroplasticity is the ability of the brain to modify its neural connections through learning. This research hypothesizes that teaching the concept of neuroplasticity can induce a growth mindset in pupils and that students who have received this teaching will be more attentive to negative feedback, demonstrate a better ability to correct their errors, and consequently have a higher success rate on a grammatical task.

To verify these hypotheses, the participants in this research, 5th and 6th year primary school students ($n = 100$), were separated into two groups: one group having experienced the experimental intervention (the teaching of neuroplasticity) and the other group having experienced the control intervention, teaching another scientific subject (astronomy). Following the interventions, all participants completed a questionnaire aimed at identifying their mindset and a computer task to test error correction following feedback. This task was grammatical in nature, requiring the student to select the appropriate homophone in a sentence. The immediate feedback received after each response allowed the student to have an explanation of the correct grammatical reasoning and to correct their errors to improve in subsequent sentences.

The results indicate that explaining to students how their brains work when they learn is an intervention that positively influences the mindset and promotes attention to negative feedback, conducive to error correction. On the other hand, results also show that students in the experimental group, compare to those in the control group, had higher success rates on the grammar task, but that the difference was due to a different number of participants from each grade level in each group rather than the intervention. Overall, these findings are encouraging, because they show that a simple and inexpensive intervention can have beneficial effects on students.

Keywords: Neuroplasticity, Neuroeducation, Mindset, Implicit theory of intelligence, Feedback, Motivation, Achievement.

INTRODUCTION

Puisque chaque personne, peu importe son âge, utilise son cerveau pour apprendre, il est intéressant de se questionner sur la façon dont cet organe fonctionne. À l'aide de données recueillies en neuroimagerie, il est maintenant possible de comprendre comment fonctionne le cerveau lorsqu'il effectue un apprentissage. Malheureusement, les apprentissages ne se font pas toujours facilement et beaucoup d'élèves ont de la difficulté à obtenir des résultats satisfaisants. La réussite scolaire étant un objectif important lorsque vient le choix des pratiques et interventions en éducation, il est primordial de chercher des méthodes qui pourraient améliorer la performance du plus grand nombre d'élèves possible. La présente recherche postule que l'enseignement du concept de neuroplasticité pourrait être une intervention qui favorise la réussite scolaire.

Ce mémoire comporte six chapitres. Le premier chapitre présente la problématique de recherche ainsi que la pertinence scientifique et sociale et se termine avec la question de recherche. Le deuxième chapitre, le cadre théorique, exposera plusieurs concepts centraux à cette étude et les hypothèses de recherche seront présentées. Le chapitre trois exposera la méthodologie de la recherche, en détaillant les modalités de recrutement des participants et leurs caractéristiques, les interventions effectuées, les instruments de mesure, le déroulement de la recherche, l'analyse des données et les considérations éthiques. Les résultats de la recherche seront présentés dans le quatrième chapitre et ceux-ci seront interprétés dans le cinquième chapitre. La discussion portera sur les liens entre les hypothèses de recherche et les résultats obtenus et sur les limites et retombées de cette étude. Pour terminer, les conclusions de la recherche seront présentées.

CHAPITRE 1

PROBLÉMATIQUE

Ce premier chapitre présente la problématique à l'origine de la recherche proposée. Dans un premier temps, l'importance de la motivation et de l'engagement dans la réussite scolaire sera présentée. Pour continuer, le rôle et la perception de l'erreur dans l'apprentissage seront exposés. Ensuite, les difficultés scolaires des élèves seront expliquées, notamment, par le fait que certains apprentissages sont complexes et que certaines erreurs peuvent être difficiles à corriger. Enfin, l'enseignement de la neuroplasticité est suggéré comme une intervention pour favoriser la correction d'erreurs et, ainsi, la réussite. Ce chapitre se conclut par la question de recherche.

1.1 Rôle de la motivation et de l'engagement dans la réussite scolaire

Un des enjeux importants dans le domaine de l'éducation est d'assurer la réussite du plus grand nombre d'élèves possible. Malheureusement, la réussite scolaire n'est pas toujours optimale pour tous les apprenants. Partout dans le monde, nombreux sont les élèves qui sont coincés dans ce cercle vicieux : une faible performance qui amène une démotivation, ce qui entraîne ensuite le désengagement de l'élève vis-à-vis l'école et ainsi provoque des résultats insatisfaisants (OCDE, 2016). La faible réussite peut être causée, notamment, par des difficultés d'apprentissage et par des erreurs difficiles à corriger.

La recherche a souvent mentionné que la motivation des élèves jouait un rôle important dans la réussite scolaire (Bouffard *et al.*, 2005; Fréchette-Simard *et al.*, 2019; Hattie, 2017; Mega *et al.*, 2014; Ministère de l'Éducation, 2007; Robbins *et al.*, 2006; Viau, 1994, 2009). Pour bien réussir, les élèves doivent avoir une motivation à apprendre, qui est définie par une force qui dynamise et oriente le comportement de l'apprenant dans la poursuite d'un but (Fréchette-Simard *et al.*, 2019). Viau (1994) donne la définition suivante :

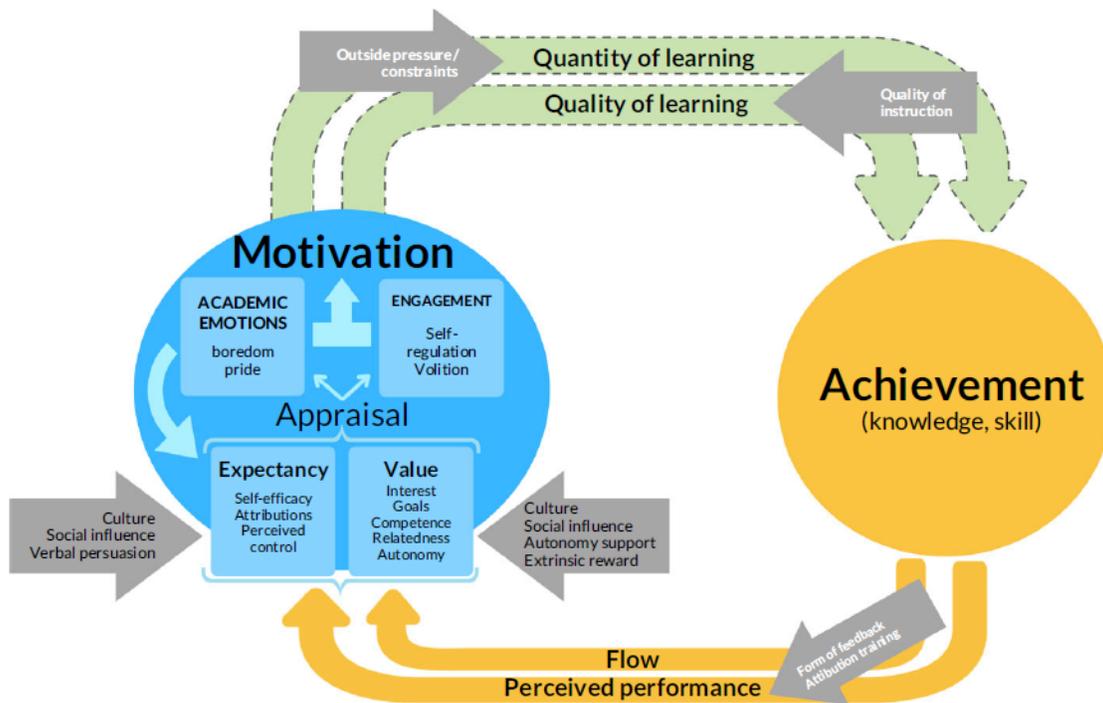
La motivation en contexte scolaire est un état dynamique qui a ses origines dans les perceptions qu'un élève a de lui-même et de son environnement et qui l'incite à choisir une activité, à s'y engager et à persévérer dans son accomplissement afin d'atteindre un but. (p. 7)

La motivation est souvent en cause chez les élèves ayant des difficultés d'apprentissage (Chouinard *et al.*, 2004; Ministère de l'Éducation, 2007; OCDE, 2016). Dans son rapport sur les élèves en difficulté publié en 2016, l'OCDE mentionne que les élèves peu performants ont une attitude moins positive à l'égard de

l'école et de l'apprentissage. Ces élèves font preuve d'un niveau moindre de persévérance et de confiance en soi et leur engagement dans les activités d'apprentissage n'est pas optimal.

La relation réciproque entre motivation et réussite scolaire a largement été exposée dans la recherche, comme le démontre une revue de littérature récente (Vu *et al.*, 2022). La motivation influence la réussite lorsque les apprenants adoptent, de façon fréquente et intense, une grande quantité de comportements favorables à la réussite, tels que faire des efforts et persévérer. Une plus grande motivation serait aussi liée à la qualité de ces comportements : choisir des stratégies d'apprentissage efficaces, récupérer en mémoire, espacer les périodes d'apprentissage, utiliser des stratégies métacognitives, etc. À l'inverse, la réussite influence la motivation lorsque l'apprenant se sent compétent et développe une perception de contrôle. La figure 1 présente un modèle du cycle motivation-réussite conçu à partir des principales théories de la motivation scolaire.

Figure 1.1 Modèle récapitulatif des interactions entre la motivation et la réussite



Note. Tiré de Vu *et al.* (2022), dans Motivation-Achievement Cycles in Learning: a Literature Review and Research Agenda. *Educational Psychology Review*, 34(1), p. 41.

Certaines recherches ont étudié la réciprocité entre le rendement des élèves et certains indicateurs motivationnels. Une étude longitudinale (Liu et Hou, 2018) a démontré que la motivation intrinsèque favorise grandement la réussite scolaire et qu'il existe également une relation réciproque entre les motivations extrinsèques et le rendement scolaire des élèves. La perception des motivateurs externes exerce une influence sur la motivation intrinsèque; si l'apprenant associe le facteur motivationnel extrinsèque (obtenir un bon résultat lors d'un test par exemple) à la satisfaction d'avoir réussi un apprentissage, sa motivation intrinsèque pourra être accrue. La motivation à passer des tests favorise la performance ultérieure et en même temps, la réussite favorise la motivation à passer des tests. Ainsi, les élèves ayant des taux de réussite élevés sont généralement plus motivés à démontrer leurs compétences. Inversement, les élèves qui accumulent de faibles résultats peuvent se désengager et perdre leur motivation.

Afin d'intervenir efficacement, il est pertinent de se demander à quel moment les difficultés apparaissent dans le parcours scolaire et quand doit-on intervenir. La recherche a démontré que certaines difficultés des élèves, comme le fait d'avoir une perception négative de soi, un faible engagement dans les tâches scolaires et une participation moindre en classe, apparaissent dès le début du primaire et que les élèves peu performants au primaire sont plus à risque de décrochage scolaire au secondaire (Janosz *et al.*, 2013). Cette étude mentionne qu'environ 15 % des élèves de 12 ans présentent des signes de désengagement. De plus, il a été constaté que la transition entre l'école primaire et secondaire peut être difficile et amène très souvent une baisse de motivation et d'engagement chez les élèves (Martin, 2009). Il est donc pertinent d'intervenir tôt dans le parcours scolaire afin d'éviter que les élèves développent une vision négative de l'école.

La motivation et l'engagement permettent d'augmenter les ressources cognitives allouées à une tâche (Paas *et al.*, 2003; Paas *et al.*, 2005) et sont reconnus comme étant des facteurs importants dans la réussite d'apprentissages complexes (Martin, 2016; Moreno, 2010; van Merriënboer et Sweller, 2005). Des exemples d'apprentissages complexes seront exposés dans la section 2.1. De plus, le niveau de difficulté d'une tâche influence la motivation des élèves à apprendre, ce qui affecte à son tour la quantité d'efforts investis pendant l'apprentissage (Paas *et al.*, 2005). En d'autres mots, une tâche trop facile ou trop difficile risque de diminuer la motivation des élèves et cette motivation détermine la quantité de ressources cognitives investie dans une tâche (Moreno, 2010). Selon van Merriënboer et Sweller (2005), il est nécessaire d'accroître la motivation des apprenants en les encourageant à fournir des efforts cognitifs

dans leurs apprentissages. Selon eux, les méthodes pédagogiques efficaces incitent les apprenants à investir les ressources cognitives dans la construction et l'automatisation de schémas (connaissances organisées dans la mémoire à long terme). Les apprentissages complexes qui représentent des défis pour les élèves et qui peuvent être difficiles à réaliser à cause de la capacité limitée de la mémoire de travail pourraient probablement être mieux réussis si l'élève détenait une perception plus positive de sa compétence. La perception de compétence fait référence à l'évaluation qu'un individu fait de ses capacités à réaliser et réussir une tâche ou une activité (Fréchette-Simard *et al.*, 2019).

La motivation et la perception de compétence des élèves pourraient être influencées par leur état d'esprit (*mindset* en anglais), concept introduit par Dweck et ses collaborateurs (Dweck, 2000, 2002, 2006, 2010; Dweck et Leggett, 1988). Selon les recherches de Dweck, il existe deux types d'états d'esprit : fixe ou dynamique. Les états d'esprit commenceraient à se préciser vers 10 ou 11 ans (Dweck, 2002).

Les gens qui ont un état d'esprit dynamique croient en leur capacité de progresser en fournissant des efforts et ont confiance en leur capacité de s'améliorer. Ils considèrent que l'intelligence est malléable, c'est-à-dire qu'elle peut évoluer avec les expériences et l'entraînement. Une recherche (Doucet *et al.*, 2020) a démontré que plus les élèves ont un état d'esprit dynamique, plus leur perception de compétence est élevée :

Ainsi, considérer l'intelligence comme une caractéristique personnelle pouvant s'améliorer est propice au développement d'une perception de compétence positive. Centrant son attention sur ses progrès et ses acquisitions et consacrant les efforts nécessaires, l'élève constate alors qu'il devient plus compétent. (p. 31)

Ces individus sont généralement plus motivés à l'école et plus persévérants. Comme le mentionne Viau (2009), plus un élève persévère lors d'un apprentissage, plus il augmente ses chances de réussir. Lorsqu'on indique à un élève qui a un état d'esprit dynamique qu'il a fait une erreur (à l'aide d'une rétroaction corrective par exemple), celui-ci serait plus attentif et réceptif à la rétroaction, car il aurait la volonté de comprendre son erreur pour ne plus la refaire (Moser *et al.*, 2011; Schroder *et al.*, 2017). Les élèves ayant un état d'esprit dynamique perçoivent leurs erreurs positivement, puisqu'elles sont considérées comme des défis à surmonter ou des occasions d'apprendre. Certaines recherches ont même démontré que l'état d'esprit dynamique favorisait la réussite scolaire (Blackwell *et al.*, 2007; Lanoë *et al.*, 2015; Mrazek *et al.*, 2018; Paunesku *et al.*, 2015; Yeager *et al.*, 2019).

À l’opposé, selon le modèle de Dweck, les gens ayant état d’esprit fixe croient plutôt que leurs capacités sont innées, que leur intelligence ne peut évoluer au cours de leur vie et que leurs habiletés ne dépendent pas des efforts et des stratégies utilisées. Selon les résultats du PISA (OCDE, 2019), dans le tiers des pays qui ont participé, plus d’un élève sur deux présente des signes d’un état d’esprit fixe. Ces élèves, croyant que l’intelligence est une caractéristique personnelle qu’il est impossible de changer, risquent d’adopter des comportements nuisibles à leur réussite :

Il est peu probable que les élèves qui ont ce sentiment fassent les investissements personnels requis pour réussir à l’école et dans la vie. Il est intéressant de constater que la confiance des élèves en leur capacité de progresser est systématiquement associée à une volonté de mener des tâches à bien, à une perception positive de l’efficacité personnelle, à la définition d’objectifs en matière d’apprentissage et à la valeur accordée à l’éducation, mais est en corrélation négative avec la peur de l’échec. (pp. 3-4)

Les élèves qui ont un état d’esprit fixe sont généralement plus compétitifs, se découragent plus facilement et ont moins tendance à persévérer. Ils considèrent les erreurs négativement, car ils pensent qu’elles indiquent un manque d’habileté ou de compétence. Le modèle de Dweck sera exposé de façon plus détaillée dans le deuxième chapitre de cette recherche (section 2.3).

Comme nous venons de le voir, la motivation et l’engagement sont des facteurs importants dans la réussite scolaire. Les apprentissages sont mieux réussis lorsque l’élève a une perception positive de sa compétence et qu’il persévère. Étant donné le rôle de l’état d’esprit dans la motivation et la réussite, il s’avère donc primordial de vérifier s’il est possible d’effectuer une intervention pédagogique qui induirait un état d’esprit dynamique afin d’améliorer l’attention portée à la rétroaction et de favoriser une perception positive de l’erreur dans l’apprentissage.

1.2 Rôle et perception de l’erreur dans l’apprentissage

L’erreur est fondamentale pour apprendre. Comme le mentionne Hattie (2017) : « Prendre conscience de l’erreur est essentiel pour assurer la progression vers la réussite » (p. 166). En effet, lorsqu’elles sont identifiées par une rétroaction, les erreurs permettent d’évoluer en favorisant la correction des processus et des méthodes utilisées afin de produire une nouvelle réponse.

Selon Astolfi (2015), les erreurs proviennent de divers facteurs : erreurs relevant de la rédaction ou de la compréhension des consignes; erreurs résultant d’habitudes scolaires ou d’un mauvais décodage des

attentes; erreurs témoignant des conceptions alternatives des élèves; erreurs liées aux opérations intellectuelles impliquées; erreurs portant sur les démarches adoptées; erreurs ayant leur origine dans une autre discipline; erreurs causées par la complexité propre du contenu; erreurs dues à une surcharge cognitive au cours de l'activité. La provenance des erreurs est diversifiée, mais ce qui importe pour améliorer la réussite scolaire est de les comprendre et de les corriger afin de ne plus les refaire lors de tâches futures.

Pour corriger les erreurs de façon efficace et améliorer les apprentissages, il faut porter attention à la rétroaction et considérer les erreurs comme faisant partie du processus d'apprentissage. Selon Hattie (2017), les erreurs doivent être acceptées, car elles créent des possibilités. Elles ne devraient pas être considérées comme un signe d'échec et on ne devrait pas tenter de les éviter, bien au contraire. « Elles sont stimulantes parce qu'elles révèlent l'existence d'un conflit entre ce qu'on *sait* et ce qu'on *pourrait savoir*; elles représentent des occasions d'apprendre qu'il faut saisir » (p. 179).

Ainsi, la perception de l'erreur dans l'apprentissage influence la capacité à corriger efficacement celles-ci. Comme le mentionne Astolfi (2015), il est possible de considérer l'erreur d'une façon positive :

Partis de la faute comme un « raté » de l'apprentissage, nous voilà en train de la considérer, dans certains cas, comme le témoin des processus intellectuels en cours, comme le signal de ce à quoi s'affronte la pensée de l'élève aux prises avec la résolution d'un problème. Il arrive même, dans cette perspective, que ce qu'on appelle erreur ne soit qu'apparence et cache en réalité un progrès en cours d'obtention. (pp. 22-23)

Certaines erreurs peuvent être difficiles à corriger, notamment si elles ont été renforcées par la pratique et la répétition, mais aussi si l'apprenant les considère négativement. Une perception négative de l'erreur peut être un obstacle à la réussite. En effet, les erreurs peuvent être des sources de frustration si elles sont considérées comme des obstacles à éviter (Heimbeck *et al.*, 2003).

La perception de l'erreur peut être associée au type d'état d'esprit d'une personne, expliqué brièvement à la section 1.1 (le concept d'état d'esprit sera davantage détaillé à la section 2.3). Plutôt que de voir l'erreur comme étant essentielle pour s'améliorer, certains élèves la perçoivent plutôt comme une finalité (*je n'ai pas réussi*) et se découragent (Dweck et Leggett, 1988). À l'opposé, d'autres élèves voient leurs erreurs comme des défis à surmonter et considèrent l'erreur comme faisant partie du processus d'apprentissage. Selon Doucet *et al.* (2020), plus les élèves sont préoccupés par l'erreur, moins leur

sentiment de compétence est élevé. Les personnes qui ont un état d'esprit dynamique ont moins peur « de commettre des erreurs et, même si elles redoutent parfois l'imperfection et peuvent être très exigeantes envers leurs résultats, elles voient l'intelligence comme pouvant se développer avec l'entraînement » (p. 32). Ainsi, ces personnes considèrent qu'en faisant des efforts et en corrigeant leurs erreurs, elles pourront s'améliorer.

Les états d'esprit expliqueraient notamment pourquoi certains élèves perçoivent leurs erreurs comme des occasions de développement alors que d'autres les considèrent plutôt comme des obstacles pour réussir une tâche. Un état d'esprit dynamique favorise l'idée que l'erreur est une occasion d'apprendre, qu'il faut fournir des efforts et porter attention à la rétroaction pour s'améliorer. Suivant cette logique, les tâches difficiles et les apprentissages complexes seront certainement mieux réussis si l'élève adopte cette mentalité.

1.3 Rôle de la rétroaction dans la réussite des élèves

La rétroaction, concept qui sera exposé plus en détail à la section 2.4, est une information donnée par un agent (un enseignant, un pair, un livre, un parent...) concernant des aspects de la performance ou de la compréhension d'un apprenant (Hattie et Timperley, 2007). La rétroaction est un des principaux facteurs qui influencent le rendement scolaire des élèves (Hattie, 2009, 2017; Hattie et Timperley, 2007).

La rétroaction permet de s'assurer que les élèves restent concentrés sur la tâche, sont en contact avec le déroulement de la leçon et comprennent ce qui est enseigné, améliorant ainsi l'engagement dans la tâche et réduisant l'inclination potentielle à abandonner (Martin, 2016). Hattie et Timperley (2007) mentionnent que la rétroaction est plus efficace quand un apprentissage n'est pas encore maîtrisé, qu'il est en voie d'acquisition, que les connaissances ou la compréhension sont incomplètes et que des erreurs peuvent être commises.

Une rétroaction qui fournit des informations sur la façon de s'améliorer peut influencer la motivation et l'engagement (Fong *et al.*, 2019; Hattie, 2009, 2017; Hattie et Timperley, 2007; Martin, 2016). Si on explique aux apprenants que les erreurs peuvent être positives et qu'on leur fournit des instructions pour corriger leurs erreurs, la performance sera favorisée (Heimbeck *et al.*, 2003).

La rétroaction est importante pour favoriser la correction d'erreur. Prendre conscience de ses erreurs permet de se corriger adéquatement et ainsi de mieux réussir. Si une tâche est difficile, l'élève devra croire en sa capacité de progresser en fournissant des efforts pour surmonter ses difficultés. Également, il est plausible de penser que plus une tâche est complexe, plus il faut fournir des efforts pour comprendre la rétroaction reçue parce qu'elle est alors, elle-même, complexe. Dans cette situation, posséder un état d'esprit dynamique pourrait améliorer l'attention portée à la rétroaction et ainsi favoriser la correction d'erreurs et la réussite.

1.4 Enseignement de la neuroplasticité comme outil pour favoriser la correction difficile d'erreurs

Comme mentionné précédemment, la persévérance et la motivation des élèves sont des facteurs importants pour la réussite d'apprentissages complexes, surtout lorsque ceux-ci présentent un risque élevé de commettre des erreurs. Lorsqu'une tâche présente un degré de difficulté élevé et donc une grande possibilité de faire des erreurs, l'élève a besoin de croire en ses capacités pour bien la réussir.

Expliquer aux élèves le fonctionnement de leur cerveau lorsqu'ils sont en situation d'apprentissage pourrait modifier favorablement la perception de l'erreur dans le processus d'apprentissage et induire un état d'esprit dynamique (DeBacker *et al.*, 2018; Dekker et Jolles, 2015; Dommett *et al.*, 2013; Lanoë *et al.*, 2015). De plus, l'enseignement de la neuroplasticité, expliqué dans le chapitre suivant, permet aux élèves de comprendre que pendant l'apprentissage, le cerveau se modifie pour devenir plus efficace. Cette intervention permettrait également de favoriser l'activation des mécanismes cérébraux liés à la correction d'erreurs et améliorer l'attention portée à la rétroaction. Des recherches ont d'ailleurs démontré qu'un état d'esprit dynamique favorise l'attention portée aux erreurs et la capacité des individus à corriger celles-ci (Mangels *et al.*, 2006; Moser *et al.*, 2011; Myers *et al.*, 2016; Schroder *et al.*, 2017; Schroder *et al.*, 2014).

L'enseignement du concept de neuroplasticité pourrait encourager cette perception que l'erreur est une occasion d'apprendre. En effet, si l'apprenant comprend que ses connexions neuronales peuvent être modifiées lors d'un apprentissage et qu'il est important de consolider les bons réseaux de neurones, il verra l'importance de corriger rapidement ses erreurs afin que son cerveau ne les « enregistre » pas. De plus, la neuroplasticité permet d'expliquer pourquoi certaines erreurs peuvent être difficiles à corriger si elles ont été renforcées par la répétition et la pratique.

Toutefois, la relation spécifique entre l'état d'esprit dynamique et la correction d'erreur n'a été étudiée jusqu'à présent qu'en laboratoire dans des situations éloignées de la salle de classe (Mangels *et al.*, 2006; Moser *et al.*, 2011; Myers *et al.*, 2016; Schroder *et al.*, 2017; Schroder *et al.*, 2014). De plus, les tâches que les participants devaient effectuer n'étaient pas des tâches scolaires, mais plutôt des tâches utilisées lors d'évaluations neuropsychologiques, soit des tâches décontextualisées et standardisées (comme la tâche de Flanker). Il est donc essentiel d'étudier l'efficacité de l'enseignement de la neuroplasticité en classe pour favoriser un état d'esprit dynamique et la correction d'erreur dans des tâches scolaires.

De plus, aucune recherche recensée ne précise si l'enseignement du concept de neuroplasticité offre réellement des impacts positifs sur la correction d'erreurs chez les élèves du primaire. La rareté des études ne permet pas pour l'instant d'affirmer avec certitude cette relation. La présente recherche pourra donc certainement contribuer au développement des connaissances au sujet de l'efficacité de l'enseignement de la neuroplasticité comme outil pour favoriser l'engagement et la correction difficile d'erreurs en contexte scolaire chez les élèves du primaire.

1.5 Question de recherche

En plus de certaines caractéristiques personnelles ou neurodéveloppementales qui peuvent influencer la réussite, les conceptions des élèves face à l'erreur et à son rôle dans l'apprentissage sont susceptibles de limiter leur réussite. Ainsi, aider les élèves à voir leurs erreurs comme des occasions d'apprendre, à persévérer en encourageant une vision positive des défis scolaires et à vivre des réussites attribuables aux efforts déployés pourrait favoriser leur réussite. Pour pouvoir s'améliorer, il importe de croire en ses capacités, en particulier lorsque la tâche est complexe et que la rétroaction fournie à la suite d'erreurs est difficile à comprendre puisqu'elle requiert une grande charge cognitive et exige de fournir des efforts. Des études ont démontré que l'enseignement du concept de neuroplasticité est une intervention qui peut induire un état d'esprit dynamique, un état d'esprit qui favorise l'attention portée à la rétroaction et qui améliore la capacité à corriger les erreurs.

L'objectif principal de cette recherche est de vérifier si l'enseignement du concept de neuroplasticité induit un état d'esprit dynamique favorisant l'attention portée à la rétroaction et si cette intervention permet une meilleure correction d'erreurs et ainsi améliore la réussite des élèves de la fin du primaire lors d'une tâche grammaticale. En d'autres mots, la présente recherche tentera de déterminer si le fait de connaître le fonctionnement de son cerveau peut avoir des impacts sur la façon de voir ses erreurs et de les corriger

à la suite d'une rétroaction. La population visée sera celle d'élèves de la fin du primaire, car il a été démontré que les états d'esprit commençaient à se préciser vers 10 ou 11 ans (Dweck, 2002) et que les signes de désengagement scolaire (comme la démotivation ou la perte de confiance dans la capacité à réussir) sont perceptibles dès le primaire (Janosz *et al.*, 2013).

La question de recherche se formule donc ainsi : *Quels sont les effets de l'enseignement du concept de neuroplasticité sur l'état d'esprit et sur la capacité à corriger des erreurs à la suite de rétroactions?*

Répondre à cette question peut avoir des retombées éducatives importantes, notamment parce que l'enseignement du concept de neuroplasticité est une intervention qui demande peu de ressources monétaires et temporelles, un grand nombre d'enseignants pourraient choisir d'utiliser cette pratique pédagogique afin de mettre en place des conditions favorables à la réussite scolaire. Parler du fonctionnement de leur cerveau aux enfants est en effet une intervention simple et peu coûteuse. Cette recherche tentera de vérifier si cette intervention peut être profitable, en particulier pour aider les élèves à surmonter les erreurs difficiles à corriger et pour réussir des apprentissages complexes.

CHAPITRE 2

CADRE THÉORIQUE

Cette recherche repose sur un cadre défini par des bases conceptuelles et théoriques qui seront exposées dans ce chapitre. Dans un premier temps, les apprentissages complexes seront définis. Puis, le concept de neuroplasticité sera présenté en expliquant son origine et son évolution, et quelques définitions seront données. Puisque ce concept concerne plusieurs domaines, une définition reliée à l'éducation sera retenue pour la présente recherche. De plus, des recherches démontrant que la neuroplasticité a été observée en contexte d'apprentissage seront présentées. Par la suite, un modèle motivationnel, celui de Dweck, sera expliqué et sera mis en relation avec la perception de l'erreur que peuvent avoir les individus. Pour continuer, le concept de rétroaction sera abordé en présentant le modèle de Hattie et Timperley. L'impact de la rétroaction chez les apprenants et ses effets sur le cerveau seront ensuite présentés. Puis, seront exposées plusieurs recherches qui ont démontré qu'enseigner le fonctionnement du cerveau aurait des effets sur la motivation, la réussite et l'activité cérébrale et induirait un état d'esprit dynamique. Cet état d'esprit favoriserait l'engagement, la persévérance et les efforts déployés par les apprenants. Enfin, certaines recherches qui ont observé des effets en termes d'attention et de vigilance sur la correction d'erreurs à la suite d'une rétroaction seront présentées. Pour terminer, des hypothèses de recherche concluront ce chapitre.

2.1 Apprentissages complexes

Les apprentissages complexes sont des tâches qui demandent à l'élève de mobiliser plusieurs connaissances et de les mettre en relation en fonction du contexte et de l'objectif poursuivi. Ils sont sujets à commettre des erreurs puisqu'ils impliquent de traiter plusieurs informations en même temps et cet effort mental peut décourager certains élèves. En effet, une tâche complexe qui implique une grande charge cognitive peut parfois être démotivante pour certains apprenants qui pourraient la considérer comme un défi difficile à surmonter (Moreno, 2010; Paas *et al.*, 2005). La charge cognitive fait référence à la capacité limitée de la mémoire de travail lors du traitement d'une nouvelle information. Sweller *et al.* (1998) la définissent ainsi :

Cognitive load is generally considered a construct representing the load that performing a particular task imposes on the cognitive system. It can be conceptualized as a task-based dimension (i.e., mental load) and a learner-based dimension (i.e., mental effort), both of which affect performance. Mental load refers to the load that is imposed by task

(environmental) demands. These demands may pertain to task-intrinsic aspects, such as element interactivity, which are relatively immune to instructional manipulations and to task-extraneous aspects associated with instructional design. Mental effort refers to the amount of cognitive capacity or resources that is actually allocated to accommodate the task demands. (p. 266)

La théorie de la charge cognitive explique que toutes les nouvelles informations sont d'abord traitées par la mémoire de travail qui est limitée en capacité et en durée et peuvent ensuite être emmagasinées dans la mémoire à long terme; les limites de la mémoire de travail disparaissent alors, améliorant notre habileté à traiter les informations. En d'autres mots, la charge cognitive induite par les tâches d'apprentissage peut affecter la capacité des élèves à traiter de nouvelles informations et à transférer des connaissances dans la mémoire à long terme (Sweller *et al.*, 2019) .

Selon Xu *et al.* (2021), lorsque les apprenants adoptent un état d'esprit dynamique, ils se concentrent sur des facteurs contrôlables tels que fournir des efforts plutôt que sur des aspects externes comme la complexité d'une tâche. Par conséquent, le traitement cognitif lié à l'apprentissage serait plus facile, car les ressources de la mémoire de travail sont dirigées vers des facteurs intrinsèques pertinents pour l'acquisition des connaissances (par exemple, faire des efforts, se concentrer sur le processus d'apprentissage et sur des objectifs de maîtrise) plutôt que vers des facteurs externes incontrôlables qui interfèrent avec l'acquisition des connaissances. Selon cette étude, les élèves ayant un état d'esprit dynamique seraient moins affectés par la charge cognitive.

Certains apprentissages complexes sont difficiles à effectuer et peuvent être propices à commettre des erreurs, car ils impliquent plusieurs éléments à intégrer lors du traitement de l'information. Comme l'indique Martin (2016), la réussite scolaire est influencée par la complexité de certains apprentissages :

If working memory is overly burdened or overloaded then there is a heightened risk that instructional content is not understood, information is misinterpreted or confused, information is not effectively encoded in long term memory, and learning is markedly slowed down. (p. 8)

Il serait possible de donner plusieurs exemples dans diverses matières scolaires pour illustrer différents apprentissages complexes qui demandent de traiter plusieurs informations en même temps, mais la présente étude se limitera à quelques exemples afin d'alléger le texte.

Un premier exemple d'apprentissage complexe est celui de l'apprentissage de la lecture (Centre for Education Statistics and Evaluation, 2017; Sweller *et al.*, 1998). Un enfant qui commence à lire doit apprendre à reconnaître les lettres (graphèmes) et le son qu'elles font (phonèmes). Les lettres, combinées à d'autres, forment des syllabes qui ont une nouvelle phonétique. Les syllabes forment les mots, qui réfèrent à des concepts. Ce processus est très complexe, mais lorsqu'il est bien répété et pratiqué, une forme d'automatisation des processus s'effectue et la tâche devient plus facile pour l'apprenant, car elle demande moins d'efforts cognitifs et décharge ainsi la mémoire de travail (Sweller *et al.*, 1998). L'apprenant arrive alors à décoder les mots et leur signification, sans s'arrêter au décodage. La compréhension de textes est également très complexe, puisqu'elle demande à l'apprenant de connaître la signification des mots et de les contextualiser dans une phrase qui amène une nouvelle unité de sens, de faire des liens entre les idées, etc.

Plusieurs recherches et ouvrages (Brissaud et Fayol, 2018; Chanquoy et Alamargot, 2002; Fayol et Jaffré, 2014; Hayes, 2006; Kellogg, 1996; Kellogg *et al.*, 2013; McCutchen, 1996; Morin *et al.*, 2009; Swanson et Berninger, 1996) ont démontré que l'écriture est aussi une tâche complexe qui nécessite une gestion précise des processus, afin d'éviter une surcharge cognitive lors du de traitement de l'information. La maîtrise de l'orthographe grammaticale est un bon exemple d'apprentissage difficile. Par exemple, l'accord du nombre en français peut être source d'erreurs puisque certaines marques grammaticales ne sont pas détectables à l'oral dans la langue française (ex. : *l'enfant joue au ballon / les enfants jouent au ballon*) (Brissaud et Fayol, 2018; Fayol, 2016; Lubin *et al.*, 2012). De plus, l'accord est différent selon la classe syntaxique (le pluriel des noms versus pluriel des verbes). Cet apprentissage est difficile pour de nombreux enfants de 10 à 11 ans (Lubin *et al.*, 2012).

Selon Boivin et Pinsonneault (2018), certains types d'erreurs persistent à travers le temps, notamment l'accord dans le groupe du nom et l'accord régi par le sujet. Cette étude a mis en lumière que les erreurs les plus fréquentes en écriture concernent la syntaxe (notamment la ponctuation et les homophones grammaticaux). La capacité d'identifier la structure de la phrase et des groupes qui la constituent est importante pour la construction adéquate des phrases simples et des phrases complexes et pour la maîtrise de l'orthographe des homophones (Boivin et Pinsonneault, 2018). Nous verrons dans le chapitre 3 que, puisque cet apprentissage grammatical présente un grand risque de faire des erreurs, l'orthographe des homophones sera l'objet d'une des tâches soumises aux élèves dans le cadre de la présente étude.

De par leur nature, les apprentissages complexes nécessitent des efforts, car ils impliquent le traitement de plusieurs connaissances de façon simultanée. Étant donné que les tâches complexes impliquent une grande charge cognitive, les apprenants doivent être motivés à apprendre et doivent adopter une attitude positive face aux défis que ces apprentissages engendrent. Ces apprentissages complexes peuvent être propices à commettre des erreurs. Il faudra donc que les élèves soient attentifs à la rétroaction afin de traiter l'information fournie par celle-ci dans le but de corriger leurs erreurs pour pouvoir réussir adéquatement ces tâches.

2.2 Concept de neuroplasticité

Le cerveau est doté d'une faculté d'adaptation morphologique et fonctionnelle, qui a souvent été observée dans le domaine des neurosciences. La neuroplasticité, aussi appelée plasticité cérébrale, est la capacité du cerveau à être en constante évolution. Des cellules nerveuses, les neurones, communiquent entre elles par les synapses, à l'aide de neurotransmetteurs. Au cours de notre vie, des réseaux de neurones (qui sont composés de neurones interconnectés) sont créés et modifiés dans notre cerveau. Ces découvertes relatives au fonctionnement cérébral ne datent pas d'hier. Dans un premier temps, l'origine et l'évolution du concept seront présentées brièvement, des exemples d'apprentissages où la neuroplasticité a été observée seront exposés, puis la définition du concept de neuroplasticité qui sera retenue pour la présente recherche sera précisée. Le concept de neuroplasticité est central à cette étude, puisqu'il est l'objet de l'intervention du groupe expérimental.

2.2.1 Origines et évolution du concept

La compréhension des processus qui régissent la formation de réseaux de neurones s'est faite en plusieurs étapes. La découverte de la neuroplasticité est souvent associée à Donald Olding Hebb (Geake et Cooper, 2003; Masson et Brault Foisy, 2014), qui a proposé que ce sont des changements au plan des connexions neuronales qui permettent d'apprendre et de changer le comportement. Son hypothèse était que si deux neurones sont actifs en même temps, de nouvelles connexions neuronales peuvent se créer et se renforcer progressivement. Dans son livre *The Organization of Behavior, a Neuropsychological Theory* (1949), Hebb a écrit le postulat suivant :

When an axon of cell A is near enough to excite cell B and repeatedly or persistently takes part in firing it, some growth process or metabolic change takes place in one or both cells such that A's efficiency, as one of the cells firing B, is increased (p. 62).

Son hypothèse a été confirmée par la suite dans de nombreuses recherches (par exemple, Bliss et Lomo, 1973) qui ont pu observer des modifications dans les connexions neuronales.

Toutefois, des synthèses d'écrits scientifiques (Berlucchi et Buchtel, 2009; Kania *et al.*, 2017; Pascual-Leone *et al.*, 2005) ont identifié des précurseurs de ce concept. Ce serait beaucoup plus tôt, dans les années 1890, que le terme *plasticité* aurait été utilisé la première fois par William James pour désigner les changements dans les voies nerveuses, situées dans les synapses, découvertes lors de cette même décennie par Eugenio Tanzi. Dans les mêmes années, Santiago Ramon et Cajal ont découvert que les neurones peuvent se connecter les uns aux autres et que ces transformations fonctionnelles se produisent à l'aide de stimuli. Cajal avait d'ailleurs émis l'hypothèse quelques années après ces découvertes que la modification du comportement devait avoir des bases anatomiques et avait prédit qu'avec l'acquisition de nouvelles compétences, le cerveau changerait grâce au renforcement des voies préétablies et par la formation de nouveaux réseaux de neurones. Ce n'est qu'à la fin des années 1940 que Hebb a émis à nouveau l'hypothèse que le cerveau serait modifié par l'expérience et la pratique. Cette hypothèse est maintenant un principe neuroscientifique reconnu.

Selon certains chercheurs (Geake et Cooper, 2003; Masson, 2020; Masson et Brault Foisy, 2014; Tovar-Moll et Lent, 2016), le modèle de Hebb a des implications importantes pour le domaine de l'éducation. En effet, il fournit des explications sur le fait que les apprentissages scolaires prennent du temps et de la pratique. Selon Hebb, les neurones doivent être activés ensemble et de façon répétée pour que la force des connexions soit augmentée. Un apprentissage serait donc mieux encodé par le cerveau lorsqu'il est fait plusieurs fois et à plusieurs moments, si bien que les réseaux de neurones liés à cet apprentissage seraient alors renforcés et donc plus efficaces. Autrement dit, la pratique et la répétition d'un apprentissage améliorent la consolidation des réseaux de neurones qui ont été établis lors de cet apprentissage. Aussi, le modèle de Hebb permet d'expliquer pourquoi les élèves oublient : si les neurones ne s'activent pas ensemble pendant un certain temps, la force des connexions diminue et les réseaux peuvent même se défaire. Négliger un apprentissage particulier pendant un certain temps a donc des effets sur le fonctionnement cérébral : les réseaux de neurones deviendront moins efficaces. On comprend alors pourquoi certains apprentissages, qui étaient pourtant maîtrisés à la fin d'une année scolaire, peuvent avoir besoin de rappels et de réinvestissements au début de l'année scolaire suivante; l'élève doit réactiver ses réseaux de neurones. Enfin, certaines erreurs peuvent être difficiles à corriger si les réseaux de neurones liés à cet apprentissage ont été renforcés par une pratique répétée de cette erreur. Il est donc

important d'accompagner les élèves et de déceler très tôt les erreurs qui pourraient être commises afin de les rediriger dans la bonne voie pour qu'ils ne consolident pas les mauvais réseaux de neurones.

2.2.2 Définitions du concept

Il existe plusieurs définitions du concept de neuroplasticité et celles-ci varient légèrement en fonction du domaine d'étude. En effet, la neuroplasticité peut être présentée sous un angle médical, avec les aspects biologiques reliés au fonctionnement ou au dysfonctionnement du cerveau. Ce concept peut également être associé à un aspect comportemental, lorsqu'est observé le fonctionnement du cerveau d'un individu qui adapte son comportement en fonction de l'environnement ou de ses expériences. Enfin, la neuroplasticité peut être associée à des aspects développementaux, par exemple lors de l'acquisition du langage, du développement psychomoteur ou des apprentissages. Dans la présente recherche, la neuroplasticité sera reliée au domaine de l'éducation et de l'apprentissage. La définition retenue sera présentée à la section 2.2.4.

Plusieurs écrits scientifiques mentionnent que la neuroplasticité ne s'observe pas seulement dans une période particulière du développement humain, mais se produit dans le cerveau tout au long de la vie (Chang, 2014; Kania *et al.*, 2017; Pascual-Leone *et al.*, 2005; Tovar-Moll et Lent, 2016; Ward, 2010). Cette particularité est conforme avec l'idée que les êtres humains ont la capacité de faire des apprentissages à tout âge et que le cerveau est en constante adaptation.

Selon Kania et ses collaborateurs (2017), la neuroplasticité est la capacité des tissus nerveux à former de nouvelles connexions entre les neurones ou à les modifier :

Neuroplasticity is the brain's ability to form new neural connections throughout life, which is influenced by intrinsic or extrinsic stimuli, or the capacity of neurons and neural networks in the brain to change their connections and behavior in response to new information, sensory stimulation, development, damage or dysfunction. (p. 42)

En neurosciences cognitives, on définit le concept de neuroplasticité par des changements cérébraux liés aux expériences (Ward, 2010): « Plasticity refers to the brain's ability to change as a result of experience and, whilst greatest during childhood, plasticity persists throughout life. At a neural level, plasticity occurs by changing the pattern of synaptic connectivity between neurons » (p. 181).

La neuroplasticité est le mécanisme cérébral qui sous-entend le développement et l'apprentissage (Pascual-Leone *et al.*, 2005). Chang (2014), qui a fait l'analyse de plusieurs recherches portant sur des apprentissages liés à des activités sportives ou à l'apprentissage d'instruments de musique, explique que la neuroplasticité est la capacité du cerveau à modifier sa structure et sa fonction. Il précise que les changements conduisent à une réorganisation du cerveau qui pourrait être observable au plan du comportement, de l'anatomie et de la fonction cellulaire et moléculaire. Masson et Brault Foisy (2014) donnent une définition adaptée au domaine de l'éducation et liée aux apprentissages : « Neuroplasticity refers to the capacity of the brain to change its structure (its neuronal connections, more precisely) through learning » (p. 502).

Selon Tovar-Moll et Lent (2016), la neuroplasticité dans un contexte d'apprentissage peut se vivre sous plusieurs formes : les neurones établissent des circuits en se connectant les uns aux autres; des réseaux de neurones sont actifs de façon synchronisée lors d'un apprentissage; les apprentissages provoquent des changements dans l'architecture cérébrale. Ces chercheurs font un lien avec le traitement des informations : « The biological set of mechanisms by which these brains receive, encode, store, and retrieve mutually exchanged information is called "neuroplasticity" » (p. 199).

La pertinence de la neuroplasticité pour le domaine de l'éducation est régulièrement évoquée dans la littérature. D'ailleurs, plusieurs recherches (qui seront exposées dans la section 2.2.3) ont étudié les modifications cérébrales à la suite d'un apprentissage. Geake et Cooper (2003) offrent une définition intéressante qu'ils relient à des implications pédagogiques :

Adaptive plasticity is the capacity of the brain to change at a neurophysiological level in response to changes in the cognitive environment. We suggest that a cognitive neuroscientific understanding of this characteristic has implications for pedagogical issues concerned with learning, including the necessity of reinforcement and the problem of erroneous learning, and for curriculum issues of breadth and depth. (p. 14)

Le concept de neuroplasticité peut se définir de plusieurs façons, mais beaucoup d'éléments sont semblables dans chacune des définitions. La section suivante présentera à titre d'exemples quelques recherches lors desquelles la neuroplasticité a été observée.

2.2.3 Recherches démontrant la neuroplasticité lors d'un apprentissage

Il existe de nombreuses études qui ont observé le phénomène de neuroplasticité lors de divers types d'apprentissages. Entre autres, la neuroplasticité a été démontrée lors d'apprentissages moteurs dans plusieurs recherches (Chang, 2014). Par exemple, Draganski *et al.* (2004) ont observé ce qui se passait dans le cerveau humain lorsque des participants apprenaient à jongler. Vingt-quatre participants ont été séparés en deux groupes d'intervention : les jongleurs et les non-jongleurs. Ils ont remarqué que chez les jongleurs, la région temporale milieu (associée aux mouvements visuels complexes) et le sillon pariétal gauche (responsable, notamment, de la coordination et des mouvements) présentaient des changements au niveau structurel (c'est-à-dire une augmentation de la matière grise qui est souvent associée à une augmentation de connexions neuronales) après trois mois d'entraînement. Après avoir passé un test dans un appareil d'imagerie par résonance magnétique, les participants devaient cesser de pratiquer la jonglerie. Après trois mois d'arrêt, les chercheurs ont remarqué une diminution de la densité de matière grise dans les régions observées. Cette étude démontre donc que le cerveau s'adapte aux besoins; si on ne se sert pas d'un apprentissage pendant un certain temps, les connexions neuronales s'affaiblissent et peuvent même se défaire.

Une autre étude sur la neuroplasticité a démontré que seulement 45 minutes d'apprentissage d'un instrument suffisaient pour modifier certaines parties du cerveau (Tavor *et al.*, 2019). Dans cette recherche, 40 participants ont appris les 51 premières notes de la pièce Für Elise de Beethoven en plusieurs séquences. Chaque séquence de notes était présentée sur un clavier virtuel et les notes à jouer étaient affichées en couleur au fur et à mesure que les sons étaient entendus. Les apprenants devaient ensuite jouer la séquence sur un piano électrique et ont été informés de leur précision. Lorsqu'ils faisaient une erreur, la séquence correcte était présentée à nouveau et l'erreur faite était mise en évidence avec la couleur rouge. Des changements cérébraux ont été observés dans des régions du système moteur, notamment dans le cortex prémoteur et le cervelet. Les résultats de cette recherche démontrent que la structure du cerveau est dynamique, peut changer très rapidement et que le cerveau des individus s'adapte lorsqu'ils constatent une erreur à la suite d'une rétroaction et la corrigent.

Les apprentissages moteurs ne sont pas les seuls exemples de la neuroplasticité. En effet, des recherches ont été effectuées pour observer la neuroplasticité lors d'apprentissages de nouvelles connaissances. Kwok et ses collaborateurs (2011) ont étudié l'apprentissage de nouveaux mots. Ils ont fait apprendre des noms de couleurs de deux teintes de bleu et de deux teintes de vert à 19 participants adultes. Après moins

de deux heures d'entraînement étalées sur trois jours, les participants présentaient des changements dans le cortex visuel gauche, région liée à la perception des couleurs.

Une autre recherche s'est intéressée à ce qui se passait dans les cerveaux d'étudiants pendant des périodes intensives d'étude en vue d'examens (Draganski *et al.*, 2006). La mémorisation à long terme est un processus actif d'encodage et de récupération des informations et cette étude a permis de constater des démonstrations de neuroplasticité lors de cette activité intellectuelle. Des images de 38 cerveaux d'étudiants en médecine obtenues par résonance magnétique ont été prises à trois moments différents pendant l'expérimentation. Un premier scan fut passé trois mois avant les examens, un second le lendemain ou le surlendemain de l'examen et le dernier a été fait trois mois après l'examen. Les participants du groupe contrôle, formé d'étudiants en physiothérapie, n'avaient pas passé d'examen depuis 6 mois et n'étudiaient pas pendant la recherche. Ils ont passé les deux premiers scans au même moment que les étudiants en médecine. Les chercheurs ont démontré que chez les étudiants en médecine, la matière grise avait augmenté de manière significative dans la partie postérieure et inférieure du cortex pariétal au cours de la période d'apprentissage. Ces régions sont associées au transfert des informations dans la mémoire à long terme. Ils ont également remarqué que l'hippocampe postérieur continuait d'augmenter de volume même après la période d'apprentissage. Ces changements étaient toujours présents trois mois après l'examen.

2.2.4 Définition retenue

Le concept de neuroplasticité, ou plasticité cérébrale, se définit de plusieurs façons. À l'issue des définitions présentées, nous savons que les connexions entre les neurones peuvent se former, que ces réseaux de neurones peuvent être créés et renforcés, que les changements peuvent être temporaires ou permanents, qu'ils sont influencés par l'environnement, que le cerveau s'adapte et se réorganise en fonction des expériences et que la neuroplasticité se fait tout le long de la vie.

Grâce aux recherches ayant étudié la neuroplasticité lors des apprentissages, il a été démontré que lorsqu'une personne active à plusieurs reprises les neurones liés à un apprentissage, son cerveau peut créer de nouvelles connexions ou renforcer leur efficacité. Il est alors possible de voir, avec les techniques d'imagerie cérébrale, que la densité de matière grise est plus grande dans certaines régions sollicitées. La force des connexions est favorisée par la répétition et la pratique, ce qui permet de consolider les apprentissages en renforçant les connexions neuronales. Ainsi, des réseaux de neurones bien établis sont

plus efficaces et cela permet à l'individu de fournir un moins grand effort cognitif. À l'inverse, lorsqu'un individu néglige un apprentissage pendant un certain temps, la force ou l'efficacité des connexions peut en être diminuée ou ces connexions peuvent disparaître; il y a alors un oubli de cet apprentissage.

Comme mentionné dans certains écrits (Geake et Cooper, 2003; Masson, 2020; Masson et Brault Foisy, 2014; Tovar-Moll et Lent, 2016) , les apprentissages scolaires et le concept de neuroplasticité sont étroitement liés. Les apprentissages prennent du temps et de la pratique, car les neurones doivent s'activer de façon simultanée et répétée pour augmenter la force et l'efficacité de leurs liens. La neuroplasticité explique également pourquoi certaines erreurs sont difficiles à corriger si les connexions neuronales liées à celles-ci sont bien établies. Somme toute, la neuroplasticité peut engendrer trois types de modifications cérébrales : il peut y avoir une *synaptogénèse* (création de nouvelles connexions), un élagage de connexions synaptiques obsolètes (élimination des connexions qui ne servent plus) ou une modification de l'efficacité des connexions à la hausse ou à la baisse (qui varie en fonction de la répétition et de la pratique). Le cerveau est en constante évolution; sa structure se modifie selon les expériences (et la fréquence de celles-ci) et son architecture peut varier selon les divers stimuli vécus.

Pour la présente recherche, la définition du concept de neuroplasticité doit être associée aux expériences éducationnelles. La définition retenue est donc la suivante : *La neuroplasticité est la capacité du cerveau à modifier ses connexions neuronales par l'apprentissage.*

Puisque l'objectif de cette recherche est de vérifier l'effet que peut avoir l'enseignement du concept de neuroplasticité chez les élèves, il est donc important que la définition reste simple à comprendre pour les enfants. Lors de l'intervention (voir le troisième chapitre portant sur la méthodologie), ce concept sera expliqué lors de situations d'apprentissage à l'aide d'une analogie (les réseaux de neurones peuvent être comparés à des sentiers en forêt), d'images, de vidéos et d'exemples concrets liés aux apprentissages scolaires. L'enseignement du concept de neuroplasticité pourrait encourager les élèves à mieux performer lors de leurs apprentissages. En effet, si l'apprenant prend conscience que ses connexions neuronales peuvent être modifiées lorsqu'il apprend, il pourrait se responsabiliser et s'engager davantage, verrait davantage l'utilité de la répétition et de la pratique et serait motivé à comprendre ses erreurs pour ne pas les consolider. L'état d'esprit, expliqué dans la section suivante, peut être influencé par l'enseignement du concept de neuroplasticité.

2.3 Concept d'état d'esprit

Plusieurs décennies de recherche de Dweck, dont le champ d'expertise est la psychologie sociale, l'ont amené à développer un modèle motivationnel qui vise à expliquer les réactions des personnes face à l'effort, à l'échec, aux erreurs et à la réussite (Dweck, 2000, 2002, 2006, 2010; Dweck et Leggett, 1988; Grant et Dweck, 2003). Comme mentionné dans le premier chapitre, les travaux de Dweck suggèrent que la motivation et la réussite scolaire sont influencées par notre conception de l'intelligence et notre attitude en situation d'apprentissage liée à notre état d'esprit. La façon dont les gens réagissent après avoir reçu une rétroaction ou après avoir commis des erreurs dépendrait également de ces croyances. Pour que son modèle soit facilement compréhensible, Dweck présente les états d'esprit comme une dichotomie, mais elle précise que c'est en fait un continuum et que cet état d'esprit peut même varier en fonction de la tâche effectuée ou le domaine de compétence et peut évoluer dans le temps (Dweck, 2010). Plusieurs termes sont utilisés dans la littérature francophone pour parler de ces deux états d'esprit. Le tableau 2.1 fait la recension des termes utilisés dans les recherches francophones.

Tableau 2.1 Différentes traductions françaises des termes *fixed mindset* et *growth mindset*

<i>Fixed mindset</i>	<i>Growth mindset</i>
État d'esprit fixe	État d'esprit dynamique État d'esprit de développement État d'esprit de croissance
Théorie de l'entité	Théorie incrémentielle ou incrémentale
Mentalité fixe	Mentalité de croissance
Conception fixe de l'intelligence	Conception dynamique de l'intelligence
Conception statique de l'intelligence	Conception malléable de l'intelligence

Afin de simplifier la lecture de ce mémoire, les termes *état d'esprit dynamique* et *état d'esprit fixe* seront retenus.

Ces deux états d'esprit se distinguent par plusieurs caractéristiques, dont les buts d'accomplissements qui orientent l'engagement d'un apprenant dans une tâche. En effet, lorsqu'un élève entreprend une tâche, il peut adopter deux types de buts contrastés : les buts de performance (dont l'objectif est de démontrer une compétence ou de paraître intelligent) et les buts de maîtrise (centrés sur l'apprentissage, le but étant

d'accroître une compétence). En général, les buts de maîtrise sont plus bénéfiques pour les élèves que les buts de performance puisqu'ils sont associés à des comportements d'apprentissages positifs, tels que la persévérance et l'importance de l'effort et à des stratégies cognitives complexes (Fréchette-Simard *et al.*, 2019; Grant et Dweck, 2003; Viau, 2009). En contrepartie, les individus ayant des buts de performance élevés peuvent bien performer à l'école, mais les apprentissages sont souvent moins durables et ces personnes ont plus de chances de développer des problèmes, comme de l'anxiété de performance (Fréchette-Simard *et al.*, 2019).

Selon le modèle de Dweck (Dweck, 2000, 2002, 2006, 2010; Dweck et Leggett, 1988; Grant et Dweck, 2003) les personnes ayant un état d'esprit dynamique croient que l'intelligence peut se développer avec les efforts et les apprentissages. Ils considèrent que la pratique et l'utilisation de stratégies efficaces permettent le développement des habiletés et des compétences. Cet état d'esprit prédit les processus d'autorégulation des élèves, c'est-à-dire la réalisation des buts d'accomplissement. Les individus ayant un état d'esprit dynamique ont généralement des buts orientés vers la maîtrise des apprentissages : ils souhaitent ainsi maîtriser les tâches proposées et améliorer leurs compétences (Da Fonseca *et al.*, 2004b; Dweck et Leggett, 1988; Vezeau *et al.*, 2004; Xu *et al.*, 2021) et ce, même après avoir vécu un échec (Song *et al.*, 2020). Ces personnes semblent conserver un optimisme que leurs efforts seront fructueux, sont moins susceptibles de penser qu'ils échoueront et ont une motivation plus intrinsèque pour effectuer la tâche à accomplir (Dweck et Leggett, 1988; Grant et Dweck, 2003; Mrazek *et al.*, 2018). Ils perçoivent également que les efforts représentent une stratégie de maîtrise et signifient qu'on exploite nos ressources pour atteindre un but. Certains enfants ayant des buts de maîtrise ont même déclaré qu'ils se sentiraient déçus ou ennuyés si leur succès était attribuable à peu d'efforts (Dweck et Leggett, 1988). Les élèves qui ont un état d'esprit dynamique sont généralement plus motivés à l'école et sont plus persévérants lorsqu'ils font face aux difficultés. Ils voient celles-ci comme des défis à surmonter et maintiennent un affect positif face à la tâche même lorsqu'ils rencontrent des difficultés. En outre, ils perçoivent les erreurs positivement, puisqu'ils les considèrent comme des occasions d'apprendre et de s'améliorer (Doucet *et al.*, 2020; Dweck, 2000, 2006, 2010; Dweck et Leggett, 1988). Des recherches ont d'ailleurs démontré qu'un état d'esprit dynamique améliore la capacité des individus à corriger leurs erreurs (Mangels *et al.*, 2006; Moser *et al.*, 2011; Myers *et al.*, 2016; Schroder *et al.*, 2017; Schroder *et al.*, 2014). Après une erreur ou face à une difficulté, ces individus persévèrent, augmentent leurs efforts, cherchent de nouvelles méthodes ou changent de stratégies (Da Fonseca *et al.*, 2004a; Dweck, 2006, 2010; Mrazek *et al.*, 2018). La recherche de Doucet *et al.* (2020) a démontré que plus les élèves avaient un état

d'esprit dynamique, plus leur perception de compétence était élevée, puisqu'ils étaient moins préoccupés de commettre des erreurs. Certaines recherches ont aussi constaté que les élèves à qui on avait induit un état d'esprit dynamique obtenaient de meilleurs résultats scolaires (Aronson *et al.*, 2002; Blackwell *et al.*, 2007; Dweck, 2000, 2006, 2010; Dweck et Leggett, 1988; Lanoë *et al.*, 2015; Paunesku *et al.*, 2015; Yeager *et al.*, 2019). La réussite scolaire serait donc influencée positivement par ce type d'état d'esprit.

A contrario, les individus ayant un état d'esprit fixe croient que l'intelligence est une caractéristique immuable qui ne peut évoluer et que les erreurs indiquent un manque d'habileté ou de compétence (Dweck, 2000, 2002, 2006, 2010; Dweck et Leggett, 1988; Grant et Dweck, 2003). Selon cette théorie, les élèves qui entretiennent un état d'esprit fixe percevraient que l'intelligence est un facteur incontrôlable alors que l'intelligence est plutôt perçue comme un facteur contrôlable chez ceux qui ont un état d'esprit dynamique. Aussi, ces personnes associent les faibles résultats à de faibles capacités intellectuelles ou encore à des facteurs externes. Ils peuvent blâmer leur mémoire, ou leur capacité à résoudre des problèmes ou encore ils expliquent leurs mauvaises réponses par des distractions vécues pendant la tâche (Dweck, 2006, 2010; Dweck et Leggett, 1988). Ils considèrent efforts et capacités comme inversement liés : les efforts sont perçus comme le signe d'une faible compétence et à l'inverse, faire peu d'efforts démontrerait une grande compétence (Dweck et Leggett, 1988). Les personnes ayant un état d'esprit fixe ont tendance à être plus compétitives, car elles veulent prouver leur intelligence ou leurs capacités aux autres et elles entretiennent généralement des buts de performance (Da Fonseca *et al.*, 2004b; Dweck, 2000, 2006, 2010; Dweck et Leggett, 1988; Grant et Dweck, 2003). Lorsqu'ils font face à une situation dans laquelle ils anticipent un risque élevé d'erreurs, ils ont tendance à fuir cette occasion d'apprentissage afin d'éviter d'être exposés à leurs faiblesses (Chiu *et al.*, 1997; Dweck, 2000, 2006, 2010; Dweck et Leggett, 1988; Mangels *et al.*, 2006). Les personnes ayant un état d'esprit fixe font parfois diversion et veulent distraire l'attention de leurs échecs en parlant par exemple de leurs talents dans d'autres domaines, tentant ainsi de conserver une image positive d'eux-mêmes (Dweck et Leggett, 1988). Quand ils sentent que leur compétence est menacée, ils ont tendance à interpréter les rétroactions comme punitives (Bejjani *et al.*, 2019); ils sont intéressés par la rétroaction quand elle concerne leur capacité, mais ne semblent pas vouloir chercher à comprendre lorsqu'ils font une erreur (Dweck, 2006, 2010; Mangels *et al.*, 2006). Ainsi, les gens ayant un état d'esprit fixe sont aussi plus susceptibles de se décourager et sont moins persévérants (Chiu *et al.*, 1997; Dweck, 2000, 2006, 2010; Dweck et Leggett, 1988; Grant et Dweck, 2003; Mangels *et al.*, 2006; Mrazek *et al.*, 2018). Puisqu'il croit qu'il ne peut s'améliorer, l'élève qui a un état

d'esprit fixe à qui on indique une erreur à l'aide d'une rétroaction pourrait se désengager, car il aura tendance à percevoir cette erreur comme la confirmation d'une incapacité à réaliser la tâche demandée.

Le concept de neuroplasticité, présenté dans la section 2.2, postule une capacité individuelle d'action sur l'apprentissage et la réussite. Cette idée est en accord avec l'état d'esprit dynamique du modèle de Dweck, qui démontre que nous pouvons avoir un certain contrôle sur notre capacité d'apprendre et de nous améliorer. Il est donc pertinent de vérifier si un état d'esprit dynamique, qui peut être induit par un enseignement du concept de neuroplasticité, favorise la réussite et plus précisément la tendance à vouloir corriger ses erreurs après une rétroaction.

2.4 Concept de rétroaction

Un individu qui a un état d'esprit dynamique considère que les erreurs sont des occasions d'apprendre. La rétroaction permet à un apprenant de prendre conscience des erreurs commises et de les corriger. La rétroaction est un concept qui a été très étudié dans le domaine de l'éducation. C'est une information avec laquelle un apprenant peut modifier ses façons de faire afin d'atteindre un objectif. Elle vise à réduire l'écart entre les acquis et les critères de réussite.

Hattie et Timperley (2007) proposent la définition suivante : « Feedback is information provided by an agent (e.g., teacher, peer, book, parent, experience) regarding aspects of one's performance or understanding. » (p. 102). Une autre définition, donnée par Butler et Winne (1995) et complémentaire à celle qui vient d'être citée, explique la rétroaction de la façon suivante :

Feedback is information with which a learner can confirm, add to, overwrite, tune, or restructure information in memory, whether that information is domain knowledge, metacognitive knowledge, beliefs about self and tasks, or cognitive tactics and strategies.
(p. 275)

La rétroaction est un des principaux facteurs qui influencent le rendement scolaire des élèves (Hattie, 2009, 2017; Hattie et Timperley, 2007). La taille d'effet moyenne de la rétroaction varie selon les études. Selon Hattie (2017), pour déclarer qu'une intervention en éducation fonctionne, « elle doit permettre une amélioration de rendement des élèves au moins équivalente au gain moyen – c'est-à-dire qu'elle doit avoir une taille d'effet minimale de $d = 0,40$ » (p. 5). En 2007, Hattie et Timperley avaient mesuré la taille d'effet moyenne de la rétroaction à 0,79. Deux ans plus tard, dans *Visible Learning*, une méga-analyse de plus de 800 méta-analyses (regroupant 52 637 articles de recherche), Hattie plaçait alors la rétroaction parmi les

dix facteurs d'influence les plus importants pour le rendement des élèves, avec une taille d'effet de 0,73. Dans la version mise à jour de *Visible Learning* (2017), 115 méta-analyses supplémentaires ont été ajoutées (7518 études) et la taille d'effet était de 0,75.

Toutefois, dans une méta-analyse plus récente (Wisniewski *et al.*, 2020), la taille d'effet pondérée moyenne se situait à 0,48. Ce résultat, différent de celui obtenu par Hattie, est expliqué par le fait que les chercheurs ont exclu les doublons pour éviter un double comptage (et ainsi une distorsion des résultats). Aussi, la différence des résultats s'explique par le fait qu'un certain nombre d'études utilisées dans la méga-analyse de Hattie ont été exclues de cette méta-analyse, à cause d'un manque d'informations détaillées sur les données statistiques ou en raison d'éléments liés au contenu (études qui n'ont pas explicité le contexte éducatif ou qui n'ont pas rapporté les résultats sur les apprentissages). La taille d'effet moyenne de cette méta-analyse est basée sur un nombre d'études plus petit que la méga-analyse, mais selon les chercheurs, la sélection des études a produit des résultats plus précis, car chaque étude remplit réellement les critères d'inclusion.

Bien que les tailles d'effet varient d'une étude à l'autre, les chercheurs s'entendent pour dire que la rétroaction est favorable aux apprentissages des élèves. Hattie (2017) précise que la rétroaction peut avoir plusieurs fonctions :

elle peut fournir des indications qui attirent l'attention de l'élève et l'aide à se concentrer sur la réussite de la tâche; elle peut diriger l'attention vers les processus nécessaires à la réalisation de la tâche; elle peut renseigner sur les notions qui ont été mal comprises; elle peut chercher à motiver les élèves à s'investir davantage dans la tâche. (p. 165)

La rétroaction améliore l'engagement d'un élève dans une tâche et réduit le risque d'abandon puisqu'elle permet de s'assurer que les élèves restent concentrés sur la tâche, sont en contact avec le déroulement de la leçon et comprennent ce qui est enseigné (Martin, 2016). En conséquence, une rétroaction qui indique comment s'améliorer peut influencer la motivation et l'engagement (Fong *et al.*, 2019; Hattie, 2009, 2017; Hattie et Timperley, 2007; Martin, 2016).

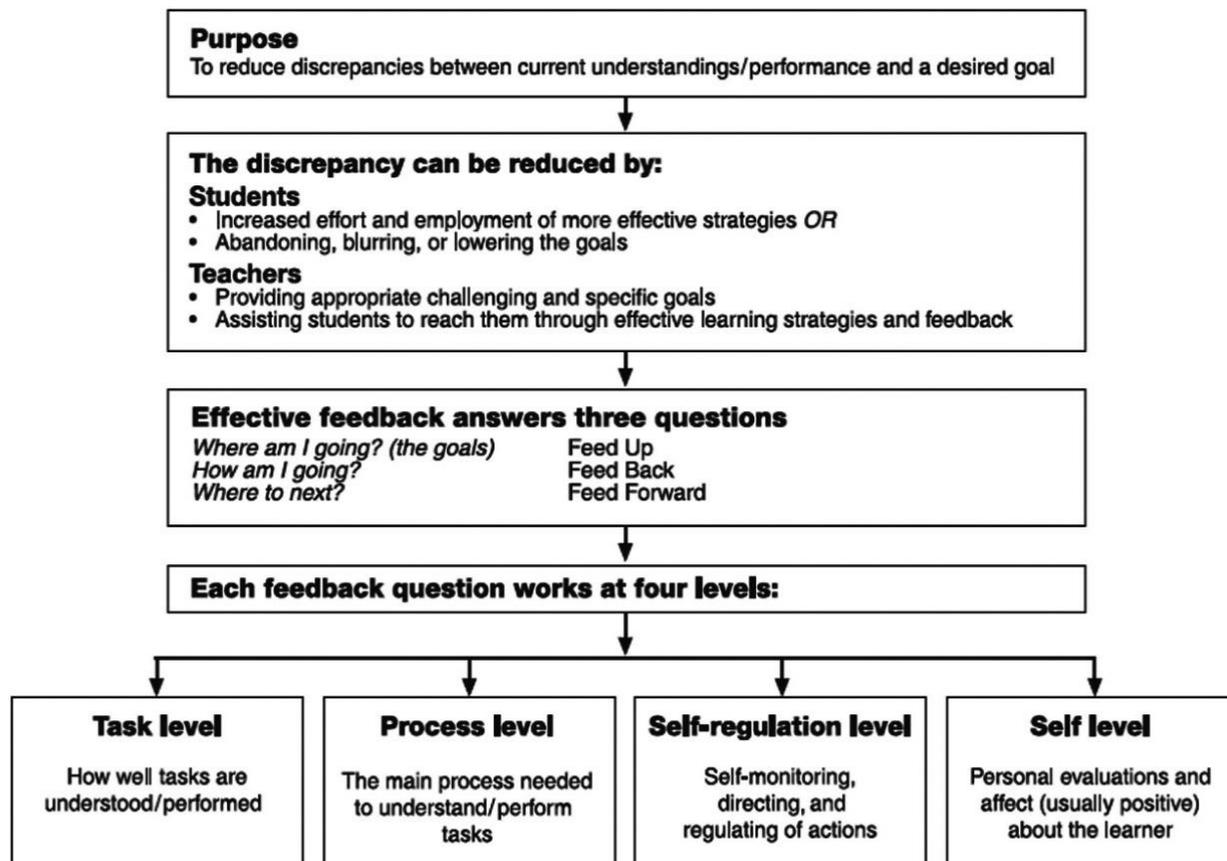
Une rétroaction qui valide les idées initiales d'un élève est une *confirmation*; c'est la *rétroaction positive*. À l'inverse, si par la rétroaction on corrige une hypothèse erronée ou si les informations données sont contraires aux attentes, on parle alors d'*infirmation*; c'est la *rétroaction négative*. Pour que la rétroaction soit efficace, il faut que l'apprenant accepte cette infirmation et choisisse de changer ses façons de faire.

Une méta-analyse (Fong *et al.*, 2019) a examiné l'effet de la rétroaction négative (le signalement d'une erreur, une correction d'un processus ou d'une réponse) sur la motivation. Même si elle est négative, ce type de rétroaction donne des informations sur le progrès réalisé et fournit des indications qui peuvent améliorer les performances futures. Les résultats indiquent que la rétroaction négative ne diminue donc pas la motivation des élèves si on la compare à l'absence de rétroaction puisqu'elle encourage la volonté de s'améliorer et de persévérer. Cependant, lorsqu'on compare la rétroaction négative à la rétroaction positive (une confirmation d'un processus adéquat ou d'une bonne réponse), cette dernière contribue davantage à la motivation intrinsèque. En effet, les critiques constructives et les rétroactions pédagogiques positives ont été jugées plus motivantes que les rétroactions négatives qui ne présentaient pas d'aspects informationnels.

2.4.1 Modèle de Hattie et Timperley : les niveaux de rétroaction

Il existe quatre types de rétroaction que Hattie et Timperley (2007) appellent *niveaux* : la rétroaction au niveau de la tâche, au niveau du processus, au niveau de l'autorégulation ou au niveau de la personne. La figure 2.1 présente le modèle de rétroaction conçu par ces chercheurs.

Figure 2.1 Modèle de rétroaction pour améliorer l'apprentissage



Note. Tiré de Hattie, J. et Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), p. 87.

La rétroaction au niveau de la tâche ou du produit est corrective. Elle indique par exemple si une réponse est correcte ou incorrecte. Elle est efficace lorsqu'elle est axée vers l'information, si elle favorise le développement de connaissances et si elle permet d'acquérir de nouveaux renseignements sur la tâche. Il convient d'être prudent avec ce type de rétroaction, car trop de commentaires donnés uniquement au niveau de la tâche peuvent encourager les élèves à se concentrer sur le résultat et non sur les stratégies pour l'atteindre.

Deuxièmement, la rétroaction peut être au niveau du processus. Ce type de rétroaction, qui vise plus particulièrement le traitement de l'information, permet de fournir des stratégies visant à déceler les erreurs ou apprendre de celles-ci. La rétroaction au niveau du processus est plus bénéfique lorsqu'elle aide les élèves à corriger leurs hypothèses erronées et fournit des indices sur la recherche de nouvelles

stratégies. Les efforts sont alors perçus comme favorables aux apprentissages, puisque les processus peuvent être modifiés. Ainsi, ce niveau de rétroaction peut améliorer la confiance de l'élève en sa capacité à accomplir une tâche.

Le troisième niveau de rétroaction vise l'autorégulation, c'est-à-dire la capacité de l'élève à s'autoévaluer. La rétroaction au niveau de l'autorégulation concerne la relation de l'élève avec ses objectifs d'apprentissage, par les actions qu'il entreprend. Selon Hattie (2017), elle peut permettre à l'élève de « rehausser sa confiance afin qu'il s'investisse davantage dans la tâche, l'aider dans la recherche et l'acceptation de la rétroaction, et susciter une volonté de faire des efforts nécessaires pour obtenir et utiliser la rétroaction. » (p. 172). Avec ce type de rétroaction, on encourage l'élève à devenir de plus en plus autonome dans ses apprentissages en développant une compétence en matière d'auto-évaluation et en favorisant une plus grande confiance et une meilleure perception de compétence.

Quatrièmement, la rétroaction peut être au niveau de la personne. Elle est malheureusement trop souvent sans rapport avec l'exécution de la tâche et souvent confondue avec les félicitations. Les félicitations sont souvent utilisées pour rassurer, mais elles détournent souvent l'attention de la tâche du processus ou de l'autorégulation, ce qui n'aide pas à avoir un meilleur rendement. La rétroaction au niveau de la personne peut se faire en soulignant les caractéristiques qui ont permis à l'élève de progresser : on peut par exemple renforcer les efforts, l'engagement ou l'attention portée à une tâche et ce renforcement est susceptible d'augmenter le sentiment d'efficacité des élèves.

Si la rétroaction est dirigée au bon niveau, elle peut aider les élèves à s'engager davantage dans leurs apprentissages. Pour être efficace, la rétroaction doit être précise, significative et compatible avec les connaissances antérieures des élèves. Elle doit également déclencher un traitement actif de l'information sans que la personne se sente menacée (Hattie, 2017).

Il a été démontré à de nombreuses reprises que l'effet de la rétroaction chez les élèves variait en fonction des niveaux et selon les types de rétroaction. Par exemple, Mueller et Dweck (1998) ont démontré que, chez des élèves de cinquième année, les félicitations portant sur l'intelligence (rétroaction au niveau de la personne) avaient des conséquences plus négatives sur la motivation et la réussite que lorsqu'elles félicitaient les participants pour leurs efforts. Les élèves félicités pour leur intelligence se préoccupaient davantage des objectifs de performance et voulaient connaître les résultats des autres plutôt que d'apprendre de nouvelles stratégies pour résoudre les problèmes et corriger leurs erreurs. Après l'échec,

ils ont également affiché moins de persévérance, se sont attribués une faible compétence et leur performance fut moins grande que celle des enfants dont la rétroaction concernait les efforts déployés pendant la tâche. À l'inverse, les élèves félicités pour leurs efforts rapportaient des buts de maîtrise des apprentissages et ont souhaité connaître des façons de s'améliorer.

Un autre exemple que les effets varient selon le niveau de rétroaction est démontré dans la recherche de Kamins et Dweck (1999) qui ont réalisé une étude avec de jeunes enfants d'âge préscolaire pour observer les effets d'une rétroaction axée sur la personne versus une rétroaction axée sur le processus. Les résultats démontrent que les rétroactions sur la personne, même positives (« je suis fier de toi », « tu es bon là-dedans ! »), peuvent créer une vulnérabilité et ont une influence sur l'estime de soi. En effet, ce niveau de rétroaction influencerait la perception qu'on les enfants d'eux-mêmes (« je suis bon quand je réussis; je ne le suis pas quand j'échoue ») et favoriserait un état d'esprit fixe. Au contraire, les enfants qui avaient reçu une rétroaction au niveau du processus (« ça ne semble pas être la bonne façon. Peux-tu trouver une nouvelle façon d'y arriver? » ou « tu as trouvé la bonne façon, penses-tu pouvoir en trouver d'autres qui fonctionnent? ») présentaient plus de persévérance, trouvaient des solutions, changeaient de stratégie et faisaient plus d'efforts lors des essais suivants. Cette recherche a aussi comparé les effets de rétroactions au niveau de la personne (« tu es une fille brillante » ou « tu es vraiment bon pour faire cela ») et celles centrées sur les efforts (« tu as vraiment travaillé fort »). L'effet de ces félicitations sur le rendement s'est avéré être nul ou négatif. Cette étude met en évidence qu'il est beaucoup plus profitable de donner des rétroactions au niveau du processus et non au niveau de la personne. Comme l'écrivait Hattie (2017) :

Lorsque la rétroaction est centrée sur la personne, l'élève s'efforce d'éviter les risques associés à l'exécution d'une tâche difficile - particulièrement s'il craint fortement l'échec (et souhaite donc réduire au minimum les risques pour lui). [...] L'idéal est donc que l'enseignement et l'apprentissage se détachent de la tâche et se concentrent davantage sur les processus ou les connaissances nécessaires pour accomplir celle-ci, et ensuite sur la régulation permettant de s'attaquer à d'autres tâches et objectifs plus difficiles. (p. 175)

Fait important, la rétroaction n'a pas le même effet chez les gens ayant un état d'esprit dynamique et chez ceux qui ont un état d'esprit fixe. Des recherches ont démontré que les personnes ayant un esprit fixe étaient intéressées uniquement quand la rétroaction concernait leur capacité, mais lorsqu'on leur communiquait des informations qui pouvaient les aider à apprendre, ils montraient moins de signes d'intérêt (Dweck, 2006, 2010; Mangels *et al.*, 2006). De plus, les gens présentant des caractéristiques d'un

état d'esprit fixe avaient moins tendance à vouloir corriger leurs erreurs à la suite d'une rétroaction (Mangels *et al.*, 2006; Moser *et al.*, 2011; Myers *et al.*, 2016; Schroder *et al.*, 2017).

2.4.2 Effets de la rétroaction sur le cerveau

Comme il a été mentionné précédemment, la rétroaction a des effets sur la réussite et la motivation des élèves. La recherche a également démontré que la rétroaction positive et la rétroaction négative provoquaient des effets différents sur le cerveau.

Un groupe de chercheurs (Monchi *et al.*, 2001) a voulu vérifier ce qui se passait au niveau cérébral lorsqu'un adulte recevait une rétroaction sur la tâche. Dans un appareil d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), les participants étaient soumis au test de classement des cartes du Wisconsin. Ce test consiste à faire des associations de cartes en fonction des formes, des couleurs ou du nombre d'éléments présents sur ceux-ci sans connaître la façon adéquate de les associer. Après chaque essai, on mentionne ensuite si l'association était bonne ou mauvaise. Pendant le test, on change la règle d'association et le participant doit trouver la nouvelle façon d'associer les cartes. On mesure le temps et le nombre d'essais qui ont été nécessaires pour appliquer la nouvelle règle d'association. Lors des tests, les participants à cette recherche ont montré une activité cérébrale différente lorsque la rétroaction était négative (lorsqu'on indiquait au participant qu'il avait fait une mauvaise association) versus positive (le participant avait la confirmation que sa réponse était bonne). Lors de la rétroaction négative, trois régions cérébrales ont notamment été identifiées : le cortex cingulaire antérieur (responsable de la détection d'un conflit d'information), le cortex préfrontal dorsolatéral et le cortex préfrontal ventrolatéral (associés au contrôle cognitif et à l'analyse de la situation). L'activation de ces régions du cerveau, provoquée par une rétroaction négative, signifie une propension à la détection des erreurs (lorsqu'il y a un conflit entre la prédiction et le résultat) et qu'une plus grande vigilance est démontrée lors de nouvelles tâches. La correction d'erreur serait donc favorisée par la rétroaction négative.

La rétroaction aurait aussi un effet sur le relâchement de la dopamine, un neurotransmetteur excitateur lié au plaisir, au système de récompense et à la motivation (Wilkinson *et al.*, 2014). Lorsqu'ils ont comparé l'activité cérébrale de gens recevant une rétroaction corrective (qui confirme ou infirme la réponse) à celle des participants qui ne recevaient aucune rétroaction, Wilkinson et ses collaborateurs ont remarqué une activité différente dans le striatum ventral droit : un plus grand relâchement de la dopamine chez les gens qui avaient eu une rétroaction que chez ceux qui n'avaient reçu aucune rétroaction. Lorsque la prédiction

était confirmée (rétroaction positive) et plus la quantité de réponses correctes était grande, plus grande était la sécrétion de dopamine. La rétroaction positive peut donc influencer notre état de plaisir et contribue à l'intérêt à effectuer une tâche. DePasque Swanson et Tricomi (2014) ont étudié l'effet de la rétroaction positive sur le cerveau d'adultes de 18 à 35 ans lorsque la tâche était présentée comme facile ou difficile. Lorsque les participants s'attendaient à une tâche difficile, ils manifestaient plus d'efforts et obtenaient des résultats plus élevés. Leurs résultats montrent que percevoir une tâche comme étant difficile permet une plus grande sécrétion de dopamine lorsque le participant reçoit ensuite une rétroaction positive. Avoir des attentes élevées ou affronter une tâche considérée comme difficile peut donc influencer les performances et l'effet de la rétroaction sur le striatum et sur le relâchement de dopamine dans le cerveau.

Qu'elle soit positive ou négative, la rétroaction est essentielle pour favoriser les apprentissages et elle est reconnue comme étant un facteur important pour la réussite des élèves. La rétroaction est utile pour plusieurs raisons : elle peut aider l'élève à développer ses connaissances, à se questionner, à se concentrer sur le processus ou les bonnes stratégies pour arriver à un résultat ou accomplir une tâche, à prendre conscience des notions moins bien comprises et à être plus motivé à apprendre, à comprendre et à corriger les erreurs commises (Hattie, 2017; Hattie et Timperley, 2007). La rétroaction négative permet une meilleure vigilance et une plus grande capacité face à la correction d'erreurs (Monchi *et al.*, 2001). La rétroaction positive stimule la production de dopamine, un neurotransmetteur lié au plaisir. La rétroaction positive influence donc notre sentiment de satisfaction, notre plaisir et contribue à la motivation et à l'intérêt à effectuer une tâche (DePasque Swanson et Tricomi, 2014; Wilkinson *et al.*, 2014). La réussite en elle-même une forme de rétroaction positive qui augmente la dopamine dans le cerveau et le sentiment de satisfaction, ce qui peut contribuer à la motivation scolaire.

Comme expliqué précédemment, la façon dont les gens réagissent après avoir reçu une rétroaction dépend de leur état d'esprit. L'état d'esprit dynamique, qui encourage la perception que les erreurs sont des occasions d'apprendre, favorise l'attention portée à la rétroaction et la capacité des individus à corriger les erreurs (Mangels *et al.*, 2006; Moser *et al.*, 2011; Myers *et al.*, 2016; Schroder *et al.*, 2017; Schroder *et al.*, 2014). Les personnes ayant un état d'esprit fixe peuvent considérer les rétroactions comme punitives si elles sentent que leur compétence est menacée (Bejjani *et al.*, 2019) et sont surtout intéressées par la rétroaction lorsqu'elle est axée sur leurs capacités plutôt que sur la correction d'une réponse (Dweck, 2006, 2010; Mangels *et al.*, 2006). Dans la présente étude, la tâche visant à vérifier la

correction d'erreurs (expliquée à la section 3.5.3) demandera au participant de porter attention à la rétroaction et de traiter l'information découlant de celle-ci afin de corriger ses erreurs pour ne plus les refaire. Selon leur état d'esprit, les participants devraient réagir différemment à la rétroaction.

Pour l'utilité de la présente recherche, le niveau de rétroaction sera centré sur le processus, car ce type de rétroaction permet de fournir des stratégies visant à déceler les erreurs et apprendre de celles-ci. Ce type de rétroaction concerne le traitement de l'information et les processus d'apprentissage nécessaires à la réalisation adéquate de la tâche. Lors de l'expérimentation, les élèves auront une rétroaction (positive ou négative) immédiate lorsqu'ils donneront une réponse, ainsi qu'une explication sur la démarche requise pour réussir la tâche lors d'une question ultérieure. Les processus et stratégies pouvant être modifiés, les efforts seront alors considérés comme favorables aux apprentissages et la rétroaction centrée sur le processus pourra améliorer la confiance de l'élève en sa capacité à accomplir une tâche et à surmonter ses difficultés. Offrir une rétroaction positive permettra de favoriser le relâchement de dopamine (sentiment de plaisir et de satisfaction) et permettra de renforcer les réseaux de neurones associés aux réponses correctes. La rétroaction négative devrait stimuler l'activation de mécanismes cérébraux de correction d'erreurs et améliorer la vigilance face aux erreurs et d'augmenter les efforts déployés pour les corriger. La présente recherche offrira donc ces deux types de rétroaction afin de maximiser les avantages de chacun. Cette recherche tentera de voir si la capacité des élèves à corriger leurs erreurs à la suite d'une rétroaction sera plus grande chez ceux qui auront reçu un enseignement du concept de neuroplasticité, puisqu'ils devraient avoir développé un état d'esprit plus dynamique. La nature des liens entre les différents concepts sera davantage explicitée dans la section suivante.

2.5 Recherches qui établissent des liens entre les concepts clés de cette étude

La recension des écrits a permis de constater que de nombreuses recherches font des liens entre les concepts expliqués préalablement. La section qui suit exposera une revue de littérature mettant ces concepts en relation.

2.5.1 Relation entre la neuroplasticité et l'état d'esprit

Comme il a été défini à la section 2.2.4, la neuroplasticité, ou plasticité cérébrale, est la capacité du cerveau à modifier ses connexions neuronales par l'apprentissage. Depuis que Donald Hebb, en 1949, a proposé que les neurones qui s'activent ensemble se connectent ensemble, de nombreuses études ont démontré que les connexions entre les neurones pouvaient se créer lors d'un nouvel apprentissage (synaptogénèse),

qu'il pouvait y avoir une élimination des connexions (élagage) ou une modification de l'efficacité des connexions à la hausse ou à la baisse. C'est donc un principe établi par le domaine des neurosciences que les mécanismes de la neuroplasticité sont associés aux apprentissages.

Plusieurs recherches ont démontré que le fait d'enseigner le concept de neuroplasticité aux élèves peut avoir un effet sur l'état d'esprit de ces derniers. Dommett et son équipe (2013) ont remarqué que l'enseignement du concept de neuroplasticité (donné pendant 4 périodes de 50 minutes) avait favorisé un état d'esprit dynamique chez les élèves. Les 383 participants étaient âgés de 11 ou 12 ans. L'état d'esprit n'avait pas changé tout de suite après l'intervention, mais lorsqu'il a été mesuré 8 mois après l'intervention, il avait évolué pour devenir plus dynamique et les effets étaient encore perceptibles 20 mois après l'intervention.

En 2015, Lanoë et ses collaborateurs ont démontré qu'enseigner comment le cerveau fonctionne et se développe augmente de façon significative l'état d'esprit dynamique chez les apprenants de 10 ans ($n = 33$). Leurs analyses ont d'ailleurs révélé une taille d'effet élevée ($d = 0,86$) de l'intervention expérimentale en comparaison avec le groupe contrôle. Cette étude précise que les effets de l'intervention n'apparaissent pas tout de suite après, mais lors du post-test un mois et demi après l'intervention. Comme dans la recherche de Dommett citée précédemment, on constate qu'il y a donc un délai pour observer une évolution des états d'esprit.

La recherche de Dekker et Jolles (2015) a permis d'observer que l'enseignement des processus cérébraux sous-jacents à l'apprentissage (3 cours de 45 minutes appelés « Brain and Learning ») au secondaire avait induit un état d'esprit dynamique chez les élèves (1241 participants au total), mesuré après l'intervention. Dans le groupe contrôle (sans intervention), 21% des élèves avaient un état d'esprit dynamique très prononcé, alors que pour ceux qui avaient reçu l'enseignement du concept de neuroplasticité, 29% des participants démontraient un fort état d'esprit dynamique.

Enfin, une équipe de recherche (DeBacker *et al.*, 2018) a constaté qu'expliquer aux élèves du secondaire que leur cerveau peut être travaillé comme un muscle (une intervention de 55 minutes) favorisait un état d'esprit dynamique. Un échantillon de 4200 élèves a pris part à l'intervention lors de la première année de l'étude et parmi ceux-ci, 242 ont refait l'expérimentation l'année suivante. Plusieurs fois pendant l'année, les chercheurs ont mesuré l'état d'esprit et les buts de maîtrise : l'intervention avait favorisé l'état d'esprit dynamique et les effets étaient encore perceptibles dix mois après l'intervention.

Toutes les recherches recensées jusqu'à présent qui étudient la relation entre l'enseignement du fonctionnement cérébral et l'état d'esprit arrivent aux mêmes conclusions : parler du fonctionnement du cerveau aux apprenants, en particulier du concept de neuroplasticité, favorise un état d'esprit dynamique. En accord avec les conclusions de ces recherches, nous croyons que si l'élève comprend ce qui se passe dans son cerveau lorsqu'il effectue un apprentissage, il verra l'utilité de la répétition et de la pratique qui lui permettent de consolider ses réseaux de neurones. Aussi, l'élève sera probablement plus vigilant face à ses erreurs, voudra les repérer et les corriger rapidement pour que son cerveau ne les « enregistre » pas. Il pourra considérer ses erreurs comme des occasions d'apprendre et non comme des obstacles. Sa perception de ses efforts, l'idée qu'il faut travailler pour réussir, sera favorisée par l'enseignement du concept de neuroplasticité qui responsabilisera l'élève de ses actions.

Bien que certaines recherches aient démontré qu'enseigner le fonctionnement du cerveau induit une conception dynamique de l'intelligence, elles ne sont pas nombreuses. De plus, les conclusions diffèrent lorsqu'est étudié l'impact sur la motivation, la persévérance et l'amélioration des résultats scolaires.

2.5.2 Relation entre l'état d'esprit et la réussite scolaire

Le modèle de Dweck amène l'idée que les élèves qui ont un état d'esprit dynamique font plus d'efforts, voient les erreurs comme des occasions d'apprendre et sont donc plus persévérants lorsqu'ils font face à des difficultés. Certaines recherches ont tenté de mettre en relation ces hypothèses afin de les valider.

Karlen et Hertel (2021) ont fait une revue de littérature pour avoir une vue d'ensemble des dernières recherches sur le modèle de Dweck. En résumé, les résultats démontrent que les états d'esprit ont le pouvoir d'influencer l'apprentissage dans différents contextes éducatifs. Avoir un état d'esprit dynamique influencerait la motivation, l'autorégulation et les efforts consacrés aux apprentissages et permettrait de mieux s'adapter à la suite d'une rétroaction négative.

Une équipe de recherche (Paunesku *et al.*, 2015) a organisé de brèves interventions en ligne axées sur l'esprit dynamique et a vérifié si cette intervention pouvait aider les élèves ($n = 1594$) à persister lorsqu'ils rencontraient des difficultés. Parmi les élèves risquant d'abandonner leurs études secondaires (un tiers de l'échantillon), chaque intervention a augmenté le taux de réussite des élèves dans les cours de base. Les auteurs suggèrent donc qu'une intervention peu coûteuse et accessible à tous via Internet pourrait aider à favoriser la persévérance et même réduire le décrochage scolaire.

La façon dont les étudiants universitaires à haut risque considèrent l'intelligence affecterait les efforts déployés et la persévérance scolaire (Sriram, 2010). Dans cette étude, les étudiants sont considérés à haut risque sur le plan académique lorsqu'ils sont admis dans une université malgré des résultats scolaires antérieurs inférieurs à ceux des étudiants généralement admis par l'établissement. Les étudiants ayant subi l'intervention encourageant le développement d'un état d'esprit dynamique ($n = 60$) ont déclaré avoir un niveau d'effort plus élevé que les étudiants du groupe témoin ($n = 45$). La persévérance serait donc plus grande lorsqu'on favorise le développement d'un état d'esprit dynamique. Toutefois, cette étude n'a pas remarqué d'amélioration au plan de la réussite scolaire.

Comme le mentionne Viau (1994), les stratégies d'autorégulation « sont des stratégies cognitives que l'élève utilise consciemment, systématiquement et constamment lorsqu'il assume la responsabilité de son apprentissage » (p. 83). Une équipe de chercheurs (Mrazek *et al.*, 2018) a mesuré l'impact d'une formation reliée à l'autorégulation et faisant la promotion d'un état d'esprit dynamique sur la persévérance ($n = 87$). Ils ont observé que les participants qui avaient reçu cette formation avaient une plus grande persévérance lorsqu'ils devaient résoudre des anagrammes impossibles. Les participants devaient former des mots en langue anglaise à partir de 5 lettres. Dans le prétest, une seule anagramme était impossible à résoudre. Dans le post-test, sur un total de 10 anagrammes, trois étaient impossibles à résoudre. Les participants avaient un temps illimité pour trouver les solutions des 10 anagrammes. La persévérance a été évaluée en comparant le temps moyen passé sur les anagrammes impossibles en post-test et le temps passé sur l'anagramme impossible du prétest. Les résultats montrent que les participants à qui on a induit un état d'esprit dynamique ont passé plus de temps ($M = 92,16$ s.) que ceux qui n'avaient pas reçu la formation ($M = 74,45$ s.). Les efforts déployés pour réussir une tâche difficile seraient donc encouragés par une intervention axée sur l'état d'esprit dynamique.

Il existe des preuves convaincantes que ce qu'un étudiant pense de son intelligence peut avoir un effet positif sur sa performance. Plusieurs recherches suggèrent que l'état d'esprit dynamique est un prédicteur de la réussite scolaire. Une recherche souvent citée, celle de Blackwell et son équipe (2007), a démontré que les élèves ayant une conception dynamique de l'intelligence étaient plus motivés et plus performants ($n = 373$ pour la première étude et $n = 99$ pour la deuxième étude). En effet, l'enseignement du concept de neuroplasticité et du concept d'état d'esprit dynamique à des élèves à risque de 12-13 ans, pendant huit cours de 55 minutes, a produit des effets positifs sur la motivation et a permis une augmentation de la performance des élèves lors de tâches mathématiques.

Le groupe de recherche de Lanoë *et al.* (2015) mentionné précédemment a également obtenu des résultats intéressants chez des élèves de 7 à 11 ans ($n = 67$) qui avaient eu un enseignement neuroéducatif (programme pédagogique expliquant le fonctionnement cérébral) de trois séances de 45 minutes. Cette intervention a permis aux élèves de développer un état d'esprit plus dynamique et d'obtenir de meilleurs résultats en lecture et en calcul.

D'autres chercheurs (Boaler *et al.*, 2018) ont induit un état d'esprit dynamique chez un millier d'élèves de 6^e à la 8^e année, en ciblant spécifiquement les croyances des élèves sur les mathématiques lors d'un cours en ligne, appelé « Massive, open, online course (MOOC) ». Cette intervention a permis aux étudiants qui croyaient que l'intelligence était stable (état d'esprit fixe) de modifier leur état d'esprit pour qu'il devienne dynamique. De plus, les étudiants ont obtenu de meilleurs résultats et ont rapporté une vision plus positive des mathématiques après l'intervention.

Dans l'étude de Aronson *et al.* (2002) réalisée avec 109 participants, un état d'esprit dynamique a été induit à des étudiants universitaires en les encourageant à considérer l'intelligence comme malléable. Cette intervention avait comme but de rendre les étudiants afro-américains moins vulnérables face aux impacts négatifs des stéréotypes et de les aider à maintenir leur engagement psychologique lors de leurs études. Les étudiants afro-américains encouragés à considérer l'intelligence comme malléable (et donc, développer un état d'esprit dynamique) ont affirmé avoir un plus grand engagement académique et ont obtenu des moyennes cumulatives plus élevées que ceux qui étaient dans le groupe contrôle.

Une importante recherche nationale réalisée aux États-Unis auprès de 12 490 élèves, la « National Study of Learning Mindsets » (Yeager *et al.*, 2019), a révélé qu'une intervention de moins d'une heure portant sur l'idée que les capacités intellectuelles peuvent être développées (induisant ainsi un état d'esprit dynamique) avait amélioré les notes des élèves moins performants ($n = 6320$). Sur la base de leurs résultats, les auteurs de cette étude proposent d'ailleurs d'ajouter ce type d'intervention parmi les outils en place pour limiter le décrochage scolaire et favoriser la persévérance.

Enfin, une recherche récente (Porter *et al.*, 2022) a testé les effets d'une intervention dispensée par des enseignants visant à induire un état d'esprit dynamique chez de jeunes adolescents de 6^e et 7^e année ($n = 1996$) et à créer un environnement de classe favorable à cette mentalité. Les résultats montrent que les étudiants du groupe expérimental avaient un état d'esprit plus dynamique que ceux du groupe contrôle à la suite de l'intervention. L'intervention a aussi amélioré les notes des élèves en difficulté de 0,27 écart-

type, soit 2,81 points de pourcentage. Les effets étaient plus importants chez les élèves dont les enseignants avaient des mentalités fixes avant l'intervention et qui avaient changé d'état d'esprit au cours de la recherche.

Plusieurs recherches arrivent à une relation positive entre l'état d'esprit dynamique, la motivation et les résultats scolaires. Cependant, certaines études ne sont pas arrivées aux mêmes conclusions. Une méta-analyse (Sisk *et al.*, 2018) de 29 études dans lesquelles les interventions étaient conçues pour renforcer l'esprit dynamique des élèves a démontré un lien très faible entre la réussite scolaire et l'état d'esprit. En effet, les chercheurs ont calculé une ampleur moyenne de l'effet de 0,08. Toutefois, certains détails méthodologiques peuvent expliquer la différence entre ces résultats et ceux recueillis dans d'autres recherches portant sur le même sujet. Dans un souci de prendre en considération le plus de recherches possible, l'équipe de Sisk a demandé à tous les chercheurs qui travaillaient sur ce sujet de transmettre leurs résultats. Or, 42% des données analysées provenaient de données non publiées. Sachant que les revues scientifiques ont tendance à ne publier que les recherches dont les résultats sont significatifs et à rejeter les autres, inclure les recherches non publiées dans une méta-analyse peut réduire les biais de publication. Cependant, les recherches non publiées n'ont pas été soumises à un comité d'experts qui aurait pu s'assurer de la rigueur méthodologique et de la fiabilité des données. Prendre en compte les études non publiées et donc non révisées soulève ainsi des questions sur la qualité des données. Dans cette méta-analyse, une grande proportion des données plus négatives sont d'ailleurs celles qui n'ont pas été publiées, ce qui pourrait expliquer que l'ampleur moyenne de l'efficacité des interventions visant à développer l'état d'esprit dynamique et favorisant la réussite est très faible. De plus, les données réduisant le plus l'ampleur moyenne de l'effet provenaient d'une seule étude (Dommett *et al.*, 2013). Cette recherche a pu démontrer l'effet de l'enseignement de la neuroplasticité sur l'état d'esprit dynamique, mais pas sur les résultats scolaires. Les auteurs de cette recherche expliquent que la différence de leurs résultats par rapport à d'autres études pourrait être due à plusieurs facteurs, comme les particularités de l'intervention ou les différences dans l'échantillonnage (étudiants à risque vs étudiants non à risque). En effet, l'intervention avait une durée d'une heure seulement, ce qui est très court pour observer une amélioration des résultats scolaires. De plus, cette recherche comparait deux interventions susceptibles d'influencer positivement l'état d'esprit dynamique et les résultats scolaires : un premier groupe recevait un enseignement sur la neuroplasticité et le second groupe apprenait des stratégies d'étude qui favorisent les apprentissages. Or, le groupe recevant un enseignement des méthodes d'étude efficaces a certainement profité des effets bénéfiques de l'intervention favorisant la réussite académique. Ce groupe

contrôle était aussi vraiment plus faible au départ; les participants avaient donc une plus grande marge pour pouvoir s'améliorer (le groupe expérimental n'a pas beaucoup progressé, mais était déjà plus fort au départ; il est alors plus difficile de voir une évolution de la réussite de ces élèves). Aussi, il est possible que les participants de ce groupe aient pu développer un état d'esprit dynamique, puisque connaître les stratégies d'étude efficaces mène certainement à croire que l'on peut s'améliorer en utilisant des stratégies d'apprentissage efficaces. Il est donc délicat d'affirmer que l'enseignement du concept de neuroplasticité n'améliore pas les résultats scolaires lorsqu'on le compare à un autre enseignement qui est déjà reconnu pour améliorer les résultats et favoriser la réussite. Malgré le faible effet obtenu de l'état d'esprit dynamique sur les résultats scolaires, la méta-analyse de Sisk et collaborateurs soutient les affirmations selon lesquelles les étudiants à risque (qui ont un faible rendement scolaire ou provenant d'un milieu socio-économique défavorisé) bénéficieraient davantage des interventions axées sur l'état d'esprit dynamique.

L'étude de Sriram (2010), mentionnée précédemment, avait observé que la persévérance était favorisée par un état d'esprit dynamique. De plus, cette recherche a également tenté de vérifier si l'induction d'un état d'esprit dynamique avait un impact sur la réussite scolaire chez les étudiants à risque, mais les résultats n'ont pas corroboré cette idée. Toutefois, ces résultats peuvent être expliqués par un biais méthodologique semblable à celui de la recherche de Dommett *et al.* (2013) mentionnée précédemment : une similarité entre l'intervention du groupe contrôle et celle vécue par le groupe expérimental. En effet, alors que le groupe expérimental étudiait la possibilité de modifier ses connexions neuronales lors d'un apprentissage (induisant ainsi un état d'esprit dynamique), le groupe contrôle avait reçu l'enseignement de stratégies d'études efficaces, ce qui a certainement pu influencer positivement la réussite scolaire, mais également pu induire un état d'esprit dynamique. De plus, les chercheurs suggèrent qu'une intervention plus longue que celle qui a été faite dans cette étude (4 périodes de 15 minutes) pourrait produire des résultats plus significatifs.

Une autre étude n'a pas procuré d'effet sur la réussite après une intervention visant à favoriser un état d'esprit dynamique. Réalisée par Foliano et son équipe (2019), cette recherche, qui avait un échantillon important de 5018 élèves, n'a pas mené à des progrès au niveau de la littératie ou de la numératie après l'intervention visant à induire un état d'esprit dynamique. Cependant, on explique ces résultats par l'hypothèse que la majorité des enseignants induisaient déjà un tel état d'esprit avant la recherche. En effet, le tiers des enseignants des classes qui n'ont pas participé au programme *Changing Mindset* a

déclaré avoir suivi des journées de formation basées sur les idées de Dweck et ses *Théories implicites de l'intelligence*; on peut donc supposer qu'ils mettaient déjà en place des mesures pour favoriser l'état d'esprit dynamique. Un autre facteur qui pourrait expliquer pourquoi l'intervention de cette recherche n'a pas amélioré la réussite des élèves a été soulevé dans la recherche de Porter *et al.* (2022); on y mentionne que les enseignants ont suivi une formation et ont eu un guide pédagogique pour effectuer l'intervention sur l'état d'esprit dynamique, mais que ceux-ci n'ont pas eu de soutien continu pendant l'étude. Il est donc possible que ces derniers aient dérivé par inadvertance de l'état d'esprit dynamique dans leurs actions et paroles et que cela a eu comme conséquence d'affaiblir les effets de l'intervention.

Enfin, une méta-analyse (Sarrasin *et al.*, 2018) s'est basée uniquement sur des données publiées dans les revues scientifiques, contrairement à la méta-analyse citée précédemment (Sisk *et al.*, 2018), et inclut elle aussi la recherche de Dommett *et al.* (2013) qui diminuait grandement la taille de l'effet. Malgré cela, l'ampleur de l'effet qui a été calculée est de 0,4 (voir le tableau 2.2).

Tableau 2.2 Ampleur de l'effet (*d* de Cohen) de l'enseignement de la neuroplasticité

	Tous les élèves	Élèves à risque	Autres élèves
Motivation et réussite	0,40	0,44	0,31
Motivation	0,37	0,55	0,19
Réussite	0,34	0,39	0,28

Note. Données provenant de la méta-analyse de Sarrasin *et al.* (2018)

Cette recherche amène également une distinction intéressante en analysant de façon séparée les résultats chez les élèves à risque et ceux qui ne le sont pas. Les élèves considérés à risque avaient un statut socio-économique faible (Good *et al.*, 2003), une appartenance à une minorité visible (Aronson *et al.*, 2002) ou vivant la transition entre le primaire et le secondaire (Blackwell *et al.*, 2007). Cette étude arrive aux conclusions suivantes :

Results show that inducing a growth mindset by teaching neuroplasticity has an overall positive effect on motivation, achievement, and brain activity. The results also reveal that this intervention seems more beneficial for at-risk students, especially regarding mathematics achievement. (p. 22)

En faisant une intervention, soit l'enseignement du concept de neuroplasticité, qui est destinée à tous les élèves, il est plausible que l'effet de cette intervention ne soit pas le même chez tous les élèves. À la lumière des résultats obtenus dans les recherches citées ci-dessus, il est possible de croire que les effets seront plus grands chez les élèves à risque. En effet, les élèves à risque d'échouer ou plus faibles académiquement semblent davantage tirer profit de ce type d'intervention probablement par le fait qu'ils semblent souvent présenter initialement des traits d'un état d'esprit plus fixe que les autres élèves (Issaieva, 2013). Aussi, chez les élèves qui réussissent déjà bien, une amélioration est plus difficile à percevoir; les résultats scolaires des élèves plus performants étant plus élevés, l'effet de l'intervention peut être moins perceptible.

Les recherches qui étudient les impacts de l'état d'esprit dynamique sur la motivation et la réussite scolaire sont nombreuses. Plusieurs recherches arrivent à des conclusions positives. Toutefois, il existe aussi un certain nombre de recherches qui n'arrivent pas aux mêmes conclusions, ce qui crée des controverses dans le milieu scientifique. Yeager et Dweck (2020) ont voulu répondre aux chercheurs qui mettaient en doute leurs résultats en publiant une analyse de ces articles. Après ces analyses, ils maintiennent la conclusion selon laquelle les effets de l'état d'esprit dynamique sont reproductibles, significatifs et théoriquement fondés. Puisqu'il n'existe pas de consensus lorsque sont étudiés les effets d'un état d'esprit sur la réussite, la persévérance et la motivation, la présente recherche apparaît donc comme importante pour l'avancée des connaissances et la pertinence scientifique.

2.5.3 Mécanismes neurocognitifs expliquant l'influence de l'état d'esprit sur la réussite scolaire : correction d'erreurs et rétroaction

Il existe pour l'instant peu de recherches ayant examiné les mécanismes neurocognitifs relatifs aux différents états d'esprit. Il est toutefois intéressant de constater que toutes les recherches effectuées jusqu'à ce jour ont démontré que l'activité cérébrale des participants différait selon les différents états d'esprit.

S'inspirant des problèmes mathématiques induisant l'état d'esprit dynamique (*Mathematical mindset*) de Boaler (2018) (voir la section 2.5.2), le groupe de recherche de Daly et ses collaborateurs (2019) a voulu vérifier si la motivation provoquée par la participation à ce cours en ligne était perceptible chez les étudiants universitaires ($n = 23$) à l'aide de l'imagerie cérébrale (l'électroencéphalographie). Ils ont constaté que ces élèves étaient plus engagés et motivés lors de l'apprentissage en contexte de résolution de problèmes lorsque ceux-ci étaient formulés de façon à encourager un état d'esprit dynamique que

lorsque les problèmes étaient formulés d'une façon plus traditionnelle. L'imagerie cérébrale a permis d'observer une plus grande activité dans l'hémisphère préfrontal gauche, qui est lié à une plus grande motivation.

Certaines études utilisant la neuroimagerie ont pu montrer une relation entre l'état d'esprit dynamique et l'activation du cerveau dans des régions reliées à la correction d'erreurs : le cortex cingulaire antérieur et le cortex préfrontal dorso-latéral. Il a été démontré que la lecture d'un texte expliquant que l'intelligence se développe avec les efforts et les apprentissages a des effets sur l'induction d'un état d'esprit dynamique et sur la capacité à corriger les erreurs effectuées à la suite d'une rétroaction (Schroder *et al.*, 2014). En effet, cette équipe de recherche a démontré, à l'aide de l'électroencéphalographie, que l'activité cérébrale était différente selon l'état d'esprit. Les participants adultes qui avaient lu un texte sur la neuroplasticité ($n = 22$) proposant l'idée que le cerveau peut se développer comme un muscle avaient une plus grande attention lors de la tâche (Flanker) et cette induction d'un esprit dynamique a permis une meilleure correction d'erreurs à la suite d'une rétroaction. Les participants de l'autre groupe d'intervention ($n = 22$), qui avaient lu un texte suggérant que l'intelligence est déterminée par les gènes et impossible à changer (favorisant un état d'esprit fixe), accordaient plus d'attention aux réponses (aux résultats) qu'à la rétroaction expliquant le processus menant à la bonne réponse; cette attention n'était pas liée à des comportements voulant améliorer la performance. Ces résultats suggèrent que l'état d'esprit influence le contrôle cognitif.

Une recherche s'est intéressée aux effets de la rétroaction négative sur l'activité cérébrale en fonction des états d'esprit (Bejjani *et al.*, 2019). Leur hypothèse était que si la compétence des gens était menacée, ceux-ci développeraient un état d'esprit fixe et la rétroaction négative serait considérée comme étant plus punitive que formative, ce qui pourrait les empêcher de tirer un bénéfice de la rétroaction. Pour provoquer cette menace de l'ego, les chercheurs ont fait passer un faux test d'intelligence aux 40 participants avant l'expérimentation. Les participants n'obtenaient par la suite aucun résultat ou un faible résultat. Ceux qui avaient un faible résultat et qui avaient développé un état d'esprit fixe ont vécu une menace par rapport à leur compétence et cela a entraîné un apprentissage moindre lorsqu'ils recevaient une rétroaction négative. Les gens ayant un état d'esprit dynamique avaient une plus grande activité dans le striatum (région liée aux récompenses et au plaisir) que les gens ayant un état d'esprit fixe. La rétroaction en cours de tâche demande une attention accrue et les gens ayant un état d'esprit fixe étaient distraits, car ils étaient préoccupés par leurs performances à la suite du test de QI. Les personnes ayant un état d'esprit

dynamique, dont les buts d'apprentissages sont orientés vers la maîtrise et non la performance, ont activé davantage des régions comme le cortex cingulaire antérieur et le cortex préfrontal dorsolatéral pour ensuite corriger leurs signaux de renforcement striataux. L'état d'esprit influence donc la réponse à la rétroaction négative.

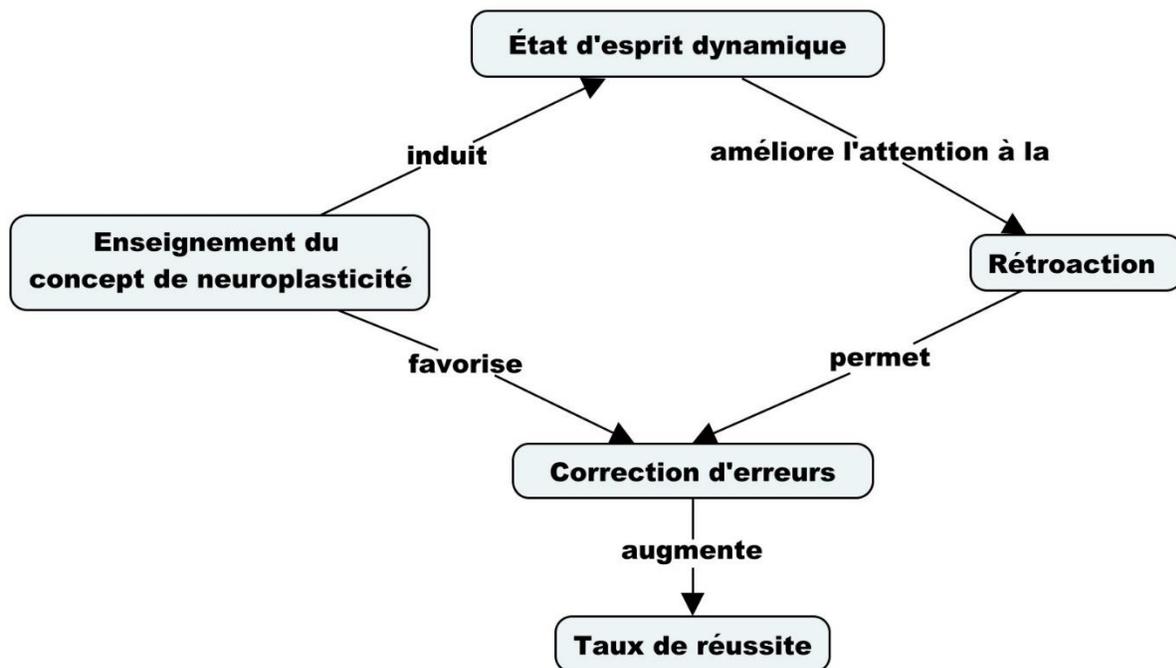
Mangels et ses collaborateurs (2006) ont mesuré l'activité cérébrale de 535 adultes lors d'un test de connaissances générales difficile à l'aide de l'électroencéphalographie. Les participants recevaient une rétroaction positive ou négative à chaque réponse et ont ensuite été soumis de nouveau à un test surprise portant sur leurs réponses incorrectes. Cette recherche a démontré que les personnes ayant un état d'esprit fixe avaient moins d'activité cérébrale après une rétroaction négative, donc une moins grande tendance à vouloir corriger leurs erreurs. En effet, ils ont mis l'accent sur le traitement de la réponse plutôt que sur la tâche elle-même. Les chercheurs considèrent que leur réaction à la rétroaction négative était positivement corrélée avec le désir de prouver leur capacité aux autres, ce qui démontre que ces personnes ont des objectifs de performance. À l'inverse, les individus qui ont un état d'esprit dynamique ont alloué plus de ressources attentionnelles lors de la correction d'erreurs à la suite d'une rétroaction négative et étaient plus susceptibles de corriger leurs erreurs lors d'un autre test surprise. Les résultats suggèrent donc que les gens ayant un état d'esprit dynamique ont plus tendance à choisir des tâches qui présentent de réels défis, car ils ont des objectifs d'apprentissage, visant à s'améliorer et à apprendre de leurs erreurs. Quelques années plus tard, Moser et son équipe (2011) ont eux aussi fait le lien entre les Théories implicites de l'intelligence de Dweck et la correction d'erreurs chez une clientèle adulte ($n = 25$). Leurs résultats suggèrent que les mécanismes neuronaux associés à l'attention portée aux erreurs sont liés à un état d'esprit dynamique. En démontrant une plus grande précision dans leurs corrections d'erreurs lors d'une tâche (Flanker) et en adoptant des stratégies positives menant à une plus grande réussite, l'état d'esprit prédit l'amélioration des performances ultérieures. Puisque les recherches n'avaient été effectuées qu'avec des participants adultes, Schroder et ses collaborateurs (2017) ont voulu reproduire l'expérimentation avec 123 enfants de 6 à 8 ans. Leurs conclusions arrivent aux mêmes résultats : l'état d'esprit dynamique augmente l'attention portée aux erreurs et la précision lors de la correction d'erreurs également chez les jeunes enfants.

Une autre étude faite auprès de 20 enfants de onze ans a été réalisée (Myers *et al.*, 2016), cette fois-ci à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), afin de comprendre les mécanismes cérébraux liés aux différents états d'esprit. Cette recherche a examiné si le *GRIT* (défini comme la

persévérance à long terme dans l'accomplissement d'un objectif) et l'état d'esprit dynamique avaient un effet sur la connectivité entre des régions impliquées dans la persévérance et celles associées à l'attention portée aux erreurs. Les résultats démontrent qu'avoir un état d'esprit dynamique renforcerait les connexions entre le striatum (région associée à la persévérance et à la motivation), le cortex cingulaire antérieur et le cortex préfrontal dorsolatéral (régions sollicitées lors de la correction d'erreurs). Selon les auteurs, les réseaux de neurones liés à un état d'esprit dynamique comprennent ceux impliqués dans les stratégies de régulation et lors de la surveillance des erreurs.

Somme toute, la recension des écrits impliquant les liens entre les différents états d'esprit, l'activité cérébrale et la correction d'erreurs arrive à des résultats similaires. Il est donc possible de considérer que l'enseignement du concept de neuroplasticité favorisera un état d'esprit dynamique et une meilleure attention portée à la rétroaction, ce qui mènera à une meilleure correction d'erreurs. Ainsi, la performance ultérieure des élèves du groupe expérimental sera favorisée. La figure 2.2 illustre les liens entre les concepts.

Figure 2.2 Relations entre les concepts de la recherche



2.6 Hypothèses de recherche

Comme il a été mentionné dans le premier chapitre, les erreurs que font les élèves sont souvent perçues comme le signe d'une faiblesse ou d'un manque d'habileté et cette vision de l'erreur a un impact sur la motivation, l'engagement et la persévérance. Il importe que les élèves adoptent une perception de l'erreur positive, afin de la voir comme faisant partie intégrante du processus d'apprentissage. En effet, si l'état d'esprit est en accord avec ce principe, les répercussions sont nombreuses sur la réussite scolaire.

L'hypothèse centrale de cette recherche est que l'enseignement du concept de neuroplasticité (la capacité du cerveau à modifier ses connexions neuronales par l'apprentissage) favorisera la capacité à corriger les erreurs et conséquemment, la réussite. Effectivement, de savoir que ses connexions neuronales peuvent être modifiées lors d'un apprentissage permet à l'apprenant de se responsabiliser, de s'engager activement et d'appliquer des principes qui favorisent l'établissement de connexions adéquates. La neuroplasticité explique l'importance de la répétition et de la pratique, qui permettent d'automatiser certaines notions pour réduire la charge cognitive d'apprentissages complexes. La neuroplasticité explique également qu'une erreur doit être corrigée le plus tôt possible, afin que les réseaux de neurones associés à cette erreur ne soient pas consolidés. Lorsqu'elles sont corrigées à l'aide d'une rétroaction, les erreurs nous permettent de nous améliorer en changeant de stratégie. La persévérance est alors encouragée et les efforts sont récompensés, car les performances ultérieures se verront améliorées.

Il est possible d'induire un état d'esprit dynamique à l'aide d'interventions ciblées. Les recherches recensées arrivent aux mêmes conclusions : enseigner le fonctionnement cérébral, plus précisément le concept de neuroplasticité, permet de développer un état d'esprit dynamique. Toutefois, les recherches qui ont étudié cette relation ne sont pas nombreuses; la présente recherche pourra donc contribuer au développement des connaissances en validant cette relation. Certaines études ont démontré que les gens ayant un état d'esprit dynamique sont plus persévérants et se découragent moins facilement lorsqu'ils font face à des difficultés. Lorsqu'on analyse le lien entre l'état d'esprit et la correction d'erreurs, les recherches recensées sont unanimes : un état d'esprit dynamique favorise une plus grande attention lors de la tâche, une plus grande vigilance face aux erreurs possibles et une plus grande volonté de se corriger à la suite d'une rétroaction. La rétroaction est d'ailleurs l'un des principaux facteurs qui influencent le rendement scolaire des élèves. Aussi, l'état d'esprit dynamique influence positivement l'attention portée à la rétroaction. La rétroaction négative est reconnue pour stimuler l'activation de mécanismes cérébraux de correction d'erreurs et est importante pour améliorer la vigilance face aux erreurs et augmenter les

efforts déployés pour les corriger. La rétroaction positive favorise le relâchement de dopamine et influence le plaisir et la motivation et permet de renforcer les réseaux de neurones associés à la bonne réponse. La présente recherche offrira donc des rétroactions positives et négatives afin de maximiser les avantages de chacun. Cependant, certaines études ne sont pas arrivées aux mêmes conclusions lorsqu’était étudiée la relation entre l’état d’esprit et la réussite scolaire; il existe donc certaines controverses liées à cette théorie. La présente recherche tentera donc de vérifier s’il est possible d’influencer la réussite en induisant un état d’esprit dynamique grâce à l’enseignement du concept de neuroplasticité.

Il existe un vide dans les connaissances scientifiques que la présente recherche tentera de combler. En plus de vérifier si l’état d’esprit influence réellement la réussite, cette recherche tentera d’étudier pour une première fois (à notre connaissance) le lien entre l’enseignement du concept de neuroplasticité et la capacité à corriger des erreurs à la suite de rétroactions dans un contexte scolaire chez des élèves du primaire. En effet, aucune recherche recensée ne permet pour l’instant d’établir cette relation. De plus, l’influence de l’état d’esprit dynamique sur la capacité à corriger les erreurs commises lors d’apprentissages complexes n’a pas encore été étudiée dans le milieu naturel de l’élève : la salle de classe. En effet, la correction d’erreur n’a été observée qu’en laboratoire, souvent avec des tâches décontextualisées qui ne sont pas des apprentissages scolaires prescrits par un programme de formation (dans le cas qui nous concerne : le Programme de Formation de l’École Québécoise). Il est donc primordial d’approfondir les connaissances sur l’efficacité de l’enseignement de la neuroplasticité en classe primaire et ses impacts sur l’induction d’un état d’esprit dynamique et sur la correction d’erreur dans des tâches scolaires.

À la suite de l’élaboration du cadre théorique, voici les hypothèses de recherche :

- 1) L’enseignement du concept de neuroplasticité en classe induit un état d’esprit plus dynamique. Après l’intervention, il devrait donc y avoir plus d’élèves ayant un état d’esprit dynamique dans le groupe expérimental que dans le groupe contrôle.
- 2) Les élèves qui auront profité de l’intervention démontreront une meilleure capacité à corriger leurs erreurs à la suite de rétroactions dans un contexte scolaire. Conséquemment, ils s’amélioreront davantage en cours de tâche que les élèves du groupe contrôle, feront globalement moins d’erreurs et obtiendront donc un meilleur taux de réussite.

- 3) Les élèves ayant reçu l'enseignement du concept de neuroplasticité et ayant développé un état d'esprit plus dynamique seront plus attentifs à la rétroaction négative, démontrant une volonté de s'améliorer lors des questions subséquentes. Les élèves du groupe expérimental devraient donc prendre plus de temps à lire la rétroaction après avoir fait une erreur que les élèves du groupe contrôle.

Si nos résultats confirment nos hypothèses, la présente recherche pourra certainement contribuer au développement des sciences de l'éducation. Cette recherche tentera de vérifier si l'enseignement du concept de neuroplasticité peut être profitable pour favoriser les apprentissages. Cette étude permettra également de mieux comprendre pourquoi l'état d'esprit dynamique peut favoriser la réussite en examinant le rôle de l'état d'esprit sur la correction d'erreur à la suite d'une rétroaction dans le contexte d'une tâche scolaire.

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE

Cette recherche a comme objectif de vérifier si une intervention basée sur le concept de neuroplasticité peut avoir des effets sur l'état d'esprit des élèves du primaire et sur leur capacité à corriger leurs erreurs à la suite d'une rétroaction. Plus précisément, cette étude vise à vérifier si l'enseignement du fonctionnement cérébral induit un état d'esprit dynamique et si les élèves qui auront vécu l'intervention auront un meilleur taux de réussite dans une tâche grammaticale comportant des homophones. Ce chapitre vise à présenter le devis méthodologique qui soutiendra cette recherche. Afin de répondre à l'objectif de recherche, une approche quantitative a été choisie. Ce choix sera expliqué dans la première partie de ce chapitre. Dans un deuxième temps, une description générale des participants et les modalités de recrutement seront exposées afin de justifier l'échantillonnage adéquat à cette recherche. Par la suite, les interventions effectuées pour chacun des groupes (expérimental et contrôle) seront présentées. Pour continuer, les outils pour la collecte de données seront décrits : la tâche diagnostique pour vérifier l'équivalence des groupes, le choix du questionnaire pour évaluer l'état d'esprit des élèves après l'intervention et la tâche permettant de vérifier la capacité à corriger les erreurs à la suite d'une rétroaction. Le déroulement de l'expérimentation sera ensuite exposé en précisant la procédure utilisée pour la formation des groupes et les conditions de réalisation des différentes étapes de l'expérimentation. Pour conclure ce chapitre, les méthodes d'analyses des données seront décrites et, finalement, les considérations éthiques seront abordées.

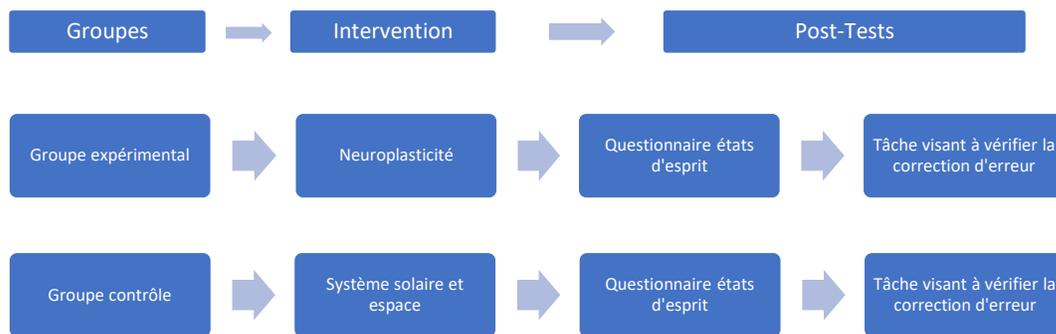
3.1 Approche de recherche

Le but de cette recherche est de vérifier si l'enseignement du concept de neuroplasticité peut influencer l'état d'esprit des élèves et leur capacité à corriger des erreurs à la suite de rétroactions. Une approche quantitative avec intervention a été choisie pour cette étude afin d'évaluer la relation de causalité entre des variables. La variable indépendante, l'intervention, est introduite par le chercheur et celui-ci observe les conséquences de cette intervention sur les variables dépendantes. Il est alors possible de tirer des conclusions sur la relation de cause à effet entre les variables (Fortin et Gagnon, 2016).

Le devis de cette recherche est de type quasi expérimental puisque la répartition des élèves entre les deux groupes ne s'est pas faite à l'aide d'une randomisation aléatoire absolue. En effet, comme il sera expliqué à la section 3.3, la formation des groupes contrôle et expérimental ne pouvait se faire avec un essai

contrôlé randomisé à cause des mesures sanitaires liées à la pandémie de COVID-19 appliquées dans les écoles. Toutefois, la répartition des interventions en fonction des classes s’est faite de façon aléatoire. Même si ce type de devis amène quelques limitations, le devis quasi expérimental permet de s'adapter aux limitations des environnements souvent difficiles, peu pratiques ou contraires à l'éthique (Fortin et Gagnon, 2016; Portney, 2020). La figure 3.1 illustre le devis de cette recherche.

Figure 3.1 Schéma du devis de recherche



3.2 Participants

Cette section présente les modalités de recrutement et la taille de l'échantillon calculée à l'aide d'une analyse de puissance statistique ainsi que les caractéristiques générales des participants.

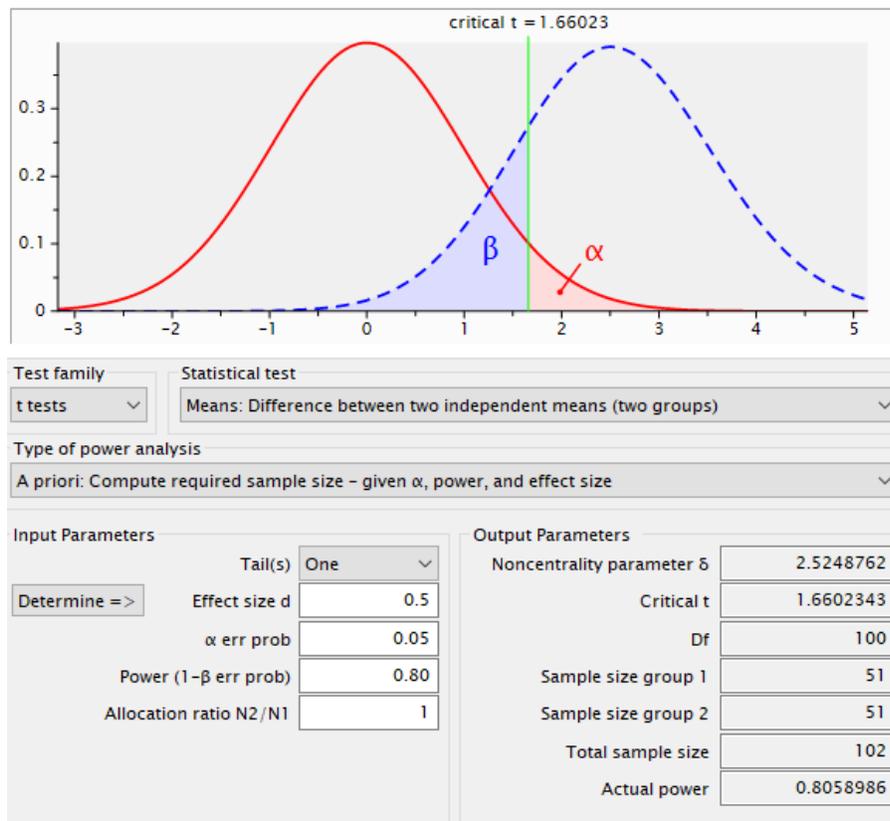
3.2.1 Échantillonnage et modalités de recrutement

Pour cette étude, les participants ont été sélectionnés sur la base des caractéristiques de la population cible. Afin de s’assurer que le nombre de participants était suffisant pour effectuer les analyses, la taille de l'échantillon a été calculée a priori à partir d'une analyse de puissance statistique à l'aide du logiciel G*Power (Faul *et al.*, 2009). « Par cette analyse, le chercheur vise à établir la combinaison optimale entre les quatre composantes que sont la puissance statistique, le seuil de signification, la taille de l'échantillon et la taille de l'effet à détecter » (Yergeau, 2009). Ne connaissant pas à l'avance la taille de l'effet, elle a été fixée à 0,5, un effet légèrement supérieur à un gain moyen. En effet, selon Hattie (2017), pour déclarer qu'une intervention en éducation fonctionne bien, « elle doit permettre une amélioration de rendement des élèves au moins équivalente au gain moyen – c'est-à-dire qu'elle doit avoir une taille d'effet minimale de $d = 0,40$ » (p. 5). Un effet moyen de 0,5 est donc perçu comme propice à la réalisation de progrès (voir la section 3.7). Aussi, certaines recherches qui ont étudié l'effet de l'enseignement du concept de

neuroplasticité sur la motivation et sur la réussite ont observé des tailles d'effet plus importantes que celle qui est visée par la présente recherche. Par exemple, les tailles d'effet de Lanoë *et al.* (2015) sont de 0,92 en lecture et de 0,76 en mathématiques, alors que celle de Blackwell *et al.* (2007) est de 0,62 en mathématiques. Enfin, une méta-analyse (Sarrasin *et al.*, 2018) a trouvé que la taille d'effet moyenne de toutes les recherches recensées était de 0,4 (pour la motivation et la réussite académique). Il était donc raisonnable de viser la détection d'un effet de taille moyenne, soit de 0,5.

La figure 3.2 présente les résultats de l'analyse de puissance statistique. Pour viser une taille d'effet de $d = 0,5$, un seuil de significativité de 0,05 et une puissance statistique de 80 % dans une analyse visant à comparer des moyennes (test t à échantillons indépendants), un échantillon de 102 participants à cette recherche était nécessaire pour que nos résultats soient statistiquement valables.

Figure 3.2 Analyse de puissance statistique avec le logiciel G*Power



Les interventions se déroulant en classe dans le milieu naturel de l'élève, il importait que la cueillette de données ne présente pas trop d'obstacles à sa concrétisation. Solliciter des sujets dans plusieurs écoles impliquait de couvrir un large territoire et amenait des contraintes de déplacements et d'horaires. Un échantillon de convenance non probabiliste a donc été choisi pour cette étude, car un nombre important de participants potentiels dans un même milieu est un aspect facilitant pour la cueillette des données. Le fait que les élèves proviennent d'une seule école constitue une limite qui sera discutée dans le chapitre sur l'interprétation des résultats.

Les participants à cette étude provenaient d'une école publique qui accueille un nombre important d'élèves (640 élèves alors que la moyenne montréalaise est de 342 élèves selon les données de fréquentation scolaire datant du 30 septembre 2019) et possède six classes de troisième cycle, ce qui représente un bassin important de candidats. Tous les élèves du troisième cycle de l'école ($n = 132$) ont été invités à participer à l'étude, ce qui représentait un nombre de participants adéquat selon les analyses de puissance statistique effectuées *a priori*. Cette école publique se situe dans un quartier central de la ville de Montréal. Le territoire de cette école montréalaise est particulièrement étendu et comprend une multitude d'habitations (maisons unifamiliales, duplex, triplex, habitations à loyers modiques [HLM], immeubles d'appartements et tours à condos luxueux), ce qui démontre que la clientèle visée est hétérogène et diversifiée. L'indice de milieu socio-économique (IMSE) de l'école ciblée est de 6 en rang décile. Les indices annuels des écoles sont indiqués en rang décile afin de situer chaque école parmi l'ensemble des écoles publiques québécoises. Les écoles qui se retrouvent dans les rangs déciles 8, 9 ou 10 selon l'indice de milieu socio-économique sont considérées dans un milieu socio-économique défavorisé (Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur, 2020). L'école participante à cette recherche se situe donc dans un milieu socio-économique moyen.

Le projet de recherche a été expliqué en classe aux élèves. Un formulaire de consentement présentant les grandes lignes du projet a été remis à tous les élèves du troisième cycle de l'école à la suite de l'approbation éthique de l'UQAM et du Centre de service scolaire de Montréal (CSSDM). Un courriel, envoyé par la direction de l'école, incluait la lettre de présentation du projet et informait les parents que leur enfant apporterait à la maison le formulaire de consentement à signer. Parmi tous les élèves sollicités, 105 élèves ont démontré leur volonté à participer à l'étude en rapportant le formulaire de consentement signé par eux et leurs parents. Ce nombre de participants respecte donc la taille de l'échantillon calculée

a priori par l'analyse de puissance statistique. Le tableau 3.1 présente les caractéristiques (genre et niveau scolaire) des participants à la recherche.

Tableau 3.1 Statistiques descriptives de tous les participants recrutés

Variables	Distribution	
	<i>n</i>	%
Genre		
Garçon	48	46
Fille	56	53
Non binaire	1	1
Total	105	100
Niveau		
5 ^e année	55	52
6 ^e année	50	48
Total	105	100

Comme il sera expliqué à la 3.3, les participants ont été divisés en deux groupes; un groupe contrôle comprenant 52 participants et un groupe expérimental de 53 participants. Toutefois, à la suite de l'expérimentation, les données de certains participants n'ont pas été considérées dans les analyses statistiques, car leurs résultats à la tâche grammaticale étaient aberrants (plus de 2 écarts-types par rapport à la moyenne; voir la section 4.2). L'échantillon retenu pour les analyses comportait donc 100 participants.

3.2.2 Caractéristiques des participants

Cette recherche vise à vérifier si une intervention, l'enseignement du concept de neuroplasticité, peut aider les élèves à modifier leur état d'esprit pour qu'il soit plus dynamique (et ainsi favoriser leur motivation et leur engagement) et à corriger leurs erreurs à la suite de rétroactions et par conséquent, favoriser leur réussite. Comme mentionné dans la problématique de recherche, certaines difficultés des élèves (comme démontrer un faible engagement dans les tâches scolaires ou avoir une perception négative de soi) apparaissent dès le primaire et environ 15 % des élèves de 12 ans présentent des signes de désengagement (Janosz *et al.*, 2013). Aussi, la transition entre l'école primaire et secondaire amène

souvent une baisse de motivation et d'engagement et les élèves moins performants au primaire sont plus à risque de décrocher au secondaire (Martin, 2009). De plus, les états d'esprit commencent à se préciser et à être plus stables vers dix ou onze ans (Dweck, 2002). Il était donc important d'intervenir auprès d'élèves de la fin du primaire et dont l'état d'esprit est mesurable.

Les participants à cette recherche ont donc été sélectionnés en fonction de leur niveau scolaire : la population cible était composée d'élèves du troisième cycle du primaire (cinquième et sixième années). L'âge des participants n'a pas été demandé, puisque ceux-ci ont été sélectionnés en fonction de leur cycle d'apprentissage scolaire. Toutefois, en avril (moment de l'expérimentation), l'âge moyen normal des élèves de 5^e année est de 11 ans et de 12 ans en 6^e année.

L'échantillon provenant de classes régulières, les participants démontraient une diversité de niveaux de réussite; des élèves en grande difficulté jusqu'aux élèves très forts académiquement. Un test diagnostique a été effectué avant l'intervention afin de vérifier l'équivalence des groupes (voir la section 3.5.1) à partir des taux de réussite. Il était important que la différence statistique ne soit pas significative entre les groupes contrôle et expérimental afin de comparer des groupes équivalents lors des analyses statistiques.

3.3 Formation des groupes contrôle et expérimental

Au moment de l'expérimentation, la formation des groupes ne pouvait se faire à l'aide un essai contrôlé randomisé à cause des mesures appliquées visant à restreindre la propagation du virus de COVID-19. Effectivement, les consignes sanitaires appliquées à ce moment dans l'établissement scolaire ne permettaient pas de mélanger aléatoirement tous les élèves des différentes classes, puisque le Centre de services scolaire demandait que les élèves restent regroupés selon leur groupe-classe et que ces groupes ne soient pas mélangés dans un même local.

La distribution aléatoire de tous les participants aurait permis de s'assurer d'avoir un nombre équivalent d'élèves de chaque niveau dans chaque groupe d'expérimentation. Cependant, la répartition des interventions s'est faite de façon aléatoire en fonction des classes, puisque c'est le hasard qui a attribué à chaque enseignant l'intervention qu'il devait effectuer auprès des élèves de son groupe-classe. La clientèle visée étant des élèves de troisième cycle, les classes ont été séparées en deux groupes d'expérimentation sans distinction des niveaux scolaires.

Les enseignants participants ont pigé un papier sur lequel il était inscrit « système solaire » ou « neuroplasticité » afin de déterminer l’enseignement (l’intervention) qu’ils avaient à effectuer. Cette attribution liée au hasard a permis de répartir les trois classes qui ont fait l’intervention expérimentale et les trois classes qui ont fait l’intervention contrôle. Les enseignants n’ont pas été informés du but de l’étude afin de ne pas influencer les résultats. Le tableau 3.2 expose les caractéristiques de tous les participants.

Tableau 3.2 Statistiques descriptives des participants en fonction des groupes d’intervention

Variables	Groupe expérimental		Groupe contrôle	
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
Genre				
Garçon	23	43	25	48
Fille	30	57	26	50
Non binaire	0	0	1	2
Total	53	100	52	100
Niveau				
5 ^e année	14	26	41	79
6 ^e année	39	74	11	21
Total	53	100	52	100

À la suite de l’attribution des interventions à chaque groupe-classe, il a été constaté que la répartition des élèves de chaque niveau (5^e ou 6^e année) dans chaque groupe (contrôle ou expérimental) n’était pas équivalente. La clientèle visée étant celle d’élèves de 3^e cycle, les premières analyses ont été faites sans distinction des niveaux scolaires. Par la suite, des analyses supplémentaires ont été effectuées afin de vérifier si le niveau des élèves avait une influence sur les résultats obtenus.

3.3.1 Équivalence des groupes

En ce qui concerne le contrôle des facteurs intrinsèques, il était impératif de s’assurer que les groupes étaient équivalents. Puisqu’un essai contrôlé randomisé était impossible à réaliser pour la répartition des élèves dans les deux groupes, il était important que les groupes-classes présentent des similitudes. Bien que la formation des classes ait été faite par l’école avec une volonté de former des groupes équivalents, il serait imprudent de se baser uniquement sur cette composition.

Une variable susceptible d'influencer les résultats est la performance en écriture. En effet, puisque cette recherche entendait examiner l'hypothèse que l'intervention aura une influence sur la capacité à performer dans une tâche liée au choix d'un homophone approprié, il était essentiel de vérifier si la maîtrise des homophones des élèves était semblable dans chaque groupe avant l'intervention, afin de s'assurer de l'équivalence préalable des groupes .

Pour s'en assurer, une tâche diagnostique a donc été réalisée avec les participants dans le but de mesurer leur capacité à orthographier les homophones appropriés. Cette tâche consistait à rédiger une courte dictée comportant les homophones c'est/ s'est/ sait/ sais /ces/ ses (voir la section 3.5.1). Le respect des normes relatives à l'orthographe d'usage et à l'orthographe grammaticale a été observé et le nombre d'erreurs dans l'utilisation des homophones fut comptabilisé; cela a permis de confirmer que les groupes étaient équivalents avant l'intervention.

3.4 Interventions

Pour la réalisation des interventions, les participants ont été séparés en deux groupes comme l'explique la section 3.3. Les interventions des deux groupes sont des activités pédagogiques qui visent l'enseignement de notions différentes, mais provenant du même domaine d'apprentissage. Le groupe expérimental a reçu un enseignement du concept de neuroplasticité tandis que le groupe contrôle a reçu un enseignement de notions liées à l'astronomie. Le choix du sujet de l'intervention du groupe contrôle s'est fait de manière réfléchie. Puisque les exigences cognitives peuvent être différentes selon les disciplines scolaires, il importait que les élèves du groupe contrôle reçoivent un enseignement concernant le même domaine d'apprentissage (les sciences) que ceux vivant l'intervention expérimentale. De plus, il était important que le choix de l'intervention du groupe contrôle soit un sujet scientifique neutre qui n'influence pas l'état d'esprit des participants. Un sujet comme l'astronomie ne devrait pas influencer les conceptions des élèves à propos de leur vision de leur intelligence, du rôle de l'erreur ou de l'effort dans l'apprentissage, ou influencer leur attention portée à la rétroaction. Il était aussi important que l'intervention du groupe contrôle ne soit pas liée à l'enseignement du français, puisque celui-ci aurait pu avoir un impact sur le taux de réussite à la tâche grammaticale.

Afin de contrer le biais des attentes de l'enseignant (ce dernier pourrait influencer les résultats par ses interventions), il était important que les activités pédagogiques demandent le moins d'intervention possible de la part de celui-ci. En effet, le contenu magistral occupait très peu de temps dans les activités

pédagogiques. Les activités d'apprentissage des deux groupes comportaient le visionnement de vidéos, les lectures de textes par les élèves, la présentation d'un PowerPoint et l'exécution d'un mini-quiz interactif (voir Annexe D pour la planification détaillée). Les interventions de l'enseignant étaient ainsi minimisées.

Pour la présente recherche, les enseignants se sont fait expliquer ce qu'ils devaient faire lors des diverses activités, mais n'ont pas reçu de formation sur la neuroplasticité. Ce choix méthodologique était volontaire, car il était important que les enseignants n'influencent pas les résultats par leur attitude ou vision pédagogique. Un enseignant formé sur le sujet de la neuroplasticité aurait pu avoir plus d'enthousiasme lors de l'intervention et influencer l'état d'esprit des élèves.

3.4.1 Intervention du groupe expérimental

Le groupe expérimental a reçu un enseignement du fonctionnement cérébral, plus particulièrement du concept de neuroplasticité. Les activités d'apprentissage ont été développées pour la présente étude. La durée totale des activités pédagogiques était d'environ 100 minutes et cet enseignement a été dispensé lors de deux périodes consécutives. La première activité était la lecture en groupe d'un texte qui explique le fonctionnement des connexions neuronales. Ce texte a été lu de façon interactive par les élèves; à tour de rôle, des élèves lisaient à haute voix un paragraphe du texte. Ensuite, des extraits d'une émission documentaire (*Découverte, Les secrets du corps humain, épisode 3 : apprendre*) et une capsule vidéo informative (*La neuroplasticité*) ont été présentés aux élèves. La troisième activité était la présentation d'un diaporama qui expliquait le concept de neuroplasticité à l'aide d'une comparaison (allégorie de la forêt). La lecture d'un texte faisant le lien entre les apprentissages et le concept de neuroplasticité a ensuite été effectuée de façon individuelle par les participants. Pour terminer, un mini-quiz sur la plateforme Kahoot a été réalisé en équipe de quatre élèves, ce qui aura permis d'aller récupérer en mémoire diverses informations communiquées au cours des activités d'apprentissage. Les diverses activités (voir Annexe E) soulignaient l'importance de fournir des efforts pour corriger ses erreurs afin de ne pas les consolider et mettaient l'emphase sur le rôle de la rétroaction pour s'améliorer.

3.4.2 Intervention du groupe contrôle

La situation d'apprentissage qui a été vécue par le groupe contrôle concernait l'acquisition de connaissances en astronomie (système solaire, galaxies, planètes, satellites, étoiles, météorites, comètes, etc.). La durée totale approximative des diverses activités était de 100 minutes et s'est déroulée pendant

deux périodes consécutives. Pour commencer, les participants ont fait la lecture d'un document informatif sur des sujets liés à l'astronomie (l'univers, les galaxies, etc.). À tour de rôle, des élèves ont lu à haute voix un paragraphe du texte afin de rendre la lecture plus interactive. Après cette lecture, une vidéo sur le système solaire (émission éducative *C'est pas sorcier*) a été présentée. Ensuite, un PowerPoint expliquant plusieurs composantes du système solaire a été montré aux élèves. Pour poursuivre, les élèves ont lu un texte informatif rédigé à partir de documents de l'Agence spatiale canadienne (ASC) qui définit certaines notions liées à l'astronomie (Soleil, Lune, planètes et comètes). Enfin, un mini-quizz interactif sur la plateforme Kahoot a été réalisé en équipe de quatre élèves. Le tableau 3.3 présente les différentes activités pédagogiques vécues par les élèves des deux groupes d'intervention.

Tableau 3.3 Comparaison des interventions

Groupe	Activités pédagogiques			
	Lectures	Vidéos	PowerPoint	Mini-quizz
Expérimental	Connexions neuronales (20 min.)	Découverte (18 min.)	Allégorie de la forêt (20 min.)	Kahoot! (20 min.)
	Neuroplasticité et apprentissages (20 min.)	Neuroplasticité (5 min.)		
Total (minutes)	35	23	20	20
Contrôle	Notions d'astronomie (20 min.)	C'est pas sorcier (24 min.)	Système solaire (20 min.)	Kahoot! (20 min.)
	Univers et galaxies (20 min.)			
Total (minutes)	35	24	20	20

3.5 Instruments de mesure

Trois instruments de mesure (voir Annexe F) ont été utilisés pour la présente recherche : une tâche diagnostique, un questionnaire permettant de déterminer l'état d'esprit des élèves et une tâche à l'ordinateur visant à vérifier la correction d'erreurs.

3.5.1 Tâche diagnostique

Comme expliqué à la section 3.3.1, une tâche diagnostique a été réalisée avant l'intervention afin de vérifier l'équivalence des groupes. En effet, il était important de s'assurer que le niveau de maîtrise des homophones grammaticaux des élèves était comparable dans les groupes contrôle et expérimental. Puisque la tâche visant à mesurer la réussite concernait des notions grammaticales (voir section 3.5.3), la tâche diagnostique devait permettre de mesurer la maîtrise des mêmes notions. Une courte dictée de 8 phrases comportant 10 homophones variés (sais, sait, ses, ces, s'est, c'est) fut donnée à tous les participants. Le nombre d'homophones correctement orthographiés a été comptabilisé (taux de bonnes réponses sur 10) pour chaque participant. Parmi tous les participants ($n = 105$), 6 étaient absents lors de cette dictée, ils ont donc été retirés de cette analyse. De plus, 5 participants ont été retirés de l'échantillon, car à la suite de l'intervention, leurs résultats à la tâche des homophones étaient aberrants (moins de deux écarts types de la moyenne; voir la section 4.2). Pour faire l'analyse de l'équivalence des groupes, un total de 94 participants a donc été considéré, incluant 47 participants dans chacun des groupes.

Chaque participant ayant obtenu un taux de bonnes réponses sur 10 à la dictée diagnostique, le test t de Student a permis de comparer les moyennes des deux groupes afin de s'assurer qu'ils soient équivalents. Les résultats des analyses ont révélé que les groupes contrôle et expérimental n'étaient pas statistiquement différents. En effet, un test t à échantillons indépendants a montré que la différence entre le groupe contrôle ($n = 47$, $M = 6,57$, $ET = 1,99$) et le groupe expérimental ($n = 47$, $M = 7,21$, $ET = 2,2$) n'était pas significative; $t(92) = 1,478$; $p = 0,143$. Il n'y a donc pas de différence statistique entre les résultats des élèves des deux groupes à la dictée diagnostique. Ainsi, avant l'intervention, la maîtrise des homophones reflétée par les résultats à cette dictée diagnostique n'était pas significativement différente entre les deux groupes; les résultats suggèrent que les deux groupes d'élèves détenaient initialement un niveau de maîtrise des homophones comparable.

3.5.2 Questionnaire sur l'état d'esprit

Puisqu'un des objectifs de ce projet de recherche est de vérifier si l'état d'esprit des élèves peut être modifié par une intervention pédagogique, il était nécessaire d'avoir un outil pour mesurer cet état d'esprit après l'intervention. Quelques recherches francophones (Da Fonseca et al., 2007; Issaieva, 2013; Vezeau et al., 2004) ont validé des questionnaires de type Likert visant à déterminer si l'état d'esprit du participant était fixe ou dynamique.

Le questionnaire sélectionné est celui de Da Fonseca *et al.* (2007). Il a été conçu par des chercheurs dans le domaine de la motivation qui ont formulé au départ 12 items qui permettent d'évaluer les *Théories implicites de l'intelligence* de Dweck. Des entretiens qualitatifs individuels ont été menés auprès de 30 élèves et seuls les six items les plus explicites ont été retenus. Le questionnaire de type Likert à 7 niveaux a été validé par 453 élèves français de 11 à 16 ans et comporte six énoncés (trois énoncés pour chaque état d'esprit). Une analyse de la fiabilité a été effectuée afin de vérifier la validité interne du questionnaire. Un Alpha de Cronbach de 0,81 a été obtenu pour l'état d'esprit dynamique et de 0,78 pour l'état d'esprit fixe.

Le questionnaire sur les états d'esprit est composé de trois énoncés concernant l'état d'esprit fixe et de trois énoncés concernant l'état d'esprit dynamique. Le participant aura encerclé le chiffre correspondant à son opinion sur une échelle Likert à 7 niveaux (allant de « pas du tout d'accord » à « tout à fait d'accord »). Le score global a été calculé en soustrayant du score dynamique (sur 21 points) le score fixe (également sur 21 points) afin d'obtenir un score global permettant de déterminer l'état d'esprit du participant.

3.5.3 Tâche visant à vérifier la correction d'erreur

Pour ce projet de recherche, la tâche visant à vérifier la capacité à corriger les erreurs a été conçue avec *Gorilla Experiment Builder* (Anwyl-Irvine *et al.*, 2020), une plateforme web permettant de créer des tâches d'expérimentation que les participants peuvent faire à l'ordinateur. Cette plateforme a été choisie puisqu'elle présentait des avantages importants. En effet, la possibilité d'avoir une rétroaction immédiate lorsque le participant donnait une réponse était primordiale et la facilité de conception de l'outil ne demandant pas de connaissances précises en programmation informatique était un aspect facilitant. De plus, contrairement à d'autres logiciels utilisés en recherche, Gorilla ne demande pas l'installation d'un programme sur un ordinateur, puisqu'elle se fait en ligne; les ressources informatiques disponibles à

l'école n'avaient donc pas à être configurées une à une, ce qui n'est pas négligeable en termes d'économie de temps et d'énergie.

Plusieurs recherches qui relient l'enseignement du concept de neuroplasticité à l'état d'esprit dynamique et à une meilleure capacité à corriger les erreurs utilisaient des tâches standardisées (tâche de Flanker, cartes du Wisconsin, Go/no go, etc.), des tests de connaissances générales ou encore des résolutions de problèmes mathématiques complexes. En conformité avec les objectifs du projet, la tâche proposée concerne un apprentissage scolaire. Aussi, la tâche a été conçue pour présenter un certain niveau de difficulté, si bien qu'elle est assez complexe pour exiger des efforts et de l'attention, mais pas trop difficile, pour éviter de susciter un découragement (Moreno, 2010). De plus, la tâche a été élaborée pour permettre à l'élève d'obtenir une rétroaction immédiate lorsqu'il donne une réponse, un élément très important à considérer pour les besoins de notre étude afin de vérifier la capacité des élèves à corriger leurs erreurs.

Afin de vérifier si la tâche présentait un niveau de difficulté adéquat, une mise à l'essai de la tâche a été réalisée avec une classe pilote en janvier 2022. Le taux d'erreur moyen visé devait être d'au moins 25 % afin d'optimiser les chances de voir une différence significative lors de l'expérimentation. Des élèves de troisième cycle du primaire ($n = 24$) qui ne font pas partie de l'échantillon ont testé le questionnaire afin de déterminer si des ajustements étaient nécessaires. Ces élèves provenaient d'une autre école ayant des caractéristiques similaires à l'école sélectionnée pour la présente étude. Le taux d'erreur moyen obtenu avec le groupe pilote était de 27 %, ce qui correspondait à un taux de réussite moyen de 73 %. La tâche présentait donc un niveau de difficulté adéquat.

Il a été choisi de créer une tâche à effectuer à l'ordinateur centrée sur le choix d'un homophone (voir Annexe F), car la maîtrise des homophones correspond à un apprentissage scolaire complexe qui nécessite des efforts et une attention considérable. En effet, pour sélectionner l'homophone approprié dans une phrase, l'élève doit avoir beaucoup de connaissances en grammaire : il doit connaître différentes classes de mots et comprendre la relation entre ceux-ci. Les homophones *c'est /s'est /ces /ses /sait /sais* impliquent de comprendre le sens d'une relation entre un nom et un déterminant (possessif ou démonstratif), de conjuguer un verbe avec un pronom de conjugaison, de reconnaître un verbe pronominal ou un temps composé et de distinguer un pronom démonstratif d'un pronom personnel. Bien que cette tâche demande de nombreuses connaissances en grammaire, il n'était pas nécessaire que toutes les notions préalables aient été enseignées aux élèves avant qu'ils effectuent la tâche. En effet, puisque la

rétroaction donnée à la suite d'une réponse de l'élève incluait le raisonnement grammatical adéquat pour trouver la bonne réponse lors d'essais subséquents, le participant pouvait apprendre certaines notions en cours de tâche, à condition d'être attentif à la rétroaction fournie et de persévérer.

Quelques particularités ont été prises en compte lors de la conception de la tâche afin d'assurer une certaine uniformité entre les questions:

- Tous les homophones sont situés à l'intérieur des phrases plutôt qu'en début, afin de garder toutes les réponses en lettres minuscules (un homophone en début de phrase exigerait une réponse ayant une lettre majuscule);
- Pour les homophones qui sont des verbes conjugués (sait, sais), le sujet doit être un pronom. La pronominalisation d'un groupe sujet étant une étape supplémentaire pour sélectionner le bon homophone, la tâche n'aurait été constante entre les divers homophones si l'élève devait effectuer cette opération grammaticale;
- Les énoncés sont des phrases déclaratives ou exclamatives. Les phrases interrogatives requièrent l'inversion du sujet et du verbe, ce qui pourrait complexifier le choix de l'homophone approprié;
- L'explication du processus grammatical est donnée lors de la rétroaction positive et négative afin d'assurer une concordance entre la réponse et l'explication. Un élève qui aurait choisi une réponse au hasard et qui aurait eu une bonne réponse aurait donc tout de même l'explication menant à la bonne réponse pour une question ultérieure.

La tâche débutait par l'assentiment de l'élève, le consentement ayant été obtenu au préalable auprès des parents (voir Annexe C). Ensuite, l'élève s'est identifié en inscrivant son prénom et son nom. Les instructions étaient alors exposées au participant : il devait sélectionner le bon homophone (parmi six choix) dans une phrase trouée. Le questionnaire comportait 30 questions (5 phrases pour chaque homophone) présentées de façon aléatoire. La tâche était séparée par une courte pause en deux blocs de 15 questions. L'élève n'avait pas de temps maximal pour répondre à chacune des questions : il cliquait sur le bouton associé à la réponse choisie lorsqu'il était prêt.

À chaque réponse donnée, le participant a obtenu une rétroaction immédiate (positive ou négative), ainsi qu'une explication du raisonnement grammatical qui menait à la bonne réponse. Si la réponse donnée par le participant était la bonne, il recevait une confirmation de sa réponse et de son raisonnement (rétroaction positive). Si le participant n'avait pas sélectionné pas le bon homophone, il obtenait une rétroaction négative et une explication détaillée du raisonnement grammatical adéquat. Cette rétroaction était donnée afin de permettre à l'élève de fournir la bonne réponse dans une question ultérieure. Lorsqu'il était prêt pour la prochaine question, l'élève appuyait sur le bouton « j'ai compris ! »; il n'y avait donc pas de temps maximal pour l'affichage et la lecture de la rétroaction. L'annexe F explique en détail le déroulement et présente des captures d'écran de la tâche.

3.6 Déroulement

Comme expliqué précédemment, les participants ont été séparés en deux groupes : un groupe contrôle et un groupe expérimental. Cette section explicite les conditions de l'expérimentation, l'administration du questionnaire visant à mesurer les états d'esprit et la réalisation de la tâche expérimentale.

3.6.1 Conditions de réalisation de l'expérimentation

Les horaires d'enseignement sont soumis à de nombreuses contraintes qui devaient être prises en considération. En effet, des périodes de spécialistes (éducation physique, art dramatique et anglais) ainsi que des périodes d'orthopédagogie restreignaient les moments lors desquels il était possible que l'enseignant ait deux périodes consécutives de 60 minutes pour effectuer l'intervention. À partir de cet horaire qui a été déterminé par la direction d'école en début d'année, chaque groupe-classe a été attribué à une journée d'expérimentation (voir tableau 3.4).

Tableau 3.4 Calendrier des expérimentations

Jour	Groupes-classes	Intervention
Mardi	Groupe A	Contrôle (système solaire)
	Groupe B	Expérimentale (neuroplasticité)
Mercredi	Groupe C	Contrôle (système solaire)
	Groupe D	Expérimentale (neuroplasticité)
Jeudi	Groupe E	Contrôle (système solaire)
	Groupe F	Expérimentale (neuroplasticité)

Comme le mentionnent Fortin et Gagnon (2016) : « les études expérimentales effectuées dans le milieu naturel nécessitent un certain contrôle sur les conditions d'observation, puisque l'environnement peut influencer [...] sur les résultats eux-mêmes » (p. 172). Les variables étrangères provenant de l'environnement naturel doivent être contrôlées afin que les conditions d'expérimentation restent constantes.

En ce qui concerne le contrôle des facteurs extrinsèques, cette recherche s'est assuré que les conditions de réalisation soient les mêmes pour les groupes témoins et expérimentaux : l'intervention s'est déroulée dans une salle de classe, la durée des activités était équivalente et dans le même ordre de présentation et tous les participants effectuaient la tâche le même jour que l'expérimentation. L'application de la variable indépendante, soit l'intervention elle-même, était donc contrôlée afin de limiter l'influence de facteurs extrinsèques sur les résultats. Les interventions des deux groupes ont été effectuées lors des deux premières périodes de l'avant-midi (8h10 à 10h10). En après-midi, tous les élèves ayant vécu une intervention (contrôle ou expérimentale) ont été soumis au questionnaire sur les états d'esprit et ont réalisé la tâche visant à vérifier leur capacité à corriger leurs erreurs.

3.6.2 Administration du questionnaire sur l'état d'esprit

Le questionnaire sur l'état d'esprit (Da Fonseca *et al.*, 2007) a été fait dans l'après-midi suivant l'intervention. Ce questionnaire de type Likert à 7 niveaux (les choix varient entre « pas du tout d'accord » à « tout à fait d'accord ») comporte 6 questions (voir Annexe F). Il a été fourni en version papier afin de le distinguer de la tâche visant à vérifier la correction d'erreurs (et ainsi éviter de biaiser les résultats ou influencer les réponses de la tâche expérimentale). La couleur du papier indiquait si l'élève était dans le groupe contrôle (bleu) ou le groupe expérimental (vert); cela a facilité l'analyse des données. Chaque enfant a inscrit son prénom et son nom. L'enseignant a lu chaque énoncé un à un et chaque participant a répondu en encerclant le niveau Likert qui correspond le mieux à sa perception. Une dizaine de minutes ont été consacrées à ce questionnaire.

3.6.3 Réalisation de la tâche visant à vérifier la correction d'erreur

À la suite du questionnaire visant à mesurer l'état d'esprit, les élèves ont fait la tâche à l'ordinateur visant à vérifier la correction d'erreur à la suite d'une rétroaction (voir Annexe F). La tâche, d'une durée approximative de 30 minutes, a été réalisée de façon individuelle dans une salle de classe (la classe où se déroulent les cours d'anglais). Chaque élève s'assoyait à un pupitre, devant un ordinateur portable. Les consignes étaient données par la chercheuse. Lorsqu'ils étaient prêts, ils devaient cliquer sur le bouton

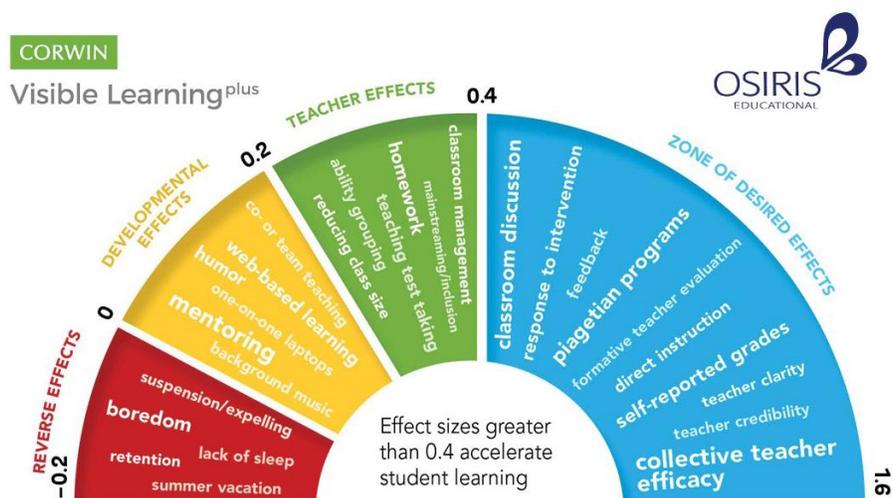
« commencer », lire les instructions et répondre aux questions du mieux qu'ils pouvaient. Les élèves étaient informés qu'ils pouvaient prendre le temps nécessaire pour faire la tâche et qu'il n'y avait pas de temps limite. Lorsqu'ils avaient terminé de répondre aux questions et voyaient l'écran de remerciement de leur participation, ils devaient quitter le local en silence et retourner dans leur salle de classe rejoindre leur enseignant titulaire.

3.7 Analyse des données

Pour répondre aux objectifs fixés, un traitement quantitatif des données recueillies a été fait à l'aide d'analyses statistiques. Les résultats obtenus grâce aux divers outils de mesure ont été analysés à l'aide du logiciel SPSS Statistics 27; les résultats seront exposés dans le chapitre 4.

En ce qui concerne les tailles d'effet (d de Cohen) mentionnées dans ce mémoire, la présente recherche considère que l'ampleur de l'effet minimale pour déclarer qu'une intervention est efficace devrait être plus grande que $d = 0,4$. Une taille d'effet de 0,4 signifie que les apprenants qui ont reçu l'intervention expérimentale ont des résultats en moyenne plus élevés de 0,4 écart-type que ceux ayant reçu l'intervention contrôle (Clark et al., 2006). Ainsi, les interventions en éducation doivent permettre une amélioration du rendement des élèves qui soit supérieure à la moyenne des interventions pédagogiques pour considérer que l'intervention a amélioré significativement les apprentissages (Hattie, 2009, 2017; Masson, 2020; Schagen et Hodgen, 2009). La figure 3.3 présente les interprétations des tailles d'effets en éducation selon Hattie.

Figure 3.3 Interprétation de la taille d'effet (d de Cohen) dans le domaine de l'éducation



Note. Inspiré du baromètre des influences de Hattie dans Visible Learning (2009). Figure disponible au <https://visible-learning.org/2022/01/hatties-barometer-of-influence-infographic/>

Pour les tailles d'effet obtenues à l'aide des analyses de variance (ANOVA ; Analysis of Variance), l'éta-carré partiel (η^2) nous indiquera l'ampleur de l'effet (Cohen, 1988). Un petit effet sera de 0,01, un effet moyen autour de 0,06 et un effet important sera de 0,14 (Lakens, 2013; Watson, 2021).

3.7.1 Comparaison de l'état d'esprit des participants des deux groupes

Conformément aux hypothèses émises, il était attendu que l'intervention aurait un effet sur l'état d'esprit des élèves. Selon la première hypothèse de cette recherche, l'enseignement du concept de neuroplasticité devrait induire un état d'esprit plus dynamique. En d'autres mots, il devrait donc y avoir plus d'élèves ayant un état d'esprit dynamique dans le groupe expérimental que dans le groupe contrôle.

Le questionnaire utilisé permettait d'obtenir un score sur 21 points pour chaque état d'esprit. Afin de comparer les résultats des participants, un score global a été calculé en soustrayant le score « fixe » du score « dynamique ». Une valeur positive indique un état d'esprit dynamique, une valeur négative est associée à un état d'esprit fixe et une valeur neutre (zéro) est une indication d'un état d'esprit indéfini, le score étant égal pour les deux états d'esprit. Un test *t* à échantillons indépendants permettra d'observer

s'il existe une différence significative des résultats au questionnaire sur les états d'esprit entre le groupe contrôle et le groupe expérimental et ainsi de vérifier si l'intervention a eu un effet sur les états d'esprit des participants et quelle en est l'ampleur.

3.7.2 Comparaison du taux de réussite des deux groupes

Selon la deuxième hypothèse de recherche, les élèves qui auront bénéficié de l'enseignement du concept de neuroplasticité démontreront une meilleure capacité à corriger leurs erreurs à la suite de rétroactions; ils feront donc globalement moins d'erreurs dans la tâche et obtiendront un meilleur taux de réussite, comparativement aux élèves du groupe contrôle.

La tâche visant à vérifier la correction d'erreur étant composée de 30 questions, le taux de bonnes réponses de chaque participant sera donc calculé sur un total de 30. Un test *t* à échantillons indépendants permettra de comparer les taux de bonnes réponses des participants des groupes contrôle et expérimental. Il sera alors possible d'observer si le type d'intervention aura exercé une influence sur le taux global de réussite à la tâche expérimentale, si la différence est significative entre les deux groupes et qu'elle en sera la taille d'effet.

La maîtrise des homophones des participants des deux groupes a été comparée initialement à l'aide de la dictée diagnostique (voir la section 3.5.1) et il n'y avait pas de différence significative entre ceux-ci. Les premières analyses des taux de réussite seront donc effectuées en comparant les deux groupes d'expérimentation, en considérant que notre échantillon est composé d'élèves de troisième cycle du primaire (sans distinction des niveaux). Cependant, puisqu'il y a un nombre inégal d'élèves de 5^e année et de 6^e année dans chacun des groupes d'intervention, des analyses complémentaires ont été effectuées, afin de s'assurer que ce déséquilibre n'influence pas les résultats obtenus lors du test *t* à échantillons indépendants. Une ANOVA à deux facteurs (*niveau* et *intervention*) précisera les résultats obtenus avec le test *t* et permettra de vérifier si l'effet provient de l'intervention, du niveau ou de l'effet d'interaction de ces deux facteurs.

3.7.3 Amélioration en cours de tâche : analyse de la correction d'erreurs

Les recherches exposées dans le cadre théorique amènent l'idée qu'un état d'esprit dynamique favorise une plus grande vigilance face aux erreurs et une plus grande volonté de se corriger à la suite d'une

rétroaction. Selon les hypothèses de la présente recherche, les élèves du groupe expérimental devraient être plus en mesure de corriger leurs erreurs, ayant développé un état d'esprit plus dynamique.

Afin de vérifier si les élèves du groupe expérimental arrivent à mieux corriger leurs erreurs à la suite de rétroactions, il a été convenu de comparer les moyennes (taux de réussite) des deux groupes lors de la tâche grammaticale. En complément, une analyse a été faite pour observer si le nombre d'erreurs commises diminuait en cours de tâche.

Puisque chaque homophone revenait 5 fois lors de la tâche (les 30 questions étaient mélangées de façon aléatoire), des analyses ont été réalisées pour vérifier s'il y avait amélioration en cours de tâche pour chaque homophone et pour chaque participant. Les réponses à chaque question (regroupées par homophone) ont été analysées de la façon suivante :

- Si un participant avait toujours sélectionné la bonne réponse lors des questions portant sur un même homophone, il était associé à la catégorie « toujours bon »;
- Si un participant n'avait eu que de bonnes réponses, mais qu'à une des questions il avait obtenu la mauvaise réponse, il était considéré que ce pouvait être une erreur d'inattention ou due à la fatigue; ce participant était associé à la catégorie « toujours bon »;
- Si un participant avait sélectionné que des mauvaises réponses lors des questions portant sur un même homophone, il était associé à la catégorie « toujours mauvais »;
- Si un participant n'avait eu que de mauvaises réponses, mais qu'à une question il avait donné la bonne réponse, il était considéré que ce pouvait être un coup de chance; ce participant était associé à la catégorie « toujours mauvais »;
- Si le participant avait plus de bonnes réponses dans les 3 dernières questions (sur 5) que dans les 2 premières, il était associé à la catégorie « amélioration »;
- Si le participant avait moins de bonnes réponses dans les 3 dernières questions (sur 5) que dans les 2 premières, il était associé à la catégorie « régression »;

- Lorsque le nombre d'erreurs était stable entre les deux premières questions et les 3 dernières ou s'il y avait une alternance de bonne et de mauvaises réponses, il était associé à la catégorie « pas d'amélioration/ pas de changement ».

Lorsque toutes les réponses pour chaque homophone ont été catégorisées pour chacun des participants, il a été possible de faire des analyses statistiques. Afin d'analyser ces variables nominales, un test non paramétrique a été effectué : un test khi carré de Pearson. Cette analyse permet de vérifier s'il y a une différence significative entre les groupes et si le groupe d'intervention se démarque dans une catégorie, plus particulièrement dans celle qui concerne l'amélioration dans les réponses données pour chaque homophone.

Le tableau 3.4 démontre comment chaque homophone a été analysé pour chaque participant en donnant des exemples pour chaque catégorie.

Tableau 3.4 Exemples pour l'analyse de chacune des réponses de chaque participant par homophone

Participant	Numéro de la question	Homophone	Réponse	Correction d'erreurs
6298913	5	sais	bonne réponse	
6298913	12	sais	bonne réponse	
6298913	15	sais	bonne réponse	
6298913	24	sais	bonne réponse	
6298913	27	sais	bonne réponse	Toujours bon
6298917	1	ses	erreur	
6298917	5	ses	erreur	
6298917	10	ses	erreur	
6298917	18	ses	erreur	
6298917	25	ses	erreur	Toujours mauvais
6306455	3	ses	erreur	
6306455	9	ses	erreur	
6306455	14	ses	erreur	
6306455	16	ses	erreur	
6306455	25	ses	bonne réponse	Toujours mauvais
6298901	5	ses	erreur	
6298901	14	ses	bonne réponse	
6298901	15	ses	bonne réponse	
6298901	18	ses	bonne réponse	
6298901	28	ses	bonne réponse	Toujours bon
6298903	12	sait	bonne réponse	
6298903	13	sait	erreur	
6298903	18	sait	bonne réponse	
6298903	24	sait	erreur	
6298903	28	sait	bonne réponse	Pas d'amélioration /pas de changement
6292015	3	c'est	bonne réponse	
6292015	5	c'est	bonne réponse	
6292015	20	c'est	erreur	
6292015	22	c'est	erreur	
6292015	27	c'est	erreur	Régression
6306440	10	ces	erreur	
6306440	14	ces	erreur	
6306440	23	ces	bonne réponse	
6306440	29	ces	bonne réponse	
6306440	30	ces	bonne réponse	Amélioration

3.7.4 Analyse des temps de réponse : attention portée à la tâche et à la rétroaction

Comme mentionné dans le cadre théorique, les recherches recensées démontrent qu'un état d'esprit dynamique favorise une plus grande attention lors de l'exécution d'une tâche et influence positivement l'attention portée à la rétroaction. Selon les hypothèses de cette recherche, les élèves du groupe expérimental devraient développer un état d'esprit plus dynamique à la suite de l'enseignement du concept de neuroplasticité et donc démontrer une plus grande attention lors de la tâche et après avoir reçu une rétroaction. Afin de mesurer l'attention portée à la tâche et à la rétroaction, il est possible de comparer les temps de réponse des participants des deux groupes. Le tableau 3.5 précise les 4 temps de réponse utilisés pour les analyses.

Tableau 3.5 Les quatre temps de réponse utilisés pour les analyses et le but visé pour chacun

Temps de réponse utilisé	But visé
1. Temps moyen à lire la question et à choisir une réponse (cliquer sur l'homophone approprié).	Vérifier s'il existe une différence entre les participants des deux groupes au niveau de l'attention portée pendant la tâche.
2. Temps moyen à lire la rétroaction à chaque question (manquée ou réussie).	Vérifier l'attention portée à la rétroaction reçue, peu importe qu'elle soit positive ou négative.
3. Temps moyen à lire la rétroaction à chaque question réussie (confirmation de la réponse et du raisonnement grammatical adéquat).	Vérifier l'attention à la rétroaction positive quand le participant donne une bonne réponse.
4. Temps moyen à lire la rétroaction à chaque question manquée (infirmité de la réponse et explication du raisonnement grammatical adéquat).	Vérifier l'attention à la rétroaction négative quand le participant donne une mauvaise réponse (lié à la correction d'erreurs).

Pour ces analyses, l'ANOVA à deux facteurs (*niveau* et *intervention*) sera utilisée pour comparer les temps de réponse moyens de chaque groupe. Il sera alors possible de vérifier s'il existe une différence significative entre les groupes d'expérimentation, entre les niveaux scolaires ou s'il y a un effet d'interaction entre les deux variables.

3.8 Considérations éthiques

Un ensemble de principes et de règles de conduite a été défini afin d'encadrer la recherche avec des êtres humains. Cette section présente les aspects déontologiques qui seront pris en compte.

3.8.1 Bénéfices liés aux apprentissages vécus lors des interventions

Il serait malheureux que les élèves du groupe contrôle ne bénéficient pas de l'intervention sur la neuroplasticité, compte tenu des retombées importantes sur la réussite scolaire recensées dans la littérature scientifique. De plus, il serait dommage que les élèves du groupe expérimental ne fassent pas les apprentissages de notions sur l'espace et le système solaire puisque ces notions sont prescrites au troisième cycle par le Programme de formation de l'école québécoise (PFEQ). Pour s'assurer que les élèves profitent des bénéfices liés aux deux interventions, les enseignants associés à l'intervention contrôle offriront l'intervention sur la neuroplasticité et les enseignants associés à l'intervention expérimentale ont obtenu, après l'expérimentation, l'intervention sur le système solaire et l'espace.

3.8.2 Obtention d'un consentement éclairé

La participation à cette recherche s'est faite sur une base volontaire. Comme il a été précisé à la section 3.2.1, tous les élèves du troisième cycle de l'école sélectionnée ($n = 132$) ont été sollicités. La direction de l'école a envoyé par courriel aux parents des élèves une lettre explicative et une invitation à participer à l'étude. Le projet de recherche a été expliqué directement aux élèves, sans mentionner le but direct de l'étude afin de ne pas influencer les résultats. Lors de cette rencontre, les élèves ont reçu un formulaire de consentement à apporter à la maison. Les formulaires de consentement signés par les parents ont été retournés à l'école. Ils auront été avisés que les participants ont le droit de se retirer du projet à tout moment sans avoir à donner de justification.

Les élèves qui n'ont pas accepté de participer à l'étude ont quand même vécu les activités d'apprentissage (interventions contrôle et expérimentale) puisque ces interventions relèvent des choix pédagogiques des enseignants; la participation à l'étude concerne donc uniquement l'examen des effets de ces interventions plutôt que le fait de les avoir vécues ou non. Cependant, les élèves qui avaient refusé de participer à l'étude n'ont pas réalisé les tests subséquents visant à identifier l'état d'esprit et la capacité à corriger des erreurs à la suite d'une rétroaction. Ils ont fait des activités pédagogiques proposées par leur enseignant pendant ce temps.

3.8.3 Respect de la confidentialité et des résultats

Tous les renseignements recueillis par cette recherche sont confidentiels. Les participants ont été associés à un code numérique et les données ont été comptabilisées à l'aide de ce code. Le document associant les noms des participants et leurs codes est conservé par la responsable du projet dans un lieu sécuritaire et protégé d'un mot de passe que seule la chercheuse connaît.

Aucune publication ne contient d'information pouvant permettre d'identifier les participants; l'anonymat est ainsi préservé. De plus, le nom de l'école ne sera pas divulgué.

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE plurifacultaire) a examiné le projet de recherche et l'a jugé conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Le numéro de certificat d'approbation éthique est le 2022-4076. La demande d'expérimentation a également été analysée par le Comité de la recherche du Centre de services scolaire de Montréal (CSSDM) et les membres du comité ont approuvé l'expérimentation.

CHAPITRE 4

RÉSULTATS

Ce chapitre a comme objectif de présenter les principaux résultats obtenus à la suite des analyses statistiques effectuées sur les données. La première section présentera les résultats obtenus lors de la mesure des différents états d'esprit faite avec le questionnaire Likert. La seconde section présentera les analyses des taux de réussite à la tâche à l'ordinateur qui concernait un apprentissage grammatical complexe; le choix de l'homophone approprié. Ensuite, les données seront analysées pour vérifier la correction d'erreur, c'est-à-dire s'il y a amélioration en cours de tâche. Enfin, les temps de réponse seront analysés dans le but de mesurer l'attention portée à la tâche et à la rétroaction. Ces résultats seront ensuite discutés et interprétés dans le chapitre 5 afin de vérifier les hypothèses de recherche et de constater les effets de l'enseignement du concept de neuroplasticité sur l'état d'esprit et la capacité à corriger des erreurs à la suite de rétroactions.

4.1 États d'esprit des participants des groupes contrôle et expérimental

À la suite de l'intervention, un questionnaire a été soumis aux participants pour déterminer leur état d'esprit. Comme expliqué à la section 3.7.1, un score global a été calculé; un score global positif est lié à un état d'esprit dynamique, un score négatif représente un état d'esprit fixe et une valeur neutre (zéro) est associée à un état d'esprit indéfini, puisque le score est égal pour les deux états d'esprit.

Tableau 4.1 Nombre de participants de chaque groupe selon leur état d'esprit (après l'intervention)

État d'esprit des participants	Groupe contrôle	Groupe expérimental
Indéfini	5	2
Fixe	10	3
Dynamique	35	45
Total	50	50

Plus le score global est élevé, plus l'état d'esprit est dynamique. Il était attendu que les élèves du groupe expérimental développent un état d'esprit plus dynamique que ceux du groupe contrôle à la suite de l'intervention. Les moyennes des scores globaux des participants ont été comparées. Pour cette analyse

statistique, seuls les participants retenus lors de l'analyse des taux de réussite à la tâche grammaticale (voir la section 4.2) ont été considérés ($n = 100$). Pour comparer les états d'esprit des deux groupes, un test t à échantillons indépendants a permis d'observer que la différence des moyennes des scores globaux des participants du groupe contrôle ($n = 50, M = 3,44, ET = 5,85$) et du groupe expérimental ($n = 50, M = 6,8, ET = 5,02$) est significative et de taille d'effet élevée; $t(98) = -3,08; p = 0,003; IC\ 95\ \% [-5,52; -1,20]; d = 0,62$.

La figure 4.1 représente la distribution des données (valeurs globales calculées pour chaque élève) selon le groupe d'intervention et la figure 4.2 présente les moyennes des scores globaux des deux groupes d'intervention.

Figure 4.1 États d'esprit des participants (valeur globale calculée) selon les groupes d'intervention

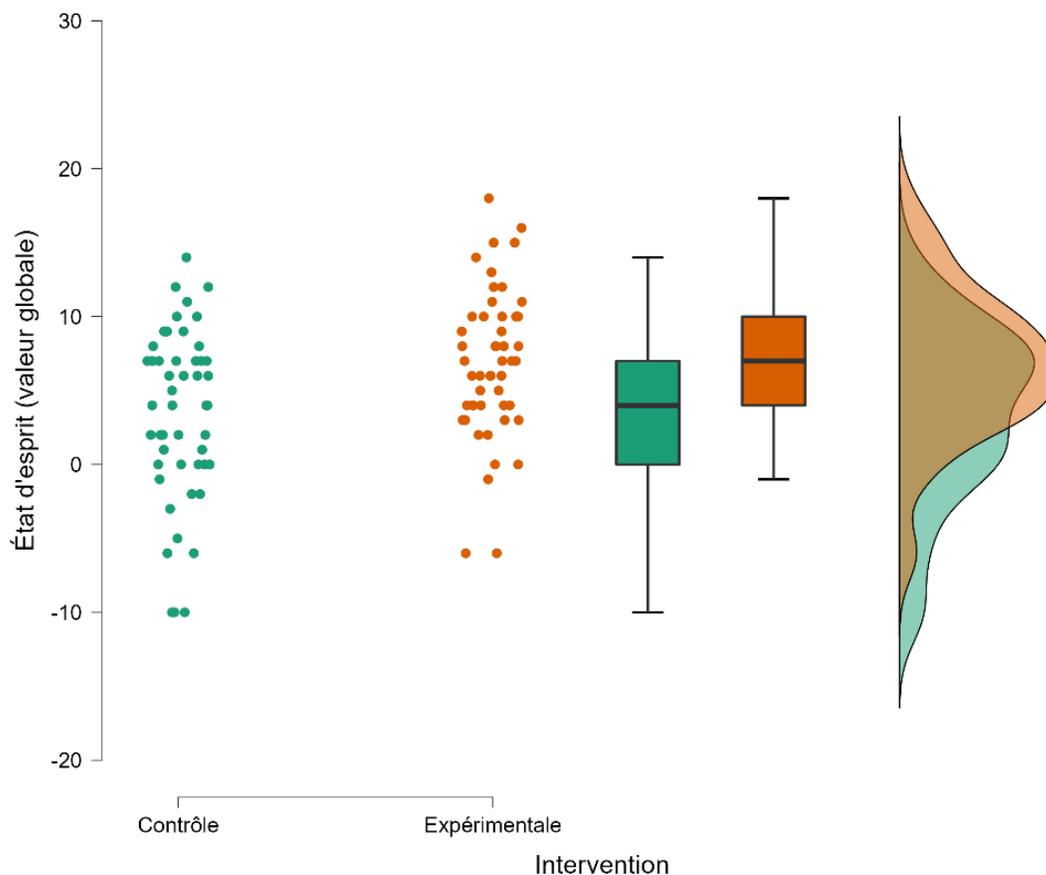
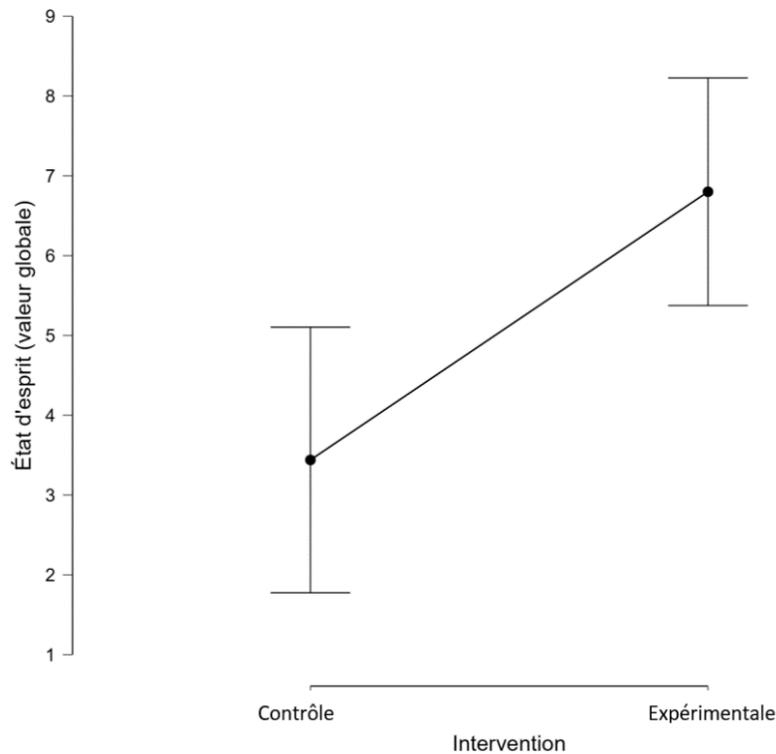


Figure 4.2 Résultats moyens au questionnaire sur les états d'esprit selon le groupe d'intervention



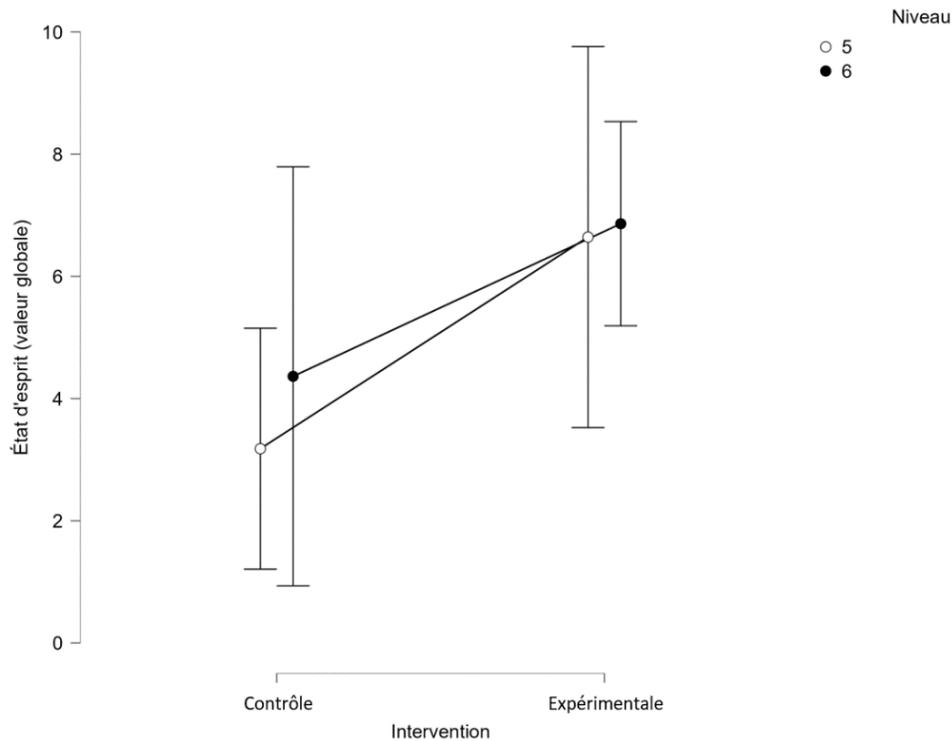
Cette analyse démontre donc qu'à la suite de l'intervention, les élèves ont en moyenne un état d'esprit plus dynamique que ceux du groupe contrôle et cette différence est significative. Les élèves qui ont vécu l'intervention de l'enseignement du concept de neuroplasticité sont plus nombreux à présenter des caractéristiques liées à un état d'esprit dynamique.

Comme expliqué à la section 3.3, la formation des groupes d'intervention n'a pu s'effectuer à l'aide d'un essai contrôlé randomisé de tous les participants, puisqu'au moment de l'expérimentation, des mesures sanitaires étaient appliquées pour éviter la propagation de la COVID-19. Les six groupes-classes du troisième cycle ont donc été divisés en deux groupes d'intervention. Or, le nombre d'élèves de chaque niveau scolaire n'était pas équivalent dans chacun des groupes (voir le tableau 3.2). Afin de vérifier si le niveau des élèves avait une influence sur l'état d'esprit, des analyses supplémentaires ont été effectuées.

Pour comparer les états d'esprit des deux groupes, une ANOVA à deux facteurs a été faite. Le test ANOVA factoriel 2 x 2 ($n = 100$, $M = 5,12$, $ET = 5,68$) a permis d'observer un effet significatif pour la variable

Intervention; $F(3,1) = 5,5$, $p = 0,02$; $\eta^2 = 0,05$. Aucun effet significatif n'a été observé pour la variable *Niveau* ($p = 0,584$). Aucun effet d'interaction n'a été observé entre les facteurs *Intervention* et *Niveau* ($p = 0,706$). Seule l'intervention a procuré un effet; le niveau des élèves n'a donc pas d'influence statistiquement significative sur leur état d'esprit. La figure 4.3 présente les moyennes obtenues lors du questionnaire sur les états d'esprit en fonction des niveaux et des groupes d'intervention.

Figure 4.3 Résultats moyens au questionnaire sur les états d'esprit selon le niveau scolaire et le groupe d'intervention



Les résultats obtenus grâce aux analyses des questionnaires visant à mesurer les états d'esprit des participants seront discutés à la section 5.1.1.

4.2 Taux de réussite des participants des groupes contrôle et expérimental

Lors d'une première analyse incluant tous les participants ($n = 105$), certaines données aberrantes ont été observées. En effet, des valeurs extrêmes sont ressorties, des participants ayant obtenu des résultats très éloignés de la moyenne. Aucun élève n'avait un résultat supérieur à la moyenne de plus de deux écarts-types, mais certains avaient un résultat inférieur à la moyenne de plus de deux écarts-types. Il est probable

que les élèves ayant obtenu des scores très faibles soient des élèves distraits durant la réalisation de la tâche ou des élèves en grande difficulté qui n'ont peut-être pas les prérequis pour accomplir adéquatement la tâche. Les analyses statistiques présentées dans cette section, mais également dans la section précédente, ont donc été effectuées avec un échantillon de 100 participants.

Pour comparer les moyennes des taux de réussite des participants à la tâche des homophones, un test t à échantillons indépendants a permis d'observer que la différence entre le groupe contrôle ($n = 50, M = 19,84, ET = 6,26$) et le groupe expérimental ($n = 50, M = 22,46, ET = 6,41$) est significative $t(98) = -2,07; p = 0,041; IC\ 95\ \% [-5,13; -0,11]; d = 0,41$. Cette analyse démontre donc que les élèves du groupe expérimental ont obtenu de meilleurs résultats que ceux du groupe contrôle et que la différence entre les moyennes est significative.

La figure 4.4 représente la distribution des données (nombre de bonnes réponses pour chaque élève) selon le groupe d'intervention et la figure 4.5 présente les moyennes des deux groupes à la tâche des homophones.

Figure 4.4 Résultats des participants à la tâche expérimentale en fonction des groupes d'intervention

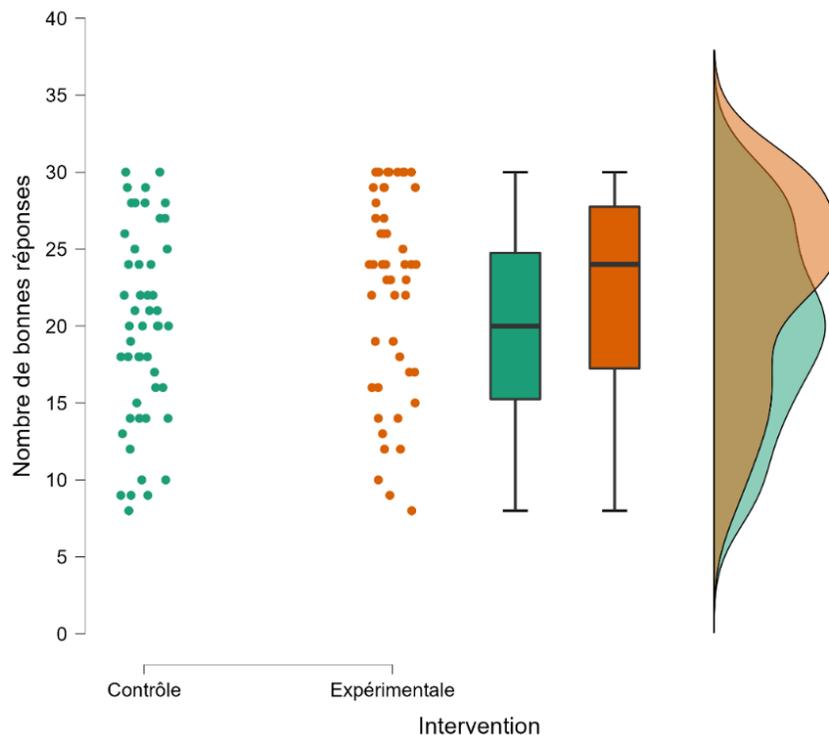
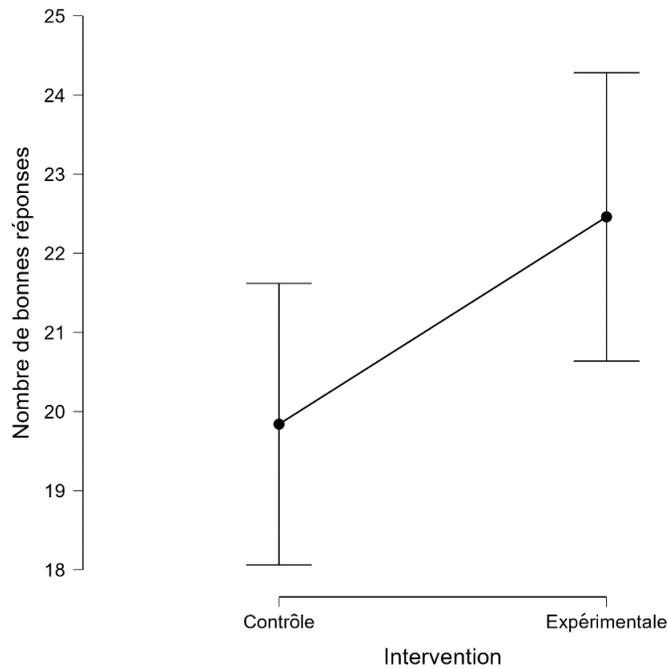


Figure 4.5 Moyennes des taux de réussite à la tâche expérimentale des deux groupes d'intervention

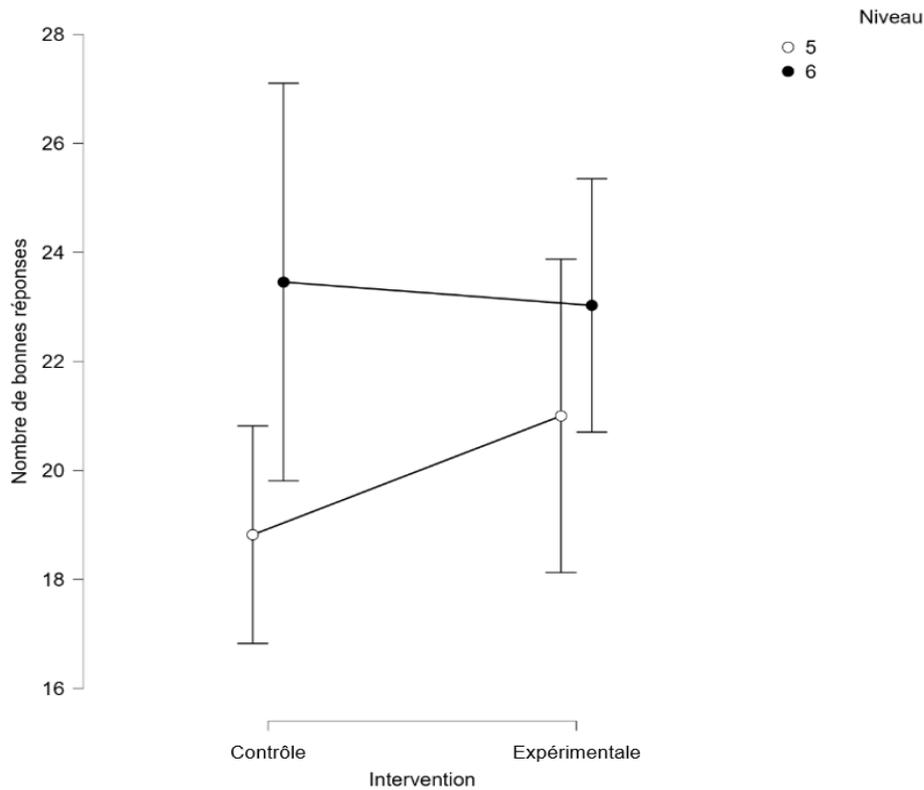


La clientèle visée étant des élèves de 3^e cycle, les analyses initiales ont été faites sans distinction des niveaux scolaires. L'équivalence des groupes avait d'ailleurs été vérifiée à l'aide de la dictée diagnostique et les groupes étaient statistiquement équivalents (voir la section 3.5.1).

Puisque la composition des groupes n'était pas équivalente selon le niveau scolaire dans chacun des groupes, une analyse supplémentaire a été menée pour vérifier si le niveau scolaire pouvait avoir apporté un biais dans les effets de l'intervention sur les taux de réussite des élèves.

Ainsi, un test ANOVA factoriel 2 x 2 ($n = 100$, $M = 21,15$, $ET = 6,44$) a permis d'observer un effet significatif pour la variable *Niveau*; $F(3,1) = 5,33$, $p = 0,023$, $\eta^2 = 0,053$. Aucun effet n'a été observé pour la variable *Intervention* ($p = 0,545$) et l'interaction entre la variable *Niveau* et *Intervention* n'est pas significative ($p = 0,369$). La figure 4.6 présente les résultats de cette analyse.

Figure 4.6 Moyennes des taux de réussite à la tâche expérimentale des groupes d'intervention selon le niveau scolaire



Les résultats de cette analyse démontrent donc que les différences de moyennes obtenues entre les groupes contrôle et expérimental lors du test *t* à échantillons indépendants sont influencées par le niveau scolaire des élèves et non par l'intervention.

Les résultats obtenus grâce aux analyses des taux de réussite à la tâche grammaticale seront discutés à la section 5.1.2.

4.3 Amélioration en cours de tâche : analyse de la correction d'erreurs des participants

Les réponses pour chaque homophone ont été catégorisées pour chacun des participants (voir la section 3.7.3); puisqu'il y avait 6 homophones (ces, ses, c'est, s'est, sait, sais) et 100 participants, 600 réponses ont été catégorisées. Pour analyser ces résultats, un test non paramétrique a été effectué. Un test khi carré de Pearson a révélé une différence significative entre les deux groupes d'intervention pour la correction d'erreur à chacune des questions : $\chi^2(4; n = 600) = 14,61; p = 0,006$. Cependant, pour la

catégorie « amélioration », il n’y a pas de différence significative entre les groupes. Des différences entre les groupes sont observables pour les catégories « pas d’amélioration », « toujours bon » et « toujours mauvais ». Le tableau 4.2 présente ces résultats. Ces résultats seront discutés à la section 5.1.3.

Tableau 4.2 Analyse des réponses pour chaque homophone selon le groupe d’intervention

Correction d’erreur	Intervention					
	Contrôle		Expérimentale		Total	
	N	%	N	%	N	%
Amélioration	42 _a	14,0 %	38 _a	12,7 %	80	13,3 %
Pas d'amélioration	32 _a	10,7 %	18 _b	6,0 %	50	8,3 %
Régression	13 _a	4,3 %	23 _a	7,7 %	36	6,0 %
Toujours bon	161 _a	53,7 %	190 _b	63,3 %	351	58,5 %
Toujours mauvais	52 _a	17,3 %	31 _b	10,3 %	83	13,8 %
Total	300	100,0 %	300	100,0 %	600	100,0 %

Note. Chaque lettre en indice indique un sous-ensemble de catégories dont les proportions de colonnes ne diffèrent pas de manière significative les unes des autres au niveau 0,05. Pour chaque catégorie de correction d’erreur, lorsque la lettre est identique dans chaque colonne d’intervention, les groupes d’intervention ne sont pas significativement différents pour cette catégorie; si la lettre est différente, les groupes présentent des différences significatives pour cette catégorie.

4.4 Attention portée à la rétroaction ou en cours de tâche

Pour mesurer l’attention portée à la rétroaction ou lors de l’exécution de la tâche, quatre temps de réponse des participants (en millisecondes) ont été analysés.

Afin de vérifier s’il existe une différence entre les participants des deux groupes au niveau de l’attention portée pendant la tâche, une ANOVA à deux facteurs a permis de comparer le temps moyen à lire la question et à choisir une réponse (cliquer sur l’homophone approprié). Un test ANOVA factoriel 2 x 2 ($n = 100$, $M = 7590$, $ET = 2263$) a permis d’observer un effet significatif pour la variable *Niveau*; $F(3,1) = 4,41$, $p = 0,038$, $\eta^2 = 0,044$. Les élèves de 5^e année ont pris plus de temps à lire les questions et à fournir une réponse que les élèves de 6^e année. Aucun effet n’a été observé pour la variable *Intervention* ($p = 0,527$), ni pour l’interaction entre les variables *Niveau* et *Intervention* ($p = 0,174$).

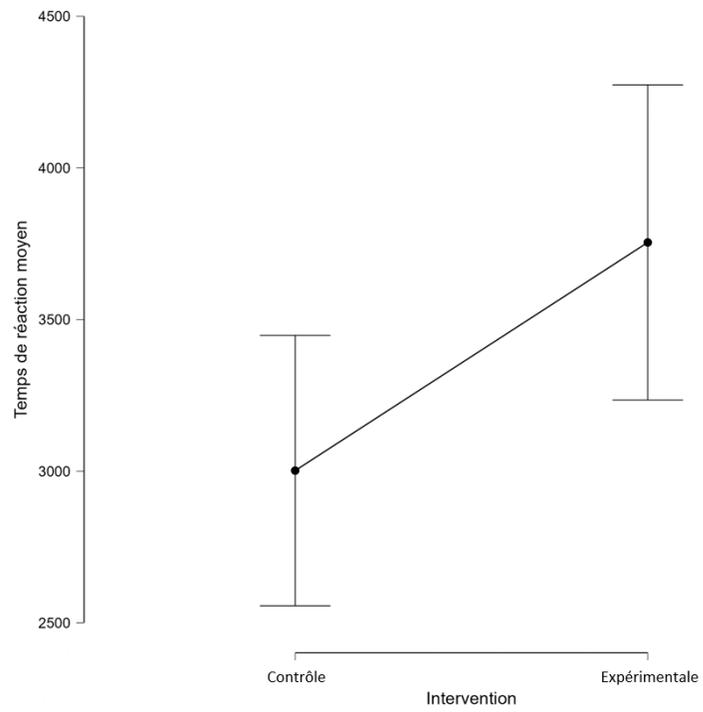
Pour vérifier l'attention portée à la rétroaction reçue, qu'elle soit positive ou négative, une ANOVA à deux facteurs a permis de comparer le temps moyen à lire la rétroaction à chaque question (manquée ou réussie) des participants des deux groupes d'intervention. Un test ANOVA factoriel 2×2 ($n = 100$, $M = 2799$, $ET = 1157$) a permis d'observer un effet significatif pour la variable *Niveau*; $F(3,1) = 5,31$, $p = 0,023$, $\eta^2 = 0,052$. Les élèves de 5^e année ont pris plus de temps à lire les rétroactions que les élèves de 6^e année. Aucun effet n'a été observé pour la variable *Intervention* ($p = 0,086$) et l'effet d'interaction entre la variable *Niveau* et *Intervention* n'est pas significatif ($p = 0,567$).

Dans le but de vérifier l'attention à la rétroaction positive quand le participant donne une bonne réponse, une ANOVA à deux facteurs a permis de comparer le temps moyen des participants des deux groupes d'expérimentation à lire la rétroaction à chaque question réussie (confirmation de la réponse et du raisonnement grammatical adéquat). Un test ANOVA factoriel 2×2 ($n = 100$, $M = 2643$, $ET = 1131$) a permis d'observer un effet significatif pour la variable *Niveau*; $F(3,1) = 4,42$, $p = 0,038$, $\eta^2 = 0,044$. Les élèves de 5^e année ont pris plus de temps à lire la rétroaction positive que les élèves de 6^e année. Aucun effet n'a été observé pour la variable *Intervention* ($p = 0,276$), ni pour l'interaction entre les variables *Niveau* et *Intervention* ($p = 0,725$).

Afin de vérifier l'attention à la rétroaction négative quand le participant donne une mauvaise réponse (attention liée à la correction d'erreurs), une ANOVA à deux facteurs a permis de comparer le temps moyen des participants des deux groupes d'intervention à lire la rétroaction à chaque question manquée (infirmité de la réponse et explication du raisonnement grammatical adéquat). Un test ANOVA factoriel 2×2 ($n = 90$, $M = 3353$, $ET = 1633$) a permis d'observer un effet significatif pour la variable *Intervention*; $F(3,1) = 7,03$, $p = 0,01$, $\eta^2 = 0,076$. Le temps de réponse moyen des participants du groupe expérimental est plus élevé que celui du groupe contrôle lors de la lecture de la rétroaction négative. Aucun effet n'a été observé pour la variable *Niveau* ($p = 0,116$) et l'effet d'interaction entre les variables *Niveau* et *Intervention* n'est pas significatif ($p = 0,882$).

L'intervention ayant eu un effet sur les participants des groupes, un test t à échantillons indépendants a permis d'observer que la différence entre le groupe contrôle ($n = 48$, $M = 3002$, $ET = 1535$) et le groupe expérimental ($n = 42$, $M = 3754$, $ET = 1667$) est significative et de taille d'effet élevée $t(88) = -2,23$; $p = 0,028$; IC 95% [81,28; 1423,38]; $d = 0,47$. La figure 4.7 présente les résultats de cette analyse.

Figure 4.7 Temps de réaction lié à la correction d'erreurs (attention portée à la rétroaction négative)



Les résultats obtenus grâce aux analyses des temps de réaction seront discutés à la section 5.1.4.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

Ce dernier chapitre présente l'interprétation des résultats exposés dans le chapitre précédent. Pour commencer, les effets des interventions sur les états d'esprit, sur les taux de réussite, sur l'amélioration en cours de tâche et sur les temps de réponse seront discutés. Ensuite, les limites de cette recherche seront présentées. Pour terminer ce chapitre, les retombées possibles dans le monde de l'éducation seront soulignées.

5.1 Interprétation des résultats

Cette section présente l'interprétation des résultats obtenus à la suite d'analyses statistiques. Les effets des interventions sur les états d'esprit, sur les taux de réussite, sur la correction d'erreurs et sur l'attention portée à la rétroaction seront analysés et interprétés en faisant des liens avec les écrits scientifiques.

5.1.1 Effets des interventions sur les états d'esprit

La présente recherche a émis l'hypothèse que l'enseignement du concept de neuroplasticité induirait un état d'esprit plus dynamique chez les élèves du groupe expérimental. Afin de vérifier cette hypothèse, les participants ont passé un test Likert visant à identifier leur état d'esprit après l'intervention. Il était attendu qu'il y aurait plus d'élèves dans le groupe expérimental qui démontreraient des signes d'un état d'esprit dynamique que dans le groupe contrôle.

Les résultats obtenus confirment cette hypothèse de recherche. En effet, à la suite de l'intervention, il y avait plus d'élèves qui avaient un état d'esprit dynamique dans le groupe expérimental que dans le groupe contrôle. Donc, les élèves qui ont reçu l'enseignement du concept de neuroplasticité sont plus nombreux à présenter des caractéristiques liées à ce type d'état d'esprit à la suite de l'intervention.

Certaines recherches (DeBacker *et al.*, 2018; Dekker et Jolles, 2015; Dommett *et al.*, 2013; Lanoë *et al.*, 2015) ont démontré que l'enseignement du concept de neuroplasticité pouvait induire un état d'esprit dynamique. La présente recherche arrive aux mêmes constatations. Parmi ces études, deux d'entre elles (DeBacker *et al.*, 2018; Dekker et Jolles, 2015) ont été réalisées avec des élèves du secondaire; il serait imprudent de comparer nos résultats de recherche aux leurs, puisque les états d'esprit peuvent évoluer dans le temps et avec les expériences. Les deux autres recherches (Dommett *et al.*, 2013; Lanoë *et al.*,

2015) avaient des participants d'un âge similaire à ceux de notre recherche; il est donc intéressant de comparer les résultats de ces études à ceux obtenus dans la présente étude.

La taille de l'effet de l'intervention de la présente recherche est élevée ($d = 0,62$), ce qui signifie qu'enseigner le concept de neuroplasticité aux élèves de troisième cycle du primaire influence efficacement leur état d'esprit pour qu'il soit plus dynamique. Lanoë *et al.* (2015) avaient mesuré l'ampleur de l'effet de leur intervention sur l'état d'esprit d'élèves de 10 ans et elle se situait à $d = 0,86$, ce qui est plus élevé que la taille d'effet de la présente étude. Cette différence pourrait s'expliquer par la durée totale des interventions (135 minutes) qui était plus longue que celle de notre recherche (100 minutes). Aussi, les périodes d'interventions étaient plus dispersées dans le temps (3 périodes de 45 minutes réparties sur deux semaines) que pour la présente recherche, qui incluait une seule séance. Enfin, la recherche de Lanoë *et al.* (2015) mentionne que les effets de l'intervention n'étaient pas perceptibles au post-test tout de suite après l'intervention, mais l'étaient plutôt un mois et demi après l'intervention.

La recherche de Dommett *et al.* (2013) est également arrivée à la conclusion que l'enseignement de la neuroplasticité influençait l'état d'esprit des participants. Les élèves du groupe expérimental avaient développé un état d'esprit plus dynamique 8 mois après l'intervention et les effets étaient toujours perceptibles 20 mois après l'enseignement neuroscientifique. Comme dans la recherche de Lanoë, il semble donc qu'un délai soit important pour observer une évolution dans les états d'esprit. Sur la base de ces constats, il y a lieu de croire que l'intervention de la présente étude aurait probablement eu un plus grand effet si le questionnaire sur les états d'esprit avait été réalisé quelques semaines plus tard, plutôt que tout de suite après l'intervention.

Dans la recherche de Blackwell *et al.* (2007), la taille d'effet calculée était de $d = 0,47$, ce qui est semblable à la taille d'effet obtenue dans la présente recherche. En plus d'expliquer la neuroplasticité, leur intervention expérimentale (8 périodes de 25 minutes, étalées sur 8 semaines) visait à enseigner la physiologie du cerveau, les méthodes d'études efficaces, la mémorisation et expliquait que l'intelligence est malléable (principe associé à un état d'esprit dynamique) à des élèves à risque de 12 et 13 ans. Cette intervention, un peu différente de la nôtre (qui cible seulement le concept de neuroplasticité), a donné des effets semblables sur l'état d'esprit dynamique. Il est toutefois surprenant de constater que les effets de leur intervention étaient légèrement moins importants que dans notre recherche, étant donné que le contenu enseigné présentait directement l'état d'esprit dynamique pendant deux séances. Cela dit, le

groupe contrôle de leur étude a également reçu un enseignement du fonctionnement cérébral, des méthodes efficaces pour étudier et de techniques de mémorisation, ce qui pourrait avoir influencé l'état d'esprit des participants de ce groupe pour qu'il soit plus dynamique, encourageant l'idée que les exercices et les efforts sont importants pour apprendre. Cette particularité de leur intervention pourrait aussi expliquer que la différence entre leurs deux groupes soit moins grande et de moins grande ampleur que dans la présente recherche.

La présente recherche confirme l'idée que l'enseignement du concept de neuroplasticité (expliquer aux enfants comment fonctionne leur cerveau lors d'un apprentissage) est un moyen très efficace pour induire un état d'esprit dynamique et pour changer les mentalités. Lorsqu'un apprentissage complexe présente un degré de difficulté élevé, l'élève doit croire en ses capacités pour la réussir adéquatement. Doucet *et al.* (2020) ont exposé que les élèves qui avaient un état d'esprit dynamique démontraient une perception de compétence plus élevée, puisqu'ils étaient moins préoccupés de commettre des erreurs. L'enseignement du fonctionnement cérébral semble favoriser le développement de ce type d'état d'esprit puisqu'il encourage la perception que l'erreur est une occasion d'apprendre, qu'il faut être attentif à la rétroaction pour pouvoir s'améliorer et permet aux élèves de comprendre que pendant l'apprentissage le cerveau se modifie pour devenir plus efficace. Cette intervention semble donc encourager l'idée que la pratique, les efforts et l'utilisation de stratégies efficaces permettent le développement des habiletés et des compétences, ce qui est cohérent avec l'état d'esprit dynamique.

Puisque les états d'esprit évoluent avec le temps, il est possible que l'intervention de cette recherche puisse produire des effets accrus si l'enseignement de la neuroplasticité s'était étalé sur plusieurs périodes d'apprentissage, durant une période de temps plus longue et en mesurant l'état d'esprit quelque temps après l'intervention.

5.1.2 Effets des interventions sur les taux de réussite

Notre projet entendait également examiner la validité de l'hypothèse suivante: les élèves qui auront bénéficié de l'enseignement du concept de neuroplasticité démontreront une meilleure capacité à corriger leurs erreurs à la suite de rétroactions.

Les premiers résultats ont confirmé cette hypothèse de recherche. En effet, les participants ayant reçu l'enseignement du concept de neuroplasticité ont, en moyenne, obtenu un meilleur taux de réussite à la

tâche que ceux ayant vécu l'intervention contrôle. Sur un total de 30 points, le groupe expérimental a obtenu un résultat moyen supérieur de 2,62 points en comparaison avec le groupe contrôle, ce qui correspond à une différence de 8,73 %. En d'autres termes, nos résultats suggèrent qu'une intervention d'environ 100 minutes est suffisante pour améliorer les taux de réussite de presque 9 %.

Cependant, il est important d'apporter certaines nuances à ces résultats. Au départ, les participants visés étaient ceux du troisième cycle du primaire et les analyses initiales ont été exécutées sans distinction des niveaux scolaires (5^e et 6^e année), le Programme de Formation de l'École Québécoise (PFEQ) étant basé sur des cycles d'apprentissages. La dictée diagnostique avait d'ailleurs permis de vérifier l'équivalence des groupes et ceux-ci étaient statistiquement équivalents.

Toutefois, un essai contrôlé randomisé des élèves n'a pu être utilisé pour la formation des groupes, compte tenu des mesures sanitaires appliquées dans l'école visant à contrer la propagation de COVID-19. Par conséquent, ce sont les groupes-classes qui ont été attribués soit au groupe contrôle, soit au groupe expérimental soumis à l'intervention. Malheureusement, le nombre d'élèves de chaque niveau (5^e ou 6^e année) était inégal dans chaque groupe, si bien qu'on retrouvait 14 élèves de 5^e année et 36 élèves de 6^e année dans le groupe expérimental, alors que le groupe contrôle était formé de 11 élèves de 6^e année et de 39 élèves de 5^e année. Cette grande différence entre le nombre d'élèves de chaque niveau dans chacun des groupes a possiblement eu un impact important sur les résultats obtenus. En effet, la surreprésentation des élèves de 5^e année dans le groupe contrôle, étant 3,5 fois plus nombreux que les élèves de 6^e année, est susceptible d'avoir diminué la moyenne de performance du groupe contrôle. À l'inverse, les élèves de 6^e année du groupe expérimental, 2,57 fois plus nombreux que ceux de 5^e année, pouvaient faire augmenter la moyenne du groupe expérimental. Des analyses statistiques supplémentaires ont donc été nécessaires, étant donné que la tâche expérimentale évaluait des connaissances grammaticales et qu'une année supplémentaire d'apprentissage pouvait influencer les taux de réussite.

Ainsi donc, le résultat de cette analyse a révélé que seul le niveau scolaire influençait les taux de réussite à la tâche grammaticale et non l'intervention. En effet, les participants de 6^e année ont significativement mieux réussi la tâche expérimentale et ont obtenu de meilleurs taux de réussite que les élèves de 5^e année et ce, peu importe le groupe (contrôle ou expérimental). Bien que ces résultats ne permettent pas de confirmer l'hypothèse que l'enseignement du concept de neuroplasticité améliore les taux de réussite, ils

sont peu surprenants. En effet, il semble normal que les élèves de 6^e année réussissent mieux la tâche grammaticale que ceux de 5^e année, ceux-ci ayant vécu une année scolaire supplémentaire.

Par ailleurs, puisque ce projet n'avait pas initialement prévu de contraster les résultats selon le niveau scolaire, le nombre d'élèves de chacun des niveaux selon les groupes est réduit. Il est donc possible que nos résultats n'aient pas permis de détecter les effets escomptés par manque de puissance statistique. Ainsi, des recherches futures ayant un nombre plus important de participants de 5^e année pourraient tenter de vérifier si l'enseignement du concept de neuroplasticité a des effets plus significatifs sur la réussite des élèves de ce niveau scolaire.

Puisqu'aucune autre étude recensée n'a été faite à la fois avec la même intervention (enseignement du concept de neuroplasticité), le même groupe d'âge (10-12 ans) et le même contenu scolaire (notion grammaticale), il importe de demeurer prudents pour comparer ces études avec la présente recherche. En effet, les variables sont très différentes d'une étude à l'autre, ce qui rend difficiles les comparaisons. Cependant, il est intéressant de comparer nos résultats avec ceux d'études dont les participants avaient un âge et une intervention semblables. Deux recherches répondent à ces critères : la recherche de Lanoë *et al.* (2015) qui s'est faite avec des participants de 10 ans et celle de Blackwell *et al.* (2007) qui faisait une intervention auprès d'élèves à risque de 12-13 ans .

Dans la recherche de Lanoë *et al.* (2015), qui s'est intéressée à mesurer l'impact d'un enseignement neuroéducatif chez des élèves de 10 ans, les effets sur la réussite en lecture ont été très importants ($d = 0,92$) à la suite de l'intervention. Toutefois, le petit nombre de participants de cette étude (seulement 33 participants) rend difficile la généralisation des résultats obtenus sur la réussite. De plus, dans cette recherche, la lecture était évaluée à l'aide d'un test chronométré. En fait, la tâche concernait l'orthographe lexicale : l'élève avait 2 minutes pour repérer les mots mal orthographiés dans une liste et les barrer. Cette tâche implique donc de connaître l'orthographe des mots; ce sont des connaissances mémorisées. Répondre à des questions le plus rapidement possible ajoute un facteur de stress pour les élèves et ce type d'épreuve exige de produire rapidement une réponse, sans nécessairement favoriser un raisonnement complexe. Dans une tâche chronométrée, il est possible que les élèves qui avaient un état d'esprit fixe (plus nombreux dans le groupe contrôle), ayant des buts de performance, aient moins bien réussi ces tâches, ce qui expliquerait une plus grande différence entre les taux de réussite des participants

des groupes contrôle et expérimental (qui comportait plus d'élèves ayant développé un état d'esprit dynamique) de cette étude.

Le fait que les effets varient selon le type de contenu évalué peut s'expliquer par les exigences cognitives différentes propres aux disciplines et à la nature de la tâche. Il apparaît donc cohérent que l'évaluation d'une compétence grammaticale, comme dans la présente recherche, donne des résultats différents de ceux obtenus à l'aide d'une tâche de connaissances lexicales. La tâche de sélection de l'homophone approprié demande une analyse exigeante des composantes de la phrase et de la relation entre les mots; c'est un apprentissage complexe. Les résultats de la présente recherche ont révélé que notre intervention n'avait eu un effet sur la réussite, mais que c'était plutôt le niveau scolaire qui expliquait la différence de moyennes entre les deux groupes. Cela pourrait s'expliquer par la nature de cet apprentissage complexe; ce ne sont pas seulement des connaissances à aller chercher en mémoire, mais tout un processus grammatical à appliquer qui demande du temps et de faire les liens entre les classes de mots; une année scolaire supplémentaire a favorisé le développement de cette compétence. Aussi, dans l'étude de Lanoë *et al.* (2015), l'enseignement neuroéducatif s'est fait en trois périodes de 45 minutes réparties sur deux semaines. Ainsi, les périodes étaient étalées dans le temps, contrairement à l'intervention de la présente recherche qui se donnait en une seule période de 100 minutes consécutives. Les 35 minutes supplémentaires à notre intervention ainsi que l'étalement des périodes d'apprentissage pourraient aussi expliquer des effets plus grands sur la réussite.

Dans leur étude, l'équipe de Blackwell *et al.* (2007) a remarqué que l'enseignement du fonctionnement cérébral et l'induction d'un état d'esprit dynamique avaient un effet important sur les résultats en mathématiques ($d = 0,62$). La différence entre les effets de l'intervention de la présente recherche et ceux de la recherche de l'équipe de Blackwell peut possiblement encore une fois s'expliquer par la matière scolaire évaluée qui sollicite des capacités cognitives distinctes et par le temps consacré à l'intervention. En effet, la durée de leur intervention était de 8 cours de 25 minutes, pour un total de 200 minutes étalées sur huit semaines, alors que l'intervention de la présente recherche avait une durée d'environ 100 minutes consécutives. Il apparaît donc logique qu'une intervention deux fois plus longue ait un effet plus grand. De plus, les participants de la recherche de Blackwell étaient des élèves à risque, alors que notre recherche incluait tous les élèves; il est probable que les élèves à risque profitent davantage de l'intervention puisqu'ils ont une plus grande marge de manœuvre pour pouvoir s'améliorer; les élèves performants obtenant déjà de bons résultats, il est plus difficile d'observer une amélioration. Enfin, la réussite était

mesurée par les notes finales en mathématiques et ce résultat se basait sur des tests, des devoirs, un projet et la participation en classe. Il est possible que l'enseignement du fonctionnement cérébral, des méthodes d'étude efficaces et de l'idée que l'intelligence peut évoluer ait eu un effet sur l'attitude générale des élèves, sur leur niveau de participation ou sur les méthodes de travail appliquées, ce qui a donné de meilleures notes finales que si la réussite n'avait été évaluée que par une tâche ponctuelle, un test par exemple, comme dans la présente recherche.

Une recherche future pourrait s'intéresser à mesurer les effets du même contenu enseigné lors de notre intervention, mais réparti sur plusieurs périodes d'apprentissages plus courtes et dispersées dans le temps. Il serait également intéressant de mesurer la réussite à l'aide de résultats plus globaux, comme la note finale d'un bulletin. Finalement, cibler une clientèle d'élèves à risque permettrait sûrement d'observer des effets plus grands de l'enseignement du concept de neuroplasticité sur leur réussite, ceux-ci ayant plus la possibilité de pouvoir s'améliorer.

5.1.3 Effet des interventions sur la correction d'erreur

La présente recherche avait émis l'hypothèse que les participants du groupe expérimental auraient une meilleure capacité à corriger leurs erreurs et que cela se refléterait dans le taux global de bonnes réponses. Une analyse détaillée des réponses à chaque question a permis de vérifier la progression dans la correction d'erreurs des élèves. Les réponses de chaque participant ont été regroupées selon l'homophone et catégorisées afin d'observer s'il y avait amélioration en cours de tâche. Les résultats ont montré que pour la catégorie « amélioration », il n'y avait pas de différence significative entre les groupes; cela signifie que le nombre de questions lors desquelles les participants se sont améliorés en cours de tâche est similaire dans les deux groupes. Cependant, le nombre de questions où le participant a toujours répondu correctement (catégorie « toujours bon ») est significativement plus important dans le groupe expérimental que dans le groupe contrôle (voir le tableau 4.2), ce qui explique pourquoi ils ne peuvent s'améliorer. En effet, si un participant donne toujours la bonne réponse dans le choix de l'homophone approprié, il n'a pas la possibilité de démontrer une amélioration, ayant déjà un résultat parfait.

Aussi, il y a plus de questions liées à un même homophone pour lesquelles les participants ne se sont pas améliorés (catégorie « pas d'amélioration ») dans le groupe contrôle que dans le groupe expérimental (la différence est significative). En d'autres mots, il n'y a pas eu d'évolution dans leur capacité à corriger leurs erreurs, puisque le nombre de bonnes réponses était le même dans la première partie de la tâche et dans

la deuxième partie. De plus, il y a une différence significative entre les groupes pour la catégorie « toujours mauvais »; les élèves du groupe contrôle ont plus souvent toujours donné la mauvaise réponse que ceux du groupe expérimental. Ils n'ont donc pas porté attention à la rétroaction négative ou encore ils n'ont pas compris ou appliqué les explications données par la rétroaction négative leur permettant de corriger leurs erreurs.

Les analyses de la correction d'erreur à chacune des questions semblent confirmer l'idée que les participants du groupe expérimental se sont davantage améliorés en cours de tâche. Toutefois, il faut être prudent lors de la formulation de conclusions. Effectivement, la tâche comportait seulement 30 questions; 5 questions pour chacun des 6 homophones. Ainsi, chaque participant devait démontrer une amélioration en seulement 5 questions portant sur un même homophone et les homophones étaient présentés de façon aléatoire. La marge de manœuvre pour s'améliorer est alors mince. Il aurait certainement été plus facile de démontrer l'amélioration des participants si la tâche avait comporté plus de questions pour chacun des homophones. Une recherche future pourrait modifier la tâche pour qu'elle ait plus de questions par homophone.

5.1.4 Effet des interventions sur l'attention portée à la rétroaction

La présente étude a également innové en mesurant l'attention portée à la rétroaction fournie ou pendant la tâche, en mesurant le temps de réaction des participants. Ainsi, quatre temps de réaction (en millisecondes) ont été analysés. Les trois premières analyses (temps passé à lire la question et à choisir une réponse, le temps passé à lire la rétroaction positive ou négative et le temps passé à lire la rétroaction positive) ont démontré que la différence entre les temps de réponse dépendait du niveau scolaire : les élèves de 5^e année répondent moins vite que ceux 6^e année. L'intervention n'a pas procuré un effet significatif sur l'attention portée à la tâche, à la rétroaction en général et à l'attention portée lors de la confirmation d'une question réussie.

Par contre, les analyses visant à comparer l'attention à la rétroaction négative (quand le participant donne une mauvaise réponse) ont procuré des résultats très intéressants. En effet, l'intervention a procuré un effet sur le temps moyen des participants du groupe expérimental à lire la rétroaction à chaque question manquée. Lorsque le participant ne répondait pas adéquatement à une question, il recevait une rétroaction négative qui infirmait sa réponse et lui donnait une explication du raisonnement grammatical adéquat. La rétroaction négative est liée à la correction d'erreurs, puisqu'elle permet au participant de

comprendre son erreur pour ne plus la refaire. Plusieurs études mentionnées dans le cadre théorique (Bejjani *et al.*, 2019; Mangels *et al.*, 2006; Moser *et al.*, 2011; Myers *et al.*, 2016; Schroder *et al.*, 2017; Schroder *et al.*, 2014) ont démontré que les personnes qui ont un état d'esprit dynamique ont une plus grande attention en cours de tâche et à la suite de rétroactions. Ils activent davantage des régions cérébrales comme le cortex cingulaire antérieur et le cortex préfrontal dorsolatéral, régions liées à l'attention portée aux erreurs. Les résultats de la présente recherche appuient les observations obtenues en laboratoire lors des recherches citées : l'état d'esprit dynamique favorise les mécanismes neurocognitifs associés à l'attention portée à la rétroaction négative et à la correction d'erreurs.

L'intervention de la présente étude, soit l'enseignement du concept de neuroplasticité, a permis aux participants de développer un état d'esprit plus dynamique. Les analyses des temps de réponse ont démontré que l'intervention avait eu un effet sur l'attention portée à la rétroaction négative, mais pas sur l'attention portée à la rétroaction positive. Une explication plausible est que la rétroaction négative exige plus d'efforts, demande de modifier un processus pour produire une nouvelle réponse et que conséquemment l'état d'esprit joue un rôle plus important avec ce type de rétroaction. Aussi, comme expliqué dans le cadre théorique, les personnes ayant un état d'esprit dynamique considèrent l'erreur comme une occasion d'apprendre et de s'améliorer tandis que les personnes ayant un état d'esprit fixe semblent considérer l'erreur comme un échec. Il apparaît donc raisonnable de supposer que les élèves ayant vécu l'intervention et présentant des signes d'un état d'esprit dynamique accordent plus de temps à lire la rétroaction négative.

5.2 Limites et recherches futures

La première limite à cette recherche est liée à la composition des groupes d'intervention. Comme il a été expliqué quelques fois dans ce mémoire, les consignes sanitaires appliquées dans l'école visant à éviter la propagation de COVID-19 au moment de l'expérimentation ne permettaient pas de faire un essai contrôlé randomisé des participants dans chacun des groupes. Trois classes ont été associées à l'intervention contrôle et les trois autres à l'intervention expérimentale, ce qui a mené à une répartition inégale des élèves de chaque niveau scolaire dans chacun des groupes (le groupe expérimental comprenait 14 élèves de 5^e année et 36 élèves de 6^e année tandis que le groupe contrôle était formé de 11 élèves de 6^e année et de 39 élèves de 5^e année). Ce déséquilibre apportait une variable confondante pouvant influencer les résultats obtenus. Une recherche future pourrait reproduire le devis de la présente étude en s'assurant d'avoir un nombre égal d'élèves de chaque niveau dans chacun des groupes, ou encore de sélectionner

des élèves d'un seul niveau scolaire. En effet, il semble y avoir certaines distinctions à faire entre les participants de 5^e année et ceux de 6^e année au plan des taux de réussite à la tâche grammaticale, des temps de réaction à lire les questions et y répondre et de l'attention portée à la rétroaction positive. Enseigner le concept de neuroplasticité et observer les effets sur des participants d'un seul niveau scolaire éviterait que le niveau apporte un biais confondant dans les résultats.

La deuxième limite de cette recherche est l'échantillon retenu. En effet, les participants ne provenaient que d'une seule école. Bien que le choix de cette école se soit fait avec le souci de sélectionner un milieu représentatif de la population du Québec (école publique régulière, indice socio-économique moyen, niveaux de performance variés des élèves), il serait imprudent de généraliser les résultats à l'ensemble des élèves québécois. Il y aurait donc lieu de vérifier la réplicabilité des résultats dans plusieurs écoles présentant des caractéristiques diversifiées à travers la province et même dans d'autres pays.

En ce qui concerne les états d'esprit, l'enseignement du concept de neuroplasticité a produit des effets sur l'évolution de ceux-ci, les participants du groupe expérimental ayant davantage développé un état d'esprit dynamique que ceux du groupe contrôle. Toutefois, on ignore si les effets observés persistent dans le temps puisque la recherche n'était pas longitudinale, ce qui représente une autre de ses limites. Ainsi, puisque les états d'esprit évoluent avec le temps, il serait intéressant de mesurer l'état d'esprit à l'aide d'un post-test réalisé quelques semaines et même quelques mois après l'intervention pour voir si les effets sont toujours perceptibles. Des recherches futures incluant de telles mesures seraient nécessaires.

Une autre limite de la recherche concerne son manque de puissance statistique pour détecter les effets de l'enseignement du concept de neuroplasticité sur les taux de réussite des élèves à la tâche. En effet, puisque le calcul de puissance et le nombre de participants ont été déterminés sans tenir compte du niveau scolaire, il est possible que le nombre d'élèves par niveau ait été insuffisant pour détecter des effets par niveau. Cette limite semble particulièrement plausible pour expliquer que la tendance observée pour les élèves de 5^e année, dont le groupe expérimental tendait à mieux performer que le groupe contrôle, n'ait pu être détectée statistiquement. Comme mentionné plus haut, il serait donc intéressant qu'une étude future cible uniquement des participants de 5^e année, avec un échantillon plus grand d'élèves de ce niveau scolaire.

Ensuite, il n'est pas possible d'affirmer avec assurance que les participants du groupe expérimental ont réellement corrigé leurs erreurs en cours de tâche, car il est probable que la tâche n'ait pas été assez longue pour voir une évolution de la performance. Il est également possible que le nombre de questions lors de la tâche (seulement 30 questions, dont 5 par homophone) ait été insuffisant pour observer une évolution significative de la réussite. Effectivement, il est difficile pour les participants de démontrer une amélioration en seulement 5 questions. Une tâche plus longue, comportant davantage de questions pour chaque homophone, aurait possiblement permis une analyse statistique plus significative. De plus, la tâche concernait la maîtrise de l'application de six homophones différents, ce qui impliquait beaucoup de notions à apprendre en cours de tâche (les explications grammaticales étant données lors de la rétroaction suivant chaque réponse). Afin de tester si les élèves ayant vécu l'intervention expérimentale parviennent mieux à corriger leurs erreurs et à s'améliorer, une recherche future pourrait utiliser la même tâche (choix d'un homophone approprié dans une phrase trouée), mais la soumettre aux participants à plusieurs reprises (en modifiant les phrases pour éviter que l'élève donne une réponse apprise par cœur et n'applique pas le raisonnement grammatical approprié). Ainsi, il pourrait être possible de voir si le taux de réussite augmente d'une fois à l'autre puisque l'élève corrigera les réponses erronées en portant attention à la rétroaction.

Une autre limite à la présente étude est la généralisation des résultats à d'autres tâches. La tâche expérimentale ciblait la maîtrise de notions grammaticales. Il serait pertinent de tester si notre intervention peut améliorer la réussite dans une tâche ciblant d'autres matières scolaires. Dans ce cas, il faudrait s'assurer de fournir une rétroaction immédiate pour faciliter la correction des erreurs, ce qui était possible grâce à une tâche à l'ordinateur. Il n'est pas évident d'assurer cette rétroaction immédiate de la part de l'enseignant dans un contexte régulier d'un groupe-classe, ce dernier comprenant un nombre important d'élèves. Toutefois, une recherche future pourrait trouver une autre façon de donner une rétroaction aux élèves et de vérifier si les participants sont plus en mesure de corriger leurs erreurs à la suite de la rétroaction et après avoir reçu l'enseignement du concept de neuroplasticité.

5.3 Retombées de la recherche

Les résultats de cette recherche amènent de nouvelles connaissances scientifiques qui peuvent avoir des retombées dans le milieu de l'éducation. Effectivement, aucune autre recherche recensée ne précisait si l'enseignement du concept de neuroplasticité pouvait avoir des impacts positifs sur l'état d'esprit et sur l'attention portée à la rétroaction permettant la correction d'erreurs efficace dans une tâche scolaire chez

les élèves du primaire. La présente recherche contribue donc au développement des connaissances, puisqu'elle démontre que l'enseignement de la neuroplasticité est un outil qui favorise le développement d'un état d'esprit dynamique et améliore l'attention portée à la rétroaction négative.

Les résultats de cette recherche ont également des retombées pédagogiques, notamment parce que l'enseignement du concept de neuroplasticité est une intervention qui demande peu de ressources monétaires et temporelles. Expliquer aux élèves le fonctionnement de leur cerveau lorsqu'ils font un apprentissage est en effet une intervention simple et peu coûteuse. Un grand nombre d'enseignants pourraient choisir d'utiliser les activités pédagogiques proposées afin de mettre en place des conditions favorables à la réussite scolaire. Même sans formation en neuroéducation, un enseignant pourrait inclure les activités d'apprentissage (intervention expérimentale) dans ses périodes d'enseignement et influencer l'état d'esprit et la réussite de ses élèves. Comme expliqué précédemment, 100 minutes d'enseignement sont suffisantes pour favoriser un état d'esprit dynamique et une meilleure attention à la rétroaction négative, ce qui représente très peu dans le temps d'enseignement d'une année scolaire, d'autant plus que cette intervention pourrait être réalisée dans le cadre du cours de sciences. Qui plus est, les activités d'apprentissage proposées sont simples et accessibles à tous, même sans formation spécifique sur la neuroplasticité. Faite en début d'année, cette intervention pourrait avoir des effets sur les états d'esprit des élèves et pourrait les aider à considérer les erreurs comme des occasions d'apprendre et à persévérer lors d'apprentissages complexes tout au long de l'année scolaire et peut-être même ultérieurement.

Parler de neuroplasticité aux élèves pourrait également donner le goût aux enseignants d'en savoir plus sur le cerveau et sur les stratégies d'enseignement et d'apprentissage favorisant la réussite, ce qui pourrait avoir des retombées éducatives intéressantes. La neuroéducation est un domaine relativement récent, mais de plus en plus documenté grâce aux recherches scientifiques. Aussi, l'intervention pourrait contribuer à susciter l'intérêt des enseignants à participer à des formations sur le fonctionnement du cerveau en situation d'apprentissage. Ainsi, grâce à la présente recherche, de plus en plus d'enseignants pourraient choisir de se former, d'appliquer des principes généraux didactiques issus de la recherche et de modifier certaines de leurs méthodes pédagogiques pour favoriser la réussite.

Une autre retombée de cette étude concerne la compréhension des mécanismes cérébraux liés à l'état d'esprit. En effet, cette recherche a ciblé une tâche complexe (avec une charge cognitive élevée) et a postulé que l'état d'esprit faisait une différence sur la capacité à s'améliorer à la suite de la rétroaction.

Plusieurs recherches avaient déjà fait le lien entre les mécanismes neurocognitifs expliquant l'influence de l'état d'esprit sur l'attention portée à la rétroaction et sur la correction d'erreurs : l'état d'esprit dynamique renforce les connexions entre le striatum (région associée à la persévérance et à la motivation), le cortex cingulaire antérieur et le cortex préfrontal dorsolatéral (régions activées lors de la correction d'erreurs). Cependant, aucune des études recensées n'établissait ce lien dans une tâche typiquement scolaire avec des élèves du primaire. La présente recherche amène un nouvel éclairage à propos des mécanismes liés à l'efficacité de l'enseignement de la neuroplasticité sur l'état d'esprit et sur l'attention portée à la rétroaction négative. Le concept de neuroplasticité influence l'état d'esprit puisqu'il renforce l'idée qu'il faut fournir des efforts et persévérer (les connexions neuronales demandant du temps et de la pratique) et corriger rapidement ses erreurs (afin qu'elles ne soient pas consolidées). Cette étude est la première, à notre connaissance, à faire le lien entre l'enseignement de la neuroplasticité et son impact sur la correction d'erreurs, ce qui représente une contribution importante.

CONCLUSION

Les apprentissages difficiles présentent un risque d'erreur élevé et pour bien les réussir, les élèves doivent croire en leurs capacités. L'état d'esprit d'un élève influence ses croyances concernant les erreurs, ce qui pourrait favoriser sa réussite dans des tâches scolaires. Les élèves ayant un état d'esprit dynamique verraient les erreurs comme des occasions d'apprendre et considéreraient qu'il est important de fournir des efforts pendant l'apprentissage. Cette attitude permettrait d'augmenter les ressources cognitives allouées à une tâche et influencerait positivement la performance lors d'apprentissages complexes. L'état d'esprit dynamique favorise aussi l'attention portée aux erreurs et la capacité des individus à corriger celles-ci. Bien qu'il existe des recherches ayant étudié la relation entre l'état d'esprit, la motivation et la réussite, la relation spécifique entre l'état d'esprit dynamique et la correction d'erreur n'a fait l'objet d'étude que dans un petit nombre de recherches menées en laboratoire.

Cette étude avait comme objectif de vérifier si l'enseignement du concept de neuroplasticité en classe a des effets sur l'état d'esprit et sur la capacité à corriger des erreurs à la suite de rétroactions. La neuroplasticité a été définie comme étant la capacité du cerveau à modifier ses connexions neuronales pendant un apprentissage. Trois hypothèses avaient été formulées. La première était que l'enseignement de la neuroplasticité induirait un état d'esprit dynamique, la deuxième hypothèse était que cet enseignement améliorerait la correction d'erreurs, ce qui serait observable dans les taux de réussite, et la troisième hypothèse était que l'intervention favoriserait l'attention portée à la rétroaction négative.

Une centaine d'élèves de troisième cycle du primaire (5^e et 6^e années) issus de six groupes-classes ont participé à cette étude. La moitié des élèves ont vécu l'intervention expérimentale, soit l'enseignement du concept de neuroplasticité et l'autre moitié ont vécu l'intervention contrôle, un enseignement de notions liées au domaine de l'astronomie. D'une durée de 100 minutes, les activités pédagogiques de chaque groupe étaient vécues dans le même ordre, mais le sujet était différent; lecture d'un texte en grand groupe, visionnement d'extraits vidéo, visionnement d'un diaporama, lecture d'un texte de façon individuelle et participation à un quizz en équipe. À la suite de ces interventions, les participants devaient remplir un questionnaire dans le but d'identifier leur état d'esprit et devaient également effectuer une tâche grammaticale à l'ordinateur visant à vérifier la correction d'erreur à la suite de rétroactions.

Les résultats obtenus grâce à cette recherche sont encourageants. En effet, les analyses statistiques ont révélé qu'il y a eu plus d'élèves dans le groupe expérimental qui ont développé un état d'esprit dynamique que dans le groupe contrôle et la taille de l'effet est élevée. Ces résultats soulignent que l'enseignement de la neuroplasticité influence l'état d'esprit pour qu'il soit plus dynamique.

Les résultats des analyses quantitatives ont révélé des taux de réussite plus grands à la tâche grammaticale chez les élèves ayant vécu l'intervention expérimentale. Toutefois, l'enseignement du concept de neuroplasticité n'a pas donné un effet significatif sur la réussite des participants l'ayant reçu. En effet, les différences entre les groupes s'expliquaient plutôt par le niveau scolaire des élèves. Cet effet est probablement attribuable à une variable confondante : le nombre de participants inégal de chaque niveau scolaire dans chacun des groupes d'intervention. Il serait intéressant qu'une recherche future reproduise l'étude avec un nombre plus grand d'élèves de 5^e année, chez qui l'effet de l'intervention sur les taux de réussite à la tâche grammaticale semble plus important.

Au-delà de la comparaison des moyennes des deux groupes, les analyses plus précises liées à l'évolution des réponses en cours de tâche laissent présumer que les élèves du groupe expérimental démontrent probablement une meilleure capacité à corriger les erreurs. En effet, l'évolution des réponses en cours de tâche a été catégorisée et la différence entre les groupes est significative. De plus, les élèves qui ont vécu l'intervention expérimentale passent plus de temps à lire la rétroaction négative, signe d'une plus grande attention portée à ce type de rétroaction et possiblement d'une plus grande volonté à comprendre et à corriger les erreurs commises. Pour confirmer que l'intervention a aidé les participants à être plus vigilants et a permis une meilleure correction d'erreurs en cours de tâche, il serait intéressant de tester les participants avec une tâche expérimentale plus longue. Cela permettrait de mieux constater l'évolution de leur performance et d'affirmer que les erreurs commises ont été corrigées à la suite de rétroactions.

À la lumière de nos observations, l'enseignement du concept de neuroplasticité favorise un état d'esprit dynamique, encourageant l'idée qu'il faut fournir des efforts et porter attention à la rétroaction négative pour s'améliorer. Puisque la neuroplasticité permet d'expliquer pourquoi certaines erreurs peuvent être difficiles à corriger si elles ont été renforcées par la pratique et la répétition, il est probable que les élèves qui ont reçu cet enseignement soient plus sensibles à la rétroaction et comprennent mieux l'importance de corriger rapidement leurs erreurs afin que leurs cerveaux ne les consolident pas.

De plus, l'enseignement du concept de neuroplasticité permet aux élèves de comprendre que pendant l'apprentissage, le cerveau se modifie pour devenir plus efficace. Lorsque l'apprenant comprend qu'il a un pouvoir sur son architecture cérébrale et qu'il peut modifier ses connexions neuronales lors d'un apprentissage, son engagement est certainement encouragé. Les efforts investis lors de son parcours scolaire feront du sens, non seulement pour obtenir de bons résultats scolaires, mais également pour favoriser les apprentissages durables et la réussite académique.

L'intervention utilisée dans le cadre de cette recherche aurait sans doute pu être plus efficace si les activités d'apprentissage avaient été réparties sur plusieurs périodes d'enseignement et si la durée totale de l'intervention avait été plus longue. De plus, comme mentionné dans d'autres études, il semble qu'un délai soit nécessaire pour observer une évolution dans les états d'esprit. Ainsi, si les participants avaient rempli le questionnaire sur les états d'esprit quelques semaines plus tard, l'effet de l'intervention aurait été probablement encore plus important. Une recherche future pourrait examiner la validité de ces hypothèses.

Cette intervention étant simple, efficace et demandant peu de ressources matérielles, monétaires et temporelles, tous les enseignants sont encouragés à parler du fonctionnement du cerveau aux apprenants. Dans plusieurs recherches, cette pratique a démontré d'importantes retombées éducatives, parce qu'elle induit un état d'esprit plus dynamique, permet de favoriser l'activation des mécanismes cérébraux liés à la correction d'erreurs et d'améliorer l'attention portée à la rétroaction. Les apprentissages difficiles et les tâches complexes nécessitent des efforts et de la persévérance; ils seront certainement mieux réussis si l'élève croit en sa capacité de progresser et s'il comprend comment fonctionne son cerveau lors d'un apprentissage.

Pour terminer, cette recherche amène une meilleure compréhension des mécanismes liés à l'efficacité de l'enseignement de la neuroplasticité sur l'état d'esprit et sur l'attention portée à la rétroaction négative. À notre connaissance, cette recherche est d'ailleurs la première à observer l'impact de l'enseignement du concept de neuroplasticité sur la correction d'erreurs dans une tâche scolaire chez des élèves du primaire.

L'intervention de la présente recherche, l'enseignement du concept de neuroplasticité, a donné des résultats encourageants, permettant le développement d'un état d'esprit dynamique et favorisant l'attention portée à la rétroaction négative. Conséquemment, il est possible de conclure que

l'enseignement du concept de neuroplasticité offre des bénéfices intéressants pour les élèves du primaire et que les enseignants qui choisissent d'enseigner ce concept pourraient favoriser la réussite des élèves.

ANNEXE A

FORMULAIRE D'ENGAGEMENT DES ENSEIGNANTS



FORMULAIRE D'ENGAGEMENT

Titre du projet de recherche

Comparaison des effets de l'enseignement de deux thèmes scientifiques sur la réussite scolaire.

Étudiante-chercheuse

Eve St-Germain Duval, candidate à la maîtrise en didactique, Université du Québec à Montréal (514-521-7509, st-germain-duval.eve@courrier.uqam.ca)

Direction de recherche

Steve, Masson, Ph.D., département de didactique, Université du Québec à Montréal (514-987-3000 poste 5502, masson.steve@uqam.ca)

Description du projet et de ses objectifs

Dans le cadre d'un projet de recherche de maîtrise, cette étude vise à comparer les effets de deux thèmes scientifiques sur la réussite scolaire. Tous les élèves du troisième cycle de l'école (5^e et 6^e années du primaire) sont invités à participer à l'étude.

Objectifs poursuivis : L'objectif de ce projet de recherche est de vérifier si la réussite scolaire des élèves peut être favorisée par une intervention pédagogique, soit l'enseignement de notions d'un sujet scientifique.

Nature et durée de la participation

La chercheuse vous rencontrera pour vous expliquer le projet de recherche, votre rôle et ce que vous enseignerez. Elle s'assurera de répondre à toutes vos questions. Un document explicatif vous sera remis, précisant la durée des activités, le contenu et les notions que vous devrez enseigner aux élèves.

Vous devrez faire l'enseignement d'un sujet scientifique (neuroplasticité ou notions sur le système solaire et l'espace) pendant environ 100 minutes, lors de deux périodes consécutives en avant-midi. Le sujet scientifique que vous aborderez avec vos élèves sera pigé au hasard. Les activités d'apprentissage sont le visionnement d'extraits vidéo, la lecture de textes, une présentation PowerPoint et un mini-quiz interactif. Toutes les activités seront fournies et aucune préparation n'est nécessaire de votre part.

Les élèves dont les parents auront signé et retourné le formulaire de consentement rempliront ensuite un questionnaire Likert de six questions (10 minutes) tout de suite après les activités d'apprentissage; vous devrez lire six énoncés à haute voix et remettre les questionnaires à la chercheuse. Les élèves feront une tâche à l'ordinateur (environ 30 minutes) lors de l'après-midi; vous devrez superviser l'activité et fournir du travail aux élèves qui n'auront pas accepté de participer à l'étude (par exemple; lecture individuelle).

Avantages liés à la participation

Il n'y a aucun avantage direct que les participants peuvent espérer recevoir de leur participation au projet de recherche. Toutefois, les enseignants-collaborateurs qui accepteront de participer à l'étude pourront conserver les deux séquences d'activités pédagogiques « clé-en-main » et les réutiliser dans leur pratique autant de fois que désiré. Par ailleurs, les résultats découlant de cette recherche contribueront à l'avancement des connaissances scientifiques dans le domaine de l'éducation. Ce projet présente le potentiel de trouver des contenus d'enseignement qui favorisent la réussite scolaire.

Participation volontaire

La participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer. Si vous ne désirez pas collaborer à l'étude, la chercheuse s'engage à prendre en charge votre groupe pendant la durée de l'intervention et de l'expérimentation. Toutefois, en signant ce formulaire, vous vous engagez à enseigner les contenus proposés et à respecter les modalités de l'étude.

Indemnité compensatoire

Aucune indemnité compensatoire n'est prévue.

Des questions sur le projet?

Pour toute question additionnelle sur le projet et sur la participation de votre enfant, vous pouvez communiquer avec les responsables du projet : Eve St-Germain Duval (514-521-7509, st-germain-duval.eve@courrier.uqam.ca ou stgermaine.e@csgdm.qc.ca) ou Steve Masson (514-987-3000 poste 5502, masson.steve@uqam.ca).

Remerciements

Votre collaboration est essentielle à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier.

Consentement

Je déclare avoir lu et compris le présent projet, la nature et l'ampleur de ma participation. J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions concernant les différents aspects de l'étude et de recevoir des réponses à ma satisfaction.

Je, soussigné(e), accepte volontairement de participer à cette étude. Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre ma décision.

Prénom Nom

Signature

Date

Engagement du chercheur

Je, soussigné(e) certifie

(a) avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire; (b) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard;

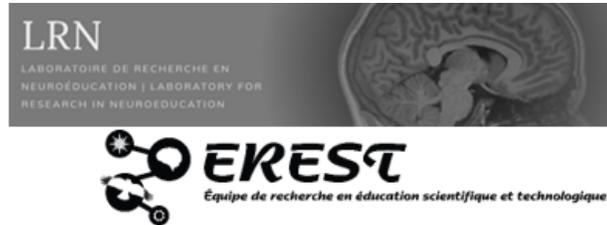
Prénom Nom

Signature

Date

ANNEXE B

LETTRE EXPLICATIVE DU PROJET DE RECHERCHE



Lettre explicative du projet de recherche

Montréal, le lundi 28 mars 2022

Madame, Monsieur, parent ou tuteur d'un(e) élève,

Dans le cadre de mon projet de recherche de maîtrise, je sollicite la participation de tous les élèves du troisième cycle de l'école Saint-Jean de la Lande, avec l'autorisation du Centre de service scolaire et des responsables de l'école. Ma recherche vise à comparer les effets de l'enseignement de deux thèmes scientifiques sur la réussite scolaire. Ce printemps, chaque groupe recevra l'enseignement d'une matière scientifique pendant deux périodes consécutives. Les activités qui seront vécues de façon ludique par les élèves sont le visionnement d'extraits vidéo, la lecture de textes, une présentation PowerPoint et un mini-quiz interactif.

Dans les jours à venir, votre enfant apportera à la maison le formulaire de consentement du projet de recherche via son agenda. En complétant et signant ce formulaire et en le remettant à l'enseignant(e) de votre enfant, vous nous indiquez si vous autorisez, ou non, que votre enfant participe à ce projet de recherche. Les élèves dont les parents auront signé et retourné le formulaire de consentement feront, à la suite des périodes d'enseignement, deux tâches :

- 1) Un petit questionnaire de 6 questions rempli de façon individuelle. Chaque élève devra encrer un chiffre afin de situer son opinion sur une échelle à 7 niveaux (les choix varient entre « pas du tout d'accord à « tout à fait d'accord »).
- 2) Une tâche à l'ordinateur sera ensuite faite par les élèves de façon individuelle. L'élève devra cliquer sur un mot pour compléter une phrase trouée. Le taux de bonnes réponses sera comptabilisé.

Ces résultats ne feront pas partie de l'évaluation scolaire de votre enfant. Les données sont enregistrées de façon anonyme et la participation est volontaire. Évidemment, plus nous avons de participants et plus les résultats de recherche seront fiables !

En espérant une réponse favorable de votre part pour la participation de votre enfant, nous vous prions d'agréer nos meilleures salutations.

Eve St-Germain Duval

Étudiante à la maîtrise en éducation (didactique) sous la direction du professeur Steve Masson
Membre du Laboratoire de Recherche en Neuroéducation (LRN)
Membre de l'Équipe de Recherche en Éducation Scientifique et Technologique (EREST)
Enseignante titulaire de 5^e année à l'école Saint-Jean de la Lande

ANNEXE C

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT



FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Parent / représentant légal d'une personne mineure

Titre du projet de recherche

Comparaison des effets de l'enseignement de deux thèmes scientifiques sur la réussite scolaire.

Étudiante-chercheuse

Eve St-Germain Duval, candidate à la maîtrise en didactique, Université du Québec à Montréal (st-germain-duval.eve@courrier.uqam.ca) et enseignante à l'école Saint-Jean-de-la-Lande.

Direction de recherche

Steve, Masson, Ph.D., département de didactique, Université du Québec à Montréal (514-987-3000 poste 5502, masson.steve@uqam.ca)

Préambule

Nous invitons votre enfant à participer à un projet de recherche. Avant d'accepter qu'il participe à ce projet et de signer ce formulaire d'information et de consentement à titre de parent / représentant légal de votre enfant, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent. Ce formulaire de consentement vous explique le but de cette étude, les procédures, les avantages, les risques et inconvénients, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin. Le présent formulaire de consentement peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles.

Description du projet et de ses objectifs

La chercheuse est enseignante titulaire en 5^e année à l'école où se déroulera l'expérimentation. Dans le cadre de son projet de recherche de maîtrise, cette étude vise à comparer les effets de deux thèmes scientifiques sur la réussite. Les élèves seront séparés en deux groupes et chacun des groupes abordera un thème différent. L'enseignement de notions scientifiques se fera lors de deux périodes consécutives en avant-midi. Les participants répondront ensuite à un questionnaire et feront une activité à l'ordinateur. Tous les élèves du troisième cycle de l'école (5^e et 6^e années du primaire) sont invités à participer à l'étude.

Objectifs poursuivis : L'objectif de ce projet de recherche est de vérifier si la réussite scolaire des élèves peut être favorisée par une intervention pédagogique.

Nature et durée de la participation de votre enfant

Les élèves recevront en enseignement d'environ 100 minutes sur un sujet scientifique. Les activités qui seront vécues par les élèves sont le visionnement d'extraits vidéo, la lecture de textes, une présentation PowerPoint et un mini-quiz interactif. Toutes les activités d'apprentissage se feront en classe, pendant les heures d'école, par le titulaire de l'élève.

L'enseignant titulaire de votre enfant connaîtra l'identité des élèves participants. Les élèves dont les parents auront signé et retourné le formulaire de consentement rempliront ensuite un questionnaire Likert de six questions (10 minutes) tout de suite après les activités d'apprentissage et feront une tâche à l'ordinateur (environ 30 minutes) lors de l'après-midi. Le questionnaire et la tâche à l'ordinateur seront supervisés par la chercheuse. Les résultats des tests ne seront aucunement considérés dans les résultats scolaires de votre enfant.

Avantages liés à la participation

Il n'y a aucun avantage direct que les participants peuvent espérer recevoir de leur participation au projet de recherche. Il se peut que votre enfant retire un bénéfice personnel de sa participation à ce projet de recherche étant donné que les enseignements portent sur des contenus scolaires. Par ailleurs, les résultats découlant de sa participation contribueront à l'avancement des connaissances scientifiques dans le domaine de l'éducation. Ce projet présente le potentiel de trouver des contenus d'enseignement qui favorisent la réussite scolaire.

Risques liés à la participation

Il n'y a pas de risque d'inconfort important ou d'inconvénient associé à la participation de votre enfant à cette recherche. Les activités qui lui sont proposées portent sur des contenus scolaires qu'il pourrait rencontrer dans une journée de classe ordinaire.

Participation volontaire et possibilité de retrait

La participation de votre enfant à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser qu'il y participe. Vous pouvez également le retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en faisant connaître votre décision au chercheur responsable de ce projet. Votre enfant peut également choisir de se retirer de ce projet de son propre chef, sans justification et sans pénalité d'aucune forme, et ce nonobstant votre consentement. Toutes les données le concernant seront détruites. Pour les enfants qui ne participent pas au projet, des exercices (ou activités) leur seront proposés en classe par leur professeur pendant la durée de l'expérimentation.

Confidentialité

Tous les renseignements recueillis auprès de votre enfant sont confidentiels. Durant la participation de votre enfant à ce projet de recherche, la chercheuse responsable de ce projet recueillera, dans un dossier de recherche, les renseignements le concernant. Seuls les renseignements nécessaires pour répondre aux objectifs scientifiques de ce projet seront recueillis. Les informations personnelles ne seront connues que de la chercheuse et ne seront pas dévoilées lors de la diffusion des résultats. Aucune publication ou communication scientifique sur la recherche ne contiendra de renseignements permettant de l'identifier.

Les données papier (formulaire de consentement et questionnaire papier) seront conservées dans un classeur verrouillé. Afin de protéger l'identité et la confidentialité des données de votre enfant, il sera toujours identifié par un code alphanumérique. Ce code associé à son nom ne sera connu que du responsable du projet. Le document qui associe le code à l'enfant sera conservé dans un ordinateur protégé d'un mot de passe que seule la chercheuse connaît. Les données informatisées seront conservées sur un ordinateur protégé par un mot de passe. Seuls le chercheur principal et le directeur de recherche pourront accéder aux données. L'ensemble des documents sera détruit 5 ans après le dépôt du projet de recherche.

Utilisation secondaire des données

Acceptez-vous que les données de recherche soient utilisées pour réaliser d'autres projets de recherche dans le même domaine ? Ces projets de recherche seront évalués et approuvés par un Comité d'éthique de la recherche de l'UQAM avant leur réalisation. Les données de recherche seront conservées de façon sécuritaire. Afin de préserver l'identité de votre enfant et la confidentialité des données de recherche, votre enfant ne sera identifié que par un numéro de code.

Acceptez-vous que les données de recherche soient utilisées dans le futur par d'autres chercheurs à ces conditions?

Oui Non

Indemnité compensatoire

Aucune indemnité compensatoire n'est prévue.

Des questions sur le projet?

Pour toute question additionnelle sur le projet et sur la participation de votre enfant, vous pouvez communiquer avec les responsables du projet: Eve St-Germain Duval (st-germain-duval.eve@courrier.uqam.ca) ou Steve Masson (514-987-3000 poste 5502, masson.steve@uqam.ca).

Des questions sur vos droits ? Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE) a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour des informations concernant les responsabilités de l'équipe de recherche sur le plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains ou pour formuler une plainte, vous pouvez contacter la coordination du CERPE: Caroline Vrignaud, 987-3000 poste 6188, cerpe-pluri@uqam.ca .

Remerciements

Votre collaboration est essentielle à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier.

Consentement

Je déclare avoir lu et compris le présent projet, la nature et l'ampleur de la participation de mon enfant, ainsi que les risques et les inconvénients auxquels il s'expose tels que présentés dans le présent formulaire.

J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions concernant les différents aspects de l'étude et de recevoir des réponses à ma satisfaction.

J'ai discuté du projet avec mon enfant et il a accepté d'y participer volontairement.

Je, soussigné(e), accepte volontairement que mon enfant participe à cette étude. Il peut se retirer en tout temps sans préjudice d'aucune sorte. Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre ma décision.

Prénom Nom du représentant légal

Prénom Nom de l'enfant

Signature

Assentiment écrit de l'enfant

Date

Date

Je souhaite recevoir le rapport final de recherche par courriel.

Inscrire l'adresse courriel : _____

Engagement du chercheur

Je, soussigné(e) certifie

(a) avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire; (b) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard; (c) lui avoir clairement indiqué qu'il reste, à tout moment, libre de mettre un terme à la participation de son enfant au projet de recherche décrit ci-dessus;

Eve St-Germain Duval _____

Prénom Nom



Signature

28 mars 2022

Date

ANNEXE D
PLANIFICATION DÉTAILLÉE DES ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES SELON LE GROUPE
D'INTERVENTION

Groupe expérimental : « enseignement du concept de neuroplasticité »

<p>Activité 1 : 20 minutes Lecture en groupe du texte « mon cerveau fait des connexions »</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L'enseignant affiche le texte au tableau numérique interactif (TNI). ✓ Lecture à voix haute du texte. L'enseignant nomme des élèves qui se portent volontaires pour lire à tour de rôle des paragraphes du texte.
<p>Activité 2 : 20 minutes Visionnement d'extraits vidéo</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L'enseignant affiche au TNI la vidéo « <i>La neuroplasticité</i> ». ✓ L'enseignant met ensuite les deux extraits de « <i>Découverte, Les secrets du corps humain, épisode 3 : apprendre</i> ».
<p>Activité 3 : 20 minutes Présentation du diaporama « allégorie de la forêt »</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L'enseignant affiche le diaporama « Allégorie de la forêt » et lit à haute voix les diapositives une à la fois.
<p>Activité 4 : 20 minutes Lecture individuelle d'un texte</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L'enseignant (ou élèves responsables) distribue le texte « Comprendre ton cerveau pour t'aider à mieux apprendre ». ✓ Lecture individuelle du texte par les élèves. Ce texte pourra être placé dans le duo-tang de sciences à la fin des activités.
<p>Activité 5 : 20 minutes Kahoot en équipe de 4 ou 5 (12 questions)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Les élèves se placent avec des pairs à proximité en équipes de 4 ou 5. ✓ L'enseignant se connecte à son compte Kahoot (kahoot.com), sélectionne le quizz « comprendre son cerveau pour mieux apprendre », clique sur le mode « enseigner », puis sur « appareils partagés ». ✓ Le « game PIN » s'affiche au TNI. ✓ Les équipes entrent le « game PIN » et nomment leur équipe, puis inscrivent leur prénom. L'enseignant attend que toutes les équipes soient connectées. ✓ À chaque question, l'équipe clique sur la réponse qu'ils croient la bonne. ✓ L'enseignant clique sur « suivant » 2 fois pour aller à la prochaine question. ✓ Lorsque le quizz est terminé, l'enseignant présente le palmarès et déclare l'équipe gagnante.

Groupe contrôle : « enseignement sur le système solaire et l'espace »

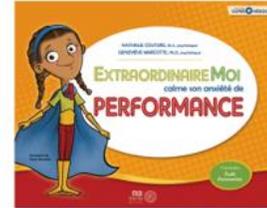
<p>Activité 1 : 20 minutes Lecture en groupe du texte « Univers, galaxies, système solaire »</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L'enseignant affiche le texte au tableau numérique interactif (TNI). ✓ Lecture à voix haute du texte. L'enseignant nomme des élèves qui se portent volontaires pour lire à tour de rôle des paragraphes du texte.
<p>Activité 2 : 25 minutes Visionnement d'une vidéo</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L'enseignant affiche au TNI la vidéo « <i>C'est pas sorcier, le système solaire</i> ».
<p>Activité 3 : 20 minutes Présentation du diaporama</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L'enseignant affiche le diaporama « le système solaire » et lit à haute voix les diapositives une à la fois.
<p>Activité 4 : 20 minutes Lecture individuelle d'un texte</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L'enseignant (ou élèves responsables) distribue le texte « notions d'astronomie ». ✓ Lecture individuelle du texte par les élèves. Ce texte pourra être placé dans le duo-tang de sciences à la fin des activités.
<p>Activité 5 : 20 minutes Kahoot en équipe de 4 ou 5 (12 questions)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Les élèves se placent avec des pairs à proximité en équipes de 4 ou 5. ✓ L'enseignant se connecte à son compte Kahoot (kahoot.com), sélectionne le quizz « Astronomie », clique sur le mode « enseigner », puis sur « appareils partagés ». ✓ Le « game PIN » s'affiche au TNI. ✓ Les équipes entrent le « game PIN » et nomment leur équipe, puis inscrivent leur prénom. L'enseignant attend que toutes les équipes soient connectées. ✓ À chaque question, l'équipe clique sur la réponse qu'ils croient la bonne. ✓ L'enseignant clique sur « suivant » 2 fois pour aller à la prochaine question. ✓ Lorsque le quizz est terminé, l'enseignant présente le palmarès et déclare l'équipe gagnante.

ANNEXE E

ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES DU GROUPE EXPÉRIMENTAL

Activité 1 : Lecture en groupe, texte affiché au tableau numérique interactif (TNI)

Extrait du livre : Couture, N. et Marcotte G. (2014). *Extraordinaire Moi calme son anxiété de performance*. Québec : Éditions Midi trente



POUR APPRENDRE, TON CERVEAU FAIT DES CONNEXIONS

À ta naissance, tu avais peu de connexions dans ton cerveau. En grandissant, tu as appris plusieurs choses, comme manger, marcher et parler. Sans que tu t'en rendes compte, ton cerveau créait de nouvelles connexions. C'est ainsi pour tout ce que tu fais dans ta vie.

Tu continueras d'apprendre de nouvelles choses et de nouvelles connexions se formeront dans ton cerveau. Pour simplifier, disons qu'il existe trois types de connexions. Les voici :



CONNEXIONS FORTES

Tes connexions sont fortes quand tu maîtrises un apprentissage! Ça devient facile pour toi!

CONNEXIONS MOYENNES

Tes connexions sont moyennes quand tu es en train d'apprendre. Tu dois faire des efforts!



CONNEXIONS FAIBLES

Tes connexions sont faibles quand tu commences un nouvel apprentissage! C'est plus difficile au début!

- Personne n'a le même « portrait » de cerveau. Par exemple, deux très bons élèves en mathématiques ne sont pas nécessairement aussi bons l'un que l'autre en éducation physique. Chacun a ses forces et ses faiblesses. Il n'y a pas de « meilleure force » ni de « meilleure faiblesse » ! **Il est inutile de se comparer.**
- Il se peut que certaines connexions soient fortes depuis longtemps sans devoir y mettre beaucoup d'efforts. C'est ce qu'on appelle un « talent ».
- Parfois, malgré les efforts et la persévérance, certaines connexions s'améliorent plus lentement que désiré. Cela peut te sembler décourageant, mais l'important est de faire de ton mieux et d'utiliser tous les moyens à ta disposition pour réussir. Si c'est le cas, tu peux être fier de toi !

COMMENT AMÉLIORER LES CONNEXIONS ?

Connais-tu des moyens pour améliorer tes connexions ? L'imagine que oui, mais je me permets tout de même de t'en proposer quelques-uns.

- **T'exercer**
- **Demander de l'aide, poser des questions**
- **Aider les autres (Eh oui ! Tes connexions s'améliorent lorsque tu aides les autres !)**
- **Faire tes devoirs et tes leçons**
- **Utiliser ton coffre à outils scolaires (dictionnaire, tables de multiplication, etc.)**
- **Faire de ton mieux pour bien écouter et respecter les consignes**
- **Faire des efforts**
- **Persévérer**
- **Prendre le temps de corriger tes erreurs**
- **Prendre de grandes respirations pour te calmer**

FAIRE DES ERREURS

Les gens qui vivent de l'anxiété de performance croient souvent qu'une personne intelligente fait peu d'erreurs et qu'elle n'a pas besoin de travailler fort pour réussir. C'est comme s'ils croyaient qu'il est possible de mesurer l'intelligence par la quantité d'efforts fournis et par la quantité d'erreurs commises. Pourtant, de grands inventeurs ont prouvé le contraire. Je vais t'en présenter un.



Pourrais-tu imaginer ta vie sans lumière ? C'est Thomas Edison (1879) qui a amélioré l'invention de l'ampoule électrique jusqu'à ce que celle-ci éclaire toute une pièce. Imagine : il aurait fait plus de 1 200

expériences avant d'arriver au résultat qu'on connaît aujourd'hui.

Thomas Edison avait bien compris que les efforts et les erreurs étaient nécessaires à la réussite. C'est comme si, chaque fois qu'il faisait une erreur et persévérait, il permettait à son cerveau de faire de nouvelles connexions ou d'améliorer celles qui existaient déjà. Nous ne sommes pas tous des Thomas Edison, mais nos cerveaux fonctionnent tous de la même façon. En effet, les erreurs, les efforts et la persévérance sont nécessaires à tous les apprentissages.

- VRAI OU FAUX ? -

Thomas Edison est peu intelligent, puisqu'il lui a fallu faire beaucoup d'efforts avant de réussir.

FAUX. Avec 1 093 brevets d'invention à son actif (dont le cinéma, une caméra et le télégraphe), il est évident que cet homme était intelligent.

Thomas Edison n'a jamais fait d'erreur.

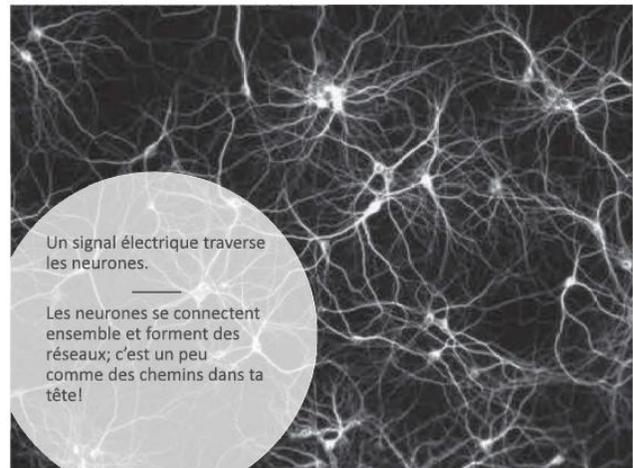
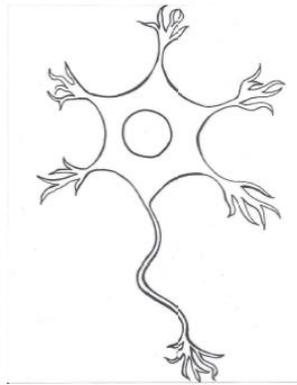
FAUX. Après autant d'inventions, il n'est pas surprenant d'apprendre qu'il a dû surmonter plusieurs difficultés pour atteindre son but. Il a même dit : « Je n'ai pas échoué, j'ai simplement trouvé 10 000 solutions qui ne fonctionnaient pas ».

À noter que les phrases sous les neurones personnifiés ont été légèrement modifiées pour mieux correspondre à ce projet de recherche. Nous remercions les Éditions Midi Trente de nous avoir donné l'autorisation de partager cet extrait.

Activité 3 : Diaporama sur l'allégorie de la forêt



Pour apprendre des nouvelles choses, ton cerveau travaille très fort.

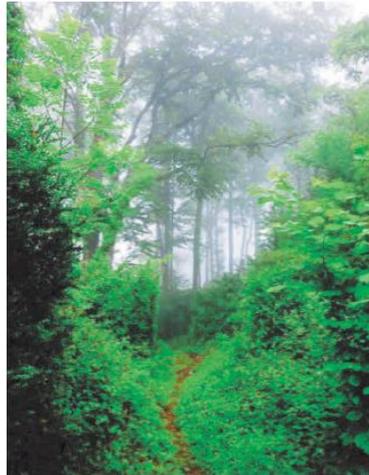


Apprendre, c'est créer des connexions dans ton cerveau!

Si tu veux traverser la forêt, tu dois créer un chemin.

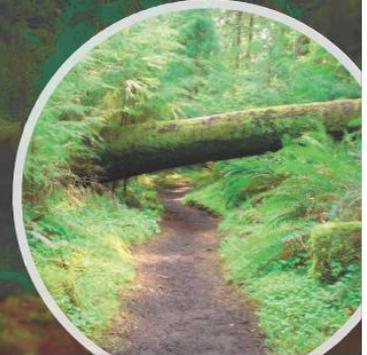
Chaque fois que tu passes par ton chemin, le sentier devient de plus en plus dégagé.

Chaque fois que tu travailles un apprentissage, tes réseaux de neurones (les connexions entre les cellules) deviennent plus efficaces.



Il y a parfois de gros obstacles qui t'empêchent d'aller rapidement et efficacement.

Quand tu as de la difficulté, il est important que tu persévères et que tu travailles fort.



En empruntant souvent ce chemin, on empêche la végétation de se réinstaller.

On maintient les **apprentissages!**

Par contre, si tu arrêtes d'emprunter ce chemin, la végétation repoussera et le sentier disparaîtra.

Tes connexions neuronales s'affaibliront jusqu'à se défaire... tu vas donc **OUBLIER!**

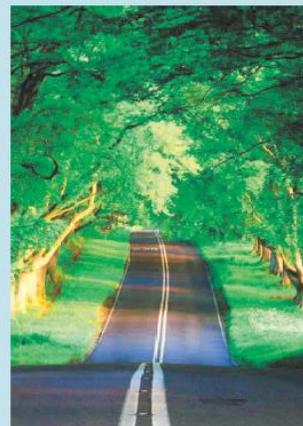


Il est donc important que tu consolides tes réseaux de neurones liés à un apprentissage en **pratiquant souvent et en t'exerçant.**

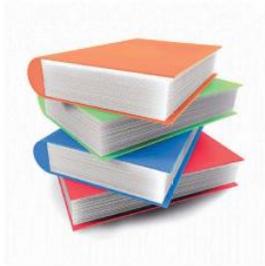
Ton chemin restera donc dégagé et ce sera plus facile de traverser la forêt.



Quand tu auras bien compris et maîtrisé un apprentissage, ton chemin sera comme une route: ce sera vraiment très facile, rapide et efficace de traverser la forêt.



Tes réseaux de neurones seront tellement forts et solides que tu n'auras presque plus d'efforts à fournir !



Tu rappelles-tu quand tu as appris à lire?

Tu devais décoder chaque lettre, chaque son, chaque mot... c'était long et difficile!

Plus tu te pratiquais, plus ça devenait facile: tu as créé des chemins dans ton cerveau: des **connections neuronales**.

Aujourd'hui, dois-tu analyser chaque lettre et chaque mot quand tu lis? Non! Car tes réseaux de neurones liés à la lecture sont bien formés dans ton cerveau!

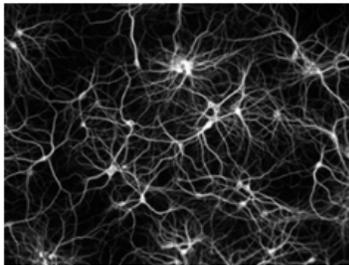
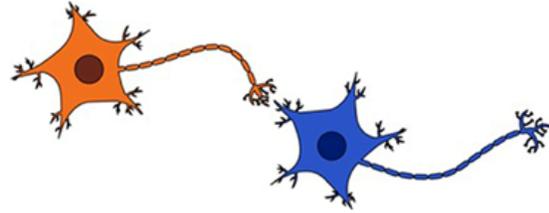


Image Credit: Jarky4415

Activité 4 : Lecture individuelle

Comprendre ton cerveau peut t'aider à mieux apprendre!

Ton cerveau est composé d'environ 85 milliards de neurones. Un neurone est une cellule qui agit comme un messenger, en envoyant des informations à d'autres neurones.



Chaque neurone peut être connecté à 10 000 autres neurones. Quand les neurones se connectent les uns aux autres, ils créent des réseaux de neurones. Ça ressemble à une toile d'araignée.

Quand tu apprends, tu modifies tes réseaux de neurones. Cela montre à quel point ton cerveau est dynamique car il change continuellement et ne reste pas fixe. Ce phénomène est appelé neuroplasticité. **La neuroplasticité est la capacité du cerveau à modifier ses connexions neuronales par l'apprentissage.** On peut apprendre tout au long de notre vie!



Plus tu te pratiques, plus tes connexions deviennent fortes : les messages sont transmis de plus en plus rapidement, ce qui les rend plus efficaces. C'est pour ça que tu deviens meilleur quand tu pratiques plusieurs fois un apprentissage! Si tu répètes à plusieurs reprises un apprentissage, tu actives tes neurones : tu crées des connexions entre tes neurones et tu modifies ton cerveau !

Par contre, lorsque tu arrêtes de pratiquer quelque chose, les connexions entre tes neurones s'affaiblissent et peuvent se défaire. C'est pourquoi il peut sembler si difficile de recommencer à lire à la rentrée si tu n'as pas lu pendant l'été!

Pour étudier efficacement, il est préférable d'étudier souvent, mais pendant de petites périodes d'étude. En espaçant les périodes d'étude, tu aides ton cerveau à consolider l'information en mémoire. Pour bien étudier, il est aussi plus efficace de chercher les informations dans ta mémoire (en te faisant poser des questions auxquelles tu dois répondre ou en expliquant à quelqu'un d'autre, par exemple) que si tu ne fais que relire tes notes ou tes cahiers.



La nuit, pendant ton sommeil, ton cerveau réactive les réseaux de neurones que tu as utilisés pendant la journée. Ton cerveau travaille pour toi pendant que tu dors !

Il est aussi très important que tu écoutes attentivement la **rétroaction** (les commentaires sur ton travail) qu'on te donne pour comprendre tes erreurs et pour t'améliorer. En corrigeant tes erreurs, ton cerveau s'ajuste et tu vas créer les bons réseaux de neurones pour bien apprendre.

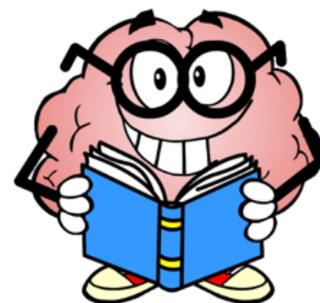
L'erreur est donc une occasion d'apprendre et de t'améliorer! C'est en faisant des erreurs qu'on apprend, car en les corrigeant, on trouve de nouvelles stratégies et de nouvelles méthodes. En corrigeant tes erreurs, tu dis à ton cerveau d'utiliser d'autres réseaux de neurones, ceux qui mènent à la bonne réponse. On peut donc s'améliorer si on comprend nos erreurs. Bien sûr, il faut faire des efforts et persévérer!

En résumé, la neuroplasticité explique que:

1) **Les apprentissages prennent du temps et de la pratique**, car les neurones augmentent ainsi la force et l'efficacité de leurs connexions.

2) **On peut oublier un apprentissage** si les neurones ne se connectent pas ensemble pendant un certain temps.

3) Si on répète une erreur plusieurs fois, on renforce les réseaux de neurones liés à cette erreur et ça devient ensuite **plus difficile de la corriger**.

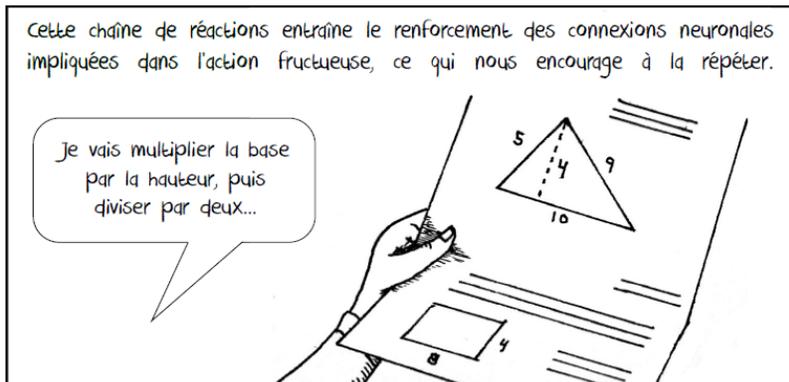
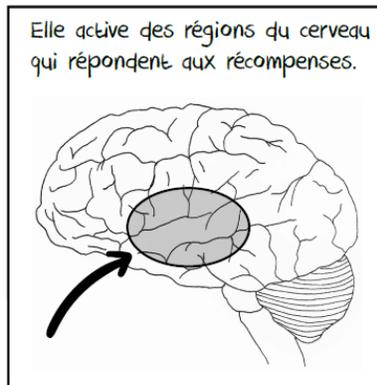


Le cerveau et la rétroaction



La rétroaction est essentielle à l'apprentissage. Cependant, le cerveau réagit différemment selon le type de rétroaction reçu.

La rétroaction positive



La rétroaction négative

La rétroaction négative nous informe de l'échec d'une action.

La rétroaction négative active le cortex cingulaire antérieur, qui est notamment responsable de détecter les erreurs ou les informations conflictuelles.

Cela déclenche l'activation du cortex préfrontal, ce qui permet l'analyse de la situation et la modification des connexions neuronales qui ont mené à la réponse erronée.

Chez les enfants, ce mécanisme est présent, mais peu efficace. La rétroaction négative active peu les régions cérébrales responsables de la correction des erreurs.

tentative no. 747 de faire passer le cube dans le trou circulaire...

Cependant, à mesure que le cerveau mûrit, il réagit davantage à la rétroaction négative. Cela nous aide à apprendre de nos erreurs.

Les rétroactions négatives comme les rétroactions positives sont utiles...

Permet d'activer les mécanismes nécessaires pour corriger les erreurs

Permet de renforcer les connexions neuronales

...et elles sont particulièrement efficaces quand elles sont immédiates, précises et en lien avec la tâche réussie.

Tu as pensé à accorder rouges avec feuilles, c'est super !

Activité 5 : Quiz interactif « Comprendre ton cerveau pour mieux apprendre » sur le site Kahoot.com

1 - Quiz
Les neurones sont ...



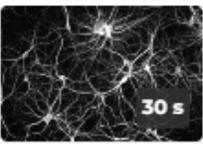
des cellules dans le cerveau ✓

des microbes sur vos mains ✗

des fils électriques ✗

des insectes préhistoriques ✗

2 - Quiz
La capacité du cerveau à changer (en modifiant la force des connexions) s'appelle...



l'adaptation ✗

l'intelligence ✗

la neuroplasticité ✓

la plasticine ✗

3 - Vrai ou faux
Les neurones peuvent se connecter les uns aux autres en créant des réseaux



True ✓

False ✗

4 - Quiz

Pour comprendre la neuroplasticité, on peut comparer les réseaux de neurones à...



- une toile d'araignée ✗
- des sentiers en forêt ✓
- des montagnes russes ✗
- des ruisseaux ✗

5 - Quiz

Pourquoi les apprentissages sont plus difficiles au début?



- Parce qu'on est moins intelligent quand on est petit ✗
- Car les réseaux de neurones ne sont pas bien formés ✓
- Car on a moins de concentration ✗
- Parce que les petits comprennent moins vite ✗

6 - Quiz

Comment peut-on renforcer nos réseaux de neurones pour qu'ils soient plus efficaces?



- En écoutant de la musique pendant la nuit ✗
- En mangeant sainement ✗
- En récitant une formule magique ✗
- En pratiquant souvent un apprentissage ✓

7 - Vrai ou faux

Le sommeil permet de réactiver les réseaux de neurones utilisés pendant la journée



True



False



8 - Quiz

Pour étudier, il est préférable de...



Attendre la veille de l'examen pour que ce soit frais en mémoire



Espacer de courtes périodes d'étude



Faire un gros bloc d'étude de 2h



Relire ses notes ou ses cahiers



9 - Quiz

Que se passe-t-il dans ton cerveau si tu arrêtes de pratiquer un apprentissage?



Le cerveau se ramolli ou devient plus petit.



Je vais me perdre en forêt.



Le connexions vont se défaire; je vais oublier.



Des substances chimiques vont dérégler mon cerveau.



10 - Quiz

Pourquoi certaines erreurs sont difficiles à corriger?



- Parce que je ne suis pas bon dans cette matière. ✗
- Parce que certains apprentissages sont difficiles. ✗
- Parce qu'elles sont des obstacles à la réussite. ✗
- Parce qu'on les a renforcées en les répétant souvent. ✓

11 - Quiz

Pourquoi est-il important de porter attention à la rétroaction négative?



- Pour m'améliorer en corrigeant ma façon de faire. ✓
- Pour courir plus vite à reculons. ✗

12 - Quiz

Pourquoi est-il important de porter attention à la rétroaction positive?



- Pour ne pas être déprimé. ✗
- Pour savoir si j'ai bien réussi le travail. ✓

ANNEXE F
OUTILS DE COLLECTE DE DONNÉES

Tâche diagnostique – Dictée avec homophones

Consignes à l'enseignant(e) : Lire lentement chacune des phrases au moins deux fois. Assurez-vous que les élèves aient le temps d'écrire chaque phrase. Répétez au besoin.

*Si un élève remarque qu'il y a beaucoup d'homophones, restez neutre et ignorez le commentaire.

C'est une belle journée. Je **sais** qu'il fera froid. Heureusement, **ces** mitaines sont chaudes!

David a oublié **ses** pantalons de neige. Il **sait** qu'il ne pourra pas faire un fort avec **ses** amis. Il **s'est** promis de ne plus les oublier!

Tu **sais** que **c'est** bientôt le congé des fêtes. Tu as bien mérité **ces** vacances !

Questionnaire sur l'état d'esprit (Da Fonseca *et al.*, 2007)

TIDI : questionnaire des théories implicites de l'intelligence

	Pas du tout d'accord						Tout à fait d'accord
1. Il faut beaucoup travailler pour être intelligent	1	2	3	4	5	6	7
2. Le niveau d'intelligence change peu même si on fait des efforts	1	2	3	4	5	6	7
3. Pour être intelligent, il faut beaucoup apprendre	1	2	3	4	5	6	7
4. Pour être intelligent, il faut avoir certaines qualités dès la naissance	1	2	3	4	5	6	7
5. Ton intelligence s'améliore obligatoirement en travaillant	1	2	3	4	5	6	7
6. C'est difficile de changer son niveau d'intelligence	1	2	3	4	5	6	7

Ce questionnaire de type Likert à 7 niveaux comporte 6 questions; les questions 1, 3 et 5 concernent l'état d'esprit dynamique et les questions 2, 4 et 6 concernent l'état d'esprit fixe.

Chaque état d'esprit est mesuré à l'aide d'un score sur 21 points. Afin de comparer les résultats des participants, une valeur globale est calculée en soustrayant le score « fixe » du score « dynamique ».

Une valeur positive indique un état d'esprit dynamique, une valeur négative est associée à un état d'esprit fixe et une valeur neutre (zéro) est une indication d'un état d'esprit indéfini, le score étant égal pour les deux états d'esprit.

Tâche expérimentale (sélection de l'homophone approprié)

La tâche a été conçue avec Gorilla Experiment Builder. Chaque participant a fait cette tâche à l'ordinateur au courant de l'après-midi suivant l'intervention vécue en matinée. La tâche dure environ 30 minutes.

Voici les étapes de l'expérimentation :

1) La tâche débute par l'assentiment de l'élève (le consentement ayant été obtenu au préalable auprès des parents).

Consentement de participation

En cliquant sur le bouton ci-dessous, j'accepte de participer à cette étude.

2) Ensuite, l'élève doit s'identifier en inscrivant son prénom et son nom.

Pour commencer, écris ton prénom et ton nom.

3) Les instructions seront alors exposées au participant.

Instructions

Ce questionnaire comporte 30 questions. Il y aura une courte pause après 15 questions.

Pour chacune d'elle, tu dois sélectionner le bon homophone qui devrait apparaître dans la phrase trouée.

Pour chacune de tes réponses, tu auras une rétroaction. On te dira alors si tu as eu la bonne réponse ou si tu as fait une erreur.

Prends le temps de bien lire l'explication!

Je suis prêt!

4) Une phrase apparaît. Le participant doit sélectionner un homophone en cliquant dessus.

Parmi les homophones
proposés, lequel complète
correctement la phrase
suivante?

Toutes _____ peintures colorées sont magnifiques.

c'est

ces

ses

s'est

sait

sais

5) À chaque réponse donnée, le participant aura une rétroaction immédiate (positive ou négative), ainsi qu'une explication du raisonnement grammatical qui mène à la bonne réponse.

Si la réponse donnée par le participant est la bonne, il recevra une confirmation de sa réponse et de son raisonnement (rétroaction positive).

Parmi les homophones proposés, lequel complète correctement la phrase suivante?

Toutes _____ peintures colorées sont magnifiques.

c'est ces ses s'est sait sais



Bonne réponse! Ces est un déterminant démonstratif qui se trouve devant un nom commun.

Toutes CES peintures colorées sont magnifiques.

J'ai compris!

Si le participant ne sélectionne pas le bon homophone, il obtiendra une rétroaction négative et aura une explication détaillée du raisonnement grammatical adéquat.

Parmi les homophones proposés, lequel complète correctement la phrase suivante?

Toutes _____ peintures colorées sont magnifiques.

c'est ces ses s'est sait sais

✘

Mauvaise réponse. La bonne réponse est ces. Ces est un déterminant démonstratif qui se trouve devant un nom commun.

Toutes CES peintures colorées sont magnifiques.

J'ai compris!

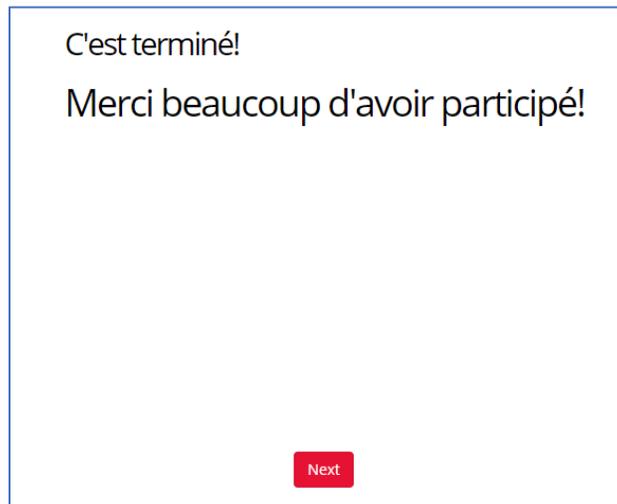
6) Le participant répond à 15 questions, puis a droit à une courte pause de 20 secondes.

C'est le temps d'une courte pause!

Tu as répondu à la moitié des questions.

7) Le participant répond aux 15 autres questions (bloc 2).

8) Une fenêtre de remerciement apparaît. C'est la fin du test.



Capture d'écran du document Excel servant de « spreadsheet » pour la conception de la tâche dans Gorilla. Lors de la tâche, les questions apparaissent dans un ordre aléatoire à chaque participant.

randomise_trials	display	bonne_reponse	phrase
	introduction		
1	bloc1	c'est	# Lorsque tu es tombé, _____ lui qui t'a aidé.
1	bloc1	c'est	# Selon moi, _____ le meilleur livre au monde!
1	bloc1	s'est	# Je crois qu'elle _____ trompée de chemin.
1	bloc1	ces	# Toutes _____ peintures colorées sont magnifiques.
1	bloc1	ces	# Ils sont beaux _____ flocons qui tombent tout doucement.
1	bloc1	ses	# Lorsqu'il entre dans la maison, il doit absolument enlever _____ chaussures.
1	bloc1	ses	# Aujourd'hui, Sophie recevra _____ lunettes.
1	bloc1	ses	# L'homme cherche un objet dans _____ poches.
1	bloc1	s'est	# Elle _____ arrêtée devant moi.
1	bloc1	s'est	# Il _____ bien amusé dans la neige.
1	bloc1	sais	# Cette recette, tu _____ comment la faire.
1	bloc1	sait	# Il _____ faire du ski.
1	bloc1	sait	# Elle _____ comment attacher ses souliers.
1	bloc1	sais	# Je _____ que le Soleil est une étoile.
1	bloc1	sais	# Je _____ que ce que tu dis est vrai.
	pause		
2	bloc2	ses	# Catherine a oublié _____ cahiers à la maison.
2	bloc2	ses	# Il a remis un cadeau à chacun de _____ amis.
2	bloc2	s'est	# En courant, elle _____ fait mal à la cheville.
2	bloc2	s'est	# Alors qu'il était en classe, il _____ aperçu qu'il avait oublié son agenda.
2	bloc2	c'est	# Je crois que _____ ainsi que l'histoire doit se terminer.
2	bloc2	ces	# Je trouve que _____ animaux sont fascinants.
2	bloc2	sait	# Elle _____ comment trouver le trésor.
2	bloc2	sait	# Il _____ faire du tricot.
2	bloc2	sait	# Il _____ comment trouver la piste du voleur grâce à son flair.
2	bloc2	sais	# Bien sûr que je _____ faire une recherche!
2	bloc2	sais	# Tu _____ qu'en mélangeant du bleu et du jaune, on obtient du vert.
2	bloc2	c'est	# Le vélo, _____ mon sport préféré!
2	bloc2	c'est	# Tu crois que _____ la bonne réponse.
2	bloc2	ces	# Je trouve que _____ souliers de course sont très confortables.
2	bloc2	ces	# Regarde _____ enfants qui s'amuse dans le sable!
	Fin du test		

BIBLIOGRAPHIE

- Anwyl-Irvine, A. L., Massonnié, J., Flitton, A., Kirkham, N. et Evershed, J. K. (2020). Gorilla in our midst: An online behavioral experiment builder. *Behavior Research Methods*, 52(1), 388-407. doi: 10.3758/s13428-019-01237-x
- Aronson, J., Fried, C. B. et Good, C. (2002). Reducing the effects of stereotype threat on African American college students by shaping theories of intelligence. *Journal of Experimental Social Psychology*, 38(2), 113-125. doi: 10.1006/jesp.2001.1491
- Astolfi, J.-P. (2015). *L'erreur, un outil pour enseigner* (12e éd.). Issy-les-Moulineaux : ESF éditeur.
- Bejjani, C., DePasque, S. et Tricomi, E. (2019). Intelligence mindset shapes neural learning signals and memory. *Biological Psychology*, 146. doi: 10.1016/j.biopsycho.2019.06.003
- Berlucchi, G. et Buchtel, H. A. (2009). Neuronal plasticity: Historical roots and evolution of meaning. *Experimental Brain Research*, 192(3), 307-319. doi: 10.1007/s00221-008-1611-6
- Blackwell, L. S., Trzesniewski, K. H. et Dweck, C. S. (2007). Implicit theories of intelligence predict achievement across an adolescent transition: A longitudinal study and an intervention. *Child Development*, 78(1), 246-263. doi: 10.1111/j.1467-8624.2007.00995.x
- Bliss, T. V. et Lomo, T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *The Journal of Physiology*, 232(2), 331-356. doi: 10.1113/jphysiol.1973.sp010273
- Boaler, J., Dieckmann, J. A., Pérez-Núñez, G., Sun, K. L. et Williams, C. (2018). Changing students minds and achievement in mathematics: The impact of a free online student course. *Frontiers in Education*, 3. doi: 10.3389/educ.2018.00026
- Boivin, M.-C. et Pinsonneault, R. (2018). Les erreurs de syntaxe, d'orthographe grammaticale et d'orthographe lexicale des élèves québécois en contexte de production écrite. *Canadian Journal of Applied Linguistics/Revue canadienne de linguistique appliquée*, 21(1), 43-70. doi: 10.7202/1050810ar

- Bouffard, T., Brodeur, M. et Vezeau, C. (2005). *Les stratégies de motivation des enseignants et leurs relations avec le profil motivationnel d'élèves du primaire* : Université du Québec à Montréal. Récupéré de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.212.8265&rep=rep1&type=pdf>
- Breton, C. (réalis.). (2013, 23 mai). Le système solaire [Émission de série télévisée]. Dans Multimédia France Productions (prod.), *C'est pas sorcier*. Récupéré de https://www.youtube.com/watch?v=l7cajVnzm8k&ab_channel=C%27estpassorcier
- Brissaud, C. et Fayol, M. (2018). *Étude de la langue et production d'écrits*. Récupéré de <http://www.cnesco.fr/wp-content/uploads/2018/04/VDEF-rapport-Brissaud-Fayol.pdf>
- Butler, D. L. et Winne, P. H. (1995). Feedback and self-regulated learning: A theoretical synthesis. *Review of Educational Research*, 65(3), 245-281. doi: 10.3102/00346543065003245
- Centre for Education Statistics and Evaluation. (2017). *Cognitive load theory: Reserch that teachers really need to understand* (vol. september 2017). Sydney : NSW Department of Education.
- Chang, Y. (2014). Reorganization and plastic changes of the human brain associated with skill learning and expertise. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(35). doi: 10.3389/fnhum.2014.00035
- Chanquoy, L. et Alamargot, D. (2002). Mémoire de travail et rédaction de textes : évolution des modèles et bilan des premiers travaux. *L'Année psychologique*, 363-398. doi: 10.3406/psy.2002.29596
- Chiu, C.-y., Hong, Y.-y. et Dweck, C. S. (1997). Lay dispositionism and implicit theories of personality. *Journal of Personality and Social Psychology*, 73(1), 19-30. doi: 10.1037/0022-3514.73.1.19
- Chouinard, R., Plouffe, C. et Roy, N. (2004). Caractéristiques motivationnelles des garçons du secondaire en difficulté d'apprentissage ou en trouble de la conduite. *Revue des sciences de l'éducation*, 30(1), 143-162. doi: 10.7202/011774ar
- Clark, R. C., Nguyen, F. et Sweller, J. (2006). *Efficiency in learning: Evidence-based guidelines to manage cognitive load*. San Francisco : Pfeiffer.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.)*. Hillsdale, NJ : Lawrence Earlbaum Associates.

Da Fonseca, D., Cury, F., Bailly, D. et Rufo, M. (2004a). Rôle des théories implicites de l'intelligence chez les élèves en situation d'apprentissage. *L'Encéphale*, 30(5), 456-463. doi: 10.1016/S0013-7006(04)95460-7

Da Fonseca, D., Cury, F., Bailly, D. et Rufo, M. (2004b). Théories implicites de l'intelligence et buts d'accomplissement scolaire. *Annales médico-psychologiques, revue psychiatrique*, 162(9), 703-710. doi: 10.1016/j.amp.2004.04.019

Da Fonseca, D., Schiano-Lomoriello, S., Cury, F., Poinso, F., Rufo, M. et Therme, P. (2007). Validité factorielle d'un questionnaire mesurant les théories implicites de l'intelligence (TIDI). *L'Encéphale*, 33(4), 579-584. doi: 10.1016/s0013-7006(07)92056-4

Daly, I., Bourgaize, J. et Vernitski, A. (2019). Mathematical mindsets increase student motivation: Evidence from the EEG. *Trends in Neuroscience and Education*, 15, 18-28. doi: 10.1016/j.tine.2019.02.005

DeBacker, T. K., Heddy, B. C., Kershen, J. L., Crowson, H. M., Looney, K. et Goldman, J. A. (2018). Effects of a one-shot growth mindset intervention on beliefs about intelligence and achievement goals. *Educational Psychology*, 38(6), 711-733. doi: 10.1080/01443410.2018.1426833

Dekker, S. et Jolles, J. (2015). Teaching about "brain and learning" in high school biology classes: Effects on teachers' knowledge and students' theory of intelligence. *Frontiers in Psychology*, 6, 1848. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01848

DePasque Swanson, S. et Tricomi, E. (2014). Goals and task difficulty expectations modulate striatal responses to feedback. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 14(2), 610-620. doi: 10.3758/s13415-014-0269-8

Dommett, E. J., Devonshire, I. M., Sewter, E. et Greenfield, S. A. (2013). The impact of participation in a neuroscience course on motivational measures and academic performance. *Trends in Neuroscience and Education*, 2(3-4), 122-138. doi: 10.1016/j.tine.2013.05.002

Doucet, M., Bouffard, T. et Vezeau, C. (2020). Le rôle de la préoccupation envers l'erreur dans la relation entre la théorie implicite de l'intelligence et la perception de compétence. *Journal sur l'identité*,

les relations interpersonnelles et les relations intergroupes / Journal of Interpersonal Relations, Intergroup Relations and Identity, 13, 23-37. doi: 10.33921/HDSM4903

Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U. et May, A. (2004). Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. *Nature, 427*, 311-312. doi: 10.1038/427311a

Draganski, B., Gaser, C., Kempermann, G., Kuhn, H. G., Winkler, J., Büchel, C. et May, A. (2006). Temporal and spatial dynamics of brain structure changes during extensive learning. *Journal of Neuroscience, 26*(23), 6314-6317. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4628-05.2006

Dweck, C. S. (2000). *Self-theories: Their role in motivation, personality, and development*. Philadelphia : Psychology Press.

Dweck, C. S. (2002). The development of ability conceptions. Dans A. Wigfield et J. S. Eccles (dir.), *Development of achievement motivation* (chap. 3, p. 57-88). San Diego : Academic Press.

Dweck, C. S. (2006). *Mindset: The new psychology of success*. New York : Random House Digital, Inc.

Dweck, C. S. (2010). *Changer d'état d'esprit : une nouvelle psychologie de la réussite*. Bruxelles : Mardaga.

Dweck, C. S. et Leggett, E. L. (1988). A social-cognitive approach to motivation and personality. *Psychological Review, 95*(2), 256-273. doi: 10.1037/0033-295X.95.2.256

Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A. et Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods, 41*(4), 1149-1160. doi: 10.3758/BRM.41.4.1149

Fayol, M. (2016). Comment apprendre l'orthographe ? Dans M. Fournier (dir.), *Éduquer et former* (p. 211-215). Editions Sciences Humaines.

Fayol, M. et Jaffré, J.-P. (2014). *L'orthographe*. Paris cedex 14 : Presses Universitaires de France.

- Foliano, F., Rolfe, H., Buzzeo, J., Runge, J. et Wilkinson, D. (2019). *Changing mindsets: Effectiveness trial*. London : National Institute of Economic and Social Research.
- Fong, C. J., Patall, E. A., Vasquez, A. C. et Stautberg, S. (2019). A meta-analysis of negative feedback on intrinsic motivation. *Educational Psychology Review*, 31(1), 121-162. doi: 10.1007/s10648-018-9446-6
- Fortin, M. F. et Gagnon, J. (2016). *Fondements et étapes du processus de recherche: méthodes quantitatives et qualitatives* (3e éd.). Montréal : Chenelière éducation.
- Fréchette-Simard, C., Plante, I., Dubeau, A. et Duchesne, S. (2019). La motivation scolaire et ses théories actuelles: une recension théorique. *McGill Journal of Education/Revue des sciences de l'éducation de McGill*, 54(3), 500-518. doi: 10.7202/1069767ar
- Geake, J. et Cooper, P. (2003). Cognitive neuroscience: Implications for education? *Westminster Studies in Education*, 26. doi: 10.1080/0140672030260102
- Good, C., Aronson, J. et Inzlicht, M. (2003). Improving adolescents' standardized test performance: An intervention to reduce the effects of stereotype threat. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 24(6), 645-662. doi: 10.1016/j.appdev.2003.09.002
- Grant, H. et Dweck, C. S. (2003). Clarifying achievement goals and their impact. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85(3), 541-553. doi: 10.1037/0022-3514.85.3.541
- Hattie, J. (2009). *Visible Learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Abingdon : Routledge. doi: 10.4324/9780203887332
- Hattie, J. (2017). *L'apprentissage visible pour les enseignants: connaître son impact pour maximiser le rendement des élèves*. Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Hattie, J. et Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112. doi: 10.3102/003465430298487
- Hayes, J. R. (2006). New directions in writing theory. Dans C. A. MacArthur, S. Graham et J. Fitzgerald (dir.), *Handbook of Writing Research* (chap. 2, p. 28-40). New York : Guilford Publications.

Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior, a neuropsychological theory*. New York : Wiley.

Heimbeck, D., Frese, M., Sonnentag, S. et Keith, N. (2003). Integrating errors into the training process: The function of error management instructions and the role of goal orientation. *Personnel Psychology*, 56(2), 333-361. doi: 10.1111/j.1744-6570.2003.tb00153.x

Issaieva, E. (2013). Les conceptions de l'intelligence chez les élèves en fin du primaire en France. *Enfance*, (04), 393-413. doi: 10.4074/s0013754513004059

Janosz, M., Pascal, S., Belleau, L., Archambault, I., Parent, S. et Pagani, L. (2013). Les élèves du primaire à risque de décrocher au secondaire: caractéristiques à 12 ans et prédicteurs à 7 ans. *Étude longitudinale du développement des enfants du Québec (ÉLDEQ 1998-2010) - De la naissance à 12 ans*, 7(2), 1-22.

Kamins, M. L. et Dweck, C. S. (1999). Person versus process praise and criticism: Implications for contingent self-worth and coping. *Developmental psychology*, 35(3), 835. doi: 10.1037/0012-1649.35.3.835

Kania, B., Wronska, D. et Zieba, D. (2017). Introduction to neural plasticity mechanism. *Journal of Behavioral and Brain Science*, 7, 41-49. doi: 10.4236/jbbs.2017.72005

Karlen, Y. et Hertel, S. (2021). The power of implicit theories for learning in different educational contexts. *Frontiers in Education*, 6. doi: 10.3389/educ.2021.788759

Kellogg, R. (1996). A model of working memory in writing. Dans C. M. Levy et S. Ransdell (dir.), *The science of writing: Theories, methods, individual differences, and applications*. (p. 57-71). Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates Inc.

Kellogg, R., Whiteford, A. P., Turner, C. E., Cahill, M. et Mertens, A. (2013). Working memory in written composition: An evaluation of the 1996 model. *Journal of Writing Research*, 5(2), 159-190. doi: 10.17239/jowr-2013.05.02.1

Kwok, V., Niu, Z., Kay, P., Zhou, K., Mo, L., Jin, Z., . . . Hai, L. (2011). Learning new color names produces rapid increase in gray matter in the intact adult human cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 6686-6688. doi: 10.1073/pnas.1103217108

- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00863
- Lanoë, C., Rossi, S., Froment, L. et Lubin, A. (2015). Le programme pédagogique neuroéducatif "À la découverte de mon cerveau": quels bénéfices pour les élèves d'école élémentaire? *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 134, 55-62.
- Liu, Y. et Hou, S. (2018). Potential reciprocal relationship between motivation and achievement: A longitudinal study. *School Psychology International*, 39(1), 38-55. doi: 10.1177/0143034317710574
- Lubin, A., Lanoë, C., Pineau, A. et Rossi, S. (2012). Apprendre à inhiber : une pédagogie innovante au service des apprentissages scolaires fondamentaux (mathématiques et orthographe) chez des élèves de 6 à 11 ans. *Neuroéducation*, 1, 55-84. doi: 10.24046/neuroed.20120101.55
- Mangels, J. A., Butterfield, B., Lamb, J., Good, C. et Dweck, C. S. (2006). Why do beliefs about intelligence influence learning success? A social cognitive neuroscience model. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 1(2), 75-86. doi: 10.1093/scan/nsl013
- Martin, A. J. (2009). Motivation and engagement across the academic life span: A developmental construct validity study of elementary school, high school, and university/college students. *Educational and Psychological Measurement*, 69(5), 794-824. doi: 10.1177/0013164409332214
- Martin, A. J. (2016). *Using Load Reduction Instruction (LRI) to boost motivation and engagement*. Leicester : British Psychological Society.
- Masson, S. (2020). *Activer ses neurones pour mieux apprendre et enseigner*. Paris : Odile Jacob.
- Masson, S. et Brault Fois, L.-M. (2014). Fundamental concepts bridging education and the brain. *McGill Journal of Education / Revue des sciences de l'éducation de McGill*, 49(2), 501-512. doi: 10.7202/1029432ar
- McCutchen, D. (1996). A capacity theory of writing: Working memory in composition. *Educational Psychology Review*, 8(3), 299-325. doi: 10.1007/BF01464076

- Mega, C., Ronconi, L. et De Beni, R. (2014). What makes a good student? How emotions, self-regulated learning, and motivation contribute to academic achievement. *Journal of Educational Psychology*, 106(1), 121-131. doi: 10.1037/a0033546
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. (2007). *Motivation, soutien et évaluation : les clés de la réussite des élèves. Programme de recherche sur la persévérance et la réussite scolaires*. Gouvernement du Québec. Récupéré de http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/PSG/recherche_evaluation/MotivationSoutienEvaluation_ClesReussteElevés_f.pdf
- Ministère de l'Éducation du Québec, du Loisir et du Sport. (2001). *Programme de formation de l'école québécoise; éducation préscolaire, enseignement primaire*. Gouvernement du Québec. Récupéré de <http://www.education.gouv.qc.ca/enseignants/pfeq/primaire/>
- Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. (2020). *Indices de défavorisation, année scolaire 2019-2020*. Gouvernement du Québec. Récupéré de <http://www.education.gouv.qc.ca/references/indicateurs-et-statistiques/indices-de-defavorisation/>
- Monchi, O., Petrides, M., Petre, V., Worsley, K. et Dagher, A. (2001). Wisconsin card sorting revisited: Distinct neural circuits participating in different stages of the task identified by event-related functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience*, 21(19), 7733-7741. doi: 10.1523/JNEUROSCI.21-19-07733.2001
- Moreno, R. (2010). Cognitive load theory: More food for thought. *Instructional Science*, 38(2), 135-141. doi: 10.1007/s11251-009-9122-9
- Morin, M.-F., Nootens, P., Labrecque, A. et LeBlanc, I. (2009). *Synthèse de connaissances sur l'enseignement de l'écriture à l'école primaire*. Récupéré de https://lecturecriture.ca/wp-content/uploads/2014/08/Synthèse_finale_mention-MELS_15-mars-2010.pdf
- Moser, J. S., Schroder, H. S., Heeter, C., Moran, T. P. et Lee, Y. H. (2011). Mind your errors: Evidence for a neural mechanism linking growth mind-set to adaptive posterror adjustments. *Psychological Science*, 22(12), 1484-1489. doi: 10.1177/0956797611419520

- Mrazek, A. J., Ihm, E. D., Molden, D. C., Mrazek, M. D., Zedelius, C. M. et Schooler, J. W. (2018). Expanding minds: Growth mindsets of self-regulation and the influences on effort and perseverance. *Journal of Experimental Social Psychology*, 79, 164-180. doi: 10.1016/j.jesp.2018.07.003
- Mueller, C. M. et Dweck, C. S. (1998). Praise for intelligence can undermine children's motivation and performance. *Journal of personality and social psychology*, 75(1), 33. doi: 10.1037//0022-3514.75.1.33
- Myers, C. A., Wang, C., Black, J. M., Bugescu, N. et Hoefft, F. (2016). The matter of motivation: Striatal resting-state connectivity is dissociable between grit and growth mindset. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(10), 1521-1527. doi: 10.1093/scan/nsw065
- OCDE. (2016). *PISA Les élèves en difficulté : pourquoi décrochent-ils et comment les aider à réussir ? : principaux résultats*. Paris : OCDE. doi: 10.1787/19963785
- OCDE. (2019). *Résultats du PISA 2018 (Volume I): Savoirs et savoir-faire des élèves*. Paris : Éditions OCDE. doi: 10.1787/ec30bc50-fr
- Paas, F., Renkl, A. et Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1-4. doi: 10.1207/S15326985EP3801_1
- Paas, F., Tuovinen, J. E. et Merriënboer, J. J. G. v. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: optimizing learner involvement in instruction. *Educational Technology Research & Development*, 53(3), 25-34. doi: 10.1007/BF02504795
- Palmer, P. (réalis.). (2019, 10 mars). Les secrets du corps humain: Apprendre [Épisode de série télévisée]. Dans Société Radio-Canada (prod.), *Découverte*. Récupéré de <https://ici.radio-canada.ca/tele/decouverte/site/episodes/427965/corps-humain-apprendre>
- Pascual-Leone, A., Amedi, A., Fregni, F. et Merabet, L. B. (2005). The plastic human brain cortex. *Annual Review Neuroscience*, 28, 377-401. doi: 10.1146/annurev.neuro.27.070203.144216
- Paunesku, D., Walton, G. M., Romero, C., Smith, E. N., Yeager, D. S. et Dweck, C. S. (2015). Mind-set interventions are a scalable treatment for academic underachievement. *Psychological Science*, 26(6), 784-793. doi: 10.1177/0956797615571017

- Porter, T., Catalán Molina, D., Cimpian, A., Roberts, S., Fredericks, A., Blackwell, L. S. et Trzesniewski, K. (2022). Growth-mindset intervention delivered by teachers boosts achievement in early adolescence. *Psychological Science*, 095679762110611. doi: 10.1177/09567976211061109
- Portney, L. G. (2020). *Foundations of clinical research: applications to evidence-based practice* (4 éd.). Philadelphia : FA Davis.
- Robbins, S. B., Allen, J., Casillas, A., Peterson, C. H. et Le, H. (2006). Unraveling the differential effects of motivational and skills, social, and self-management measures from traditional predictors of college outcomes. *Journal of Educational Psychology*, 98(3), 598-616. doi: 10.1037/0022-0663.98.3.598
- Sarrasin, J. B., Nenciovici, L., Foisy, L.-M. B., Allaire-Duquette, G., Riopel, M. et Masson, S. (2018). Effects of teaching the concept of neuroplasticity to induce a growth mindset on motivation, achievement, and brain activity: A meta-analysis. *Trends in Neuroscience and Education*, 12, 22-31. doi: 10.1016/j.tine.2018.07.003
- Schagen, I. et Hodgen, E. (2009). How much difference does it make? Notes on understanding, using, and calculating effect sizes for schools. *Research Division, Ministry of Education, New Zealand Council for Educational Research.*, 23, 1-27.
- Schroder, H. S., Fisher, M. E., Lin, Y., Lo, S. L., Danovitch, J. H. et Moser, J. S. (2017). Neural evidence for enhanced attention to mistakes among school-aged children with a growth mindset. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 24, 42-50. doi: 10.1016/j.dcn.2017.01.004
- Schroder, H. S., Moran, T. P., Donnellan, M. B. et Moser, J. S. (2014). Mindset induction effects on cognitive control: A neurobehavioral investigation. *Biological Psychology*, 103C, 27-37. doi: 10.1016/j.biopsycho.2014.08.004
- Sisk, V. F., Burgoyne, A. P., Sun, J., Butler, J. L. et Macnamara, B. N. (2018). To what extent and under which circumstances are growth mind-sets important to academic achievement? Two meta-analyses. *Psychological Science*, 29(4), 549-571. doi: 10.1177/0956797617739704
- Song, J., Kim, S.-i. et Bong, M. (2020). Controllability attribution as a mediator in the effect of mindset on achievement goal adoption following failure. *Frontiers in Psychology*, 10(2943). doi: 10.3389/fpsyg.2019.02943

- Sriram, R. (2010). *Rethinking intelligence: The role of mindset in promoting success for academically high-risk college students*. (Thèse de doctorat, Azusa Pacific University). Récupéré de <https://www.proquest.com/dissertations-theses/rethinking-intelligence-role-mindset-promoting/docview/756252798/se-2>
- Swanson, H. L. et Berninger, V. W. (1996). Individual differences in children's working memory and writing skill. *Journal of Experimental Child Psychology*, 63(2), 358-385. doi: 10.1006/jecp.1996.0054
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. et Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261-292. doi: 10.1007/s10648-019-09465-5
- Sweller, J., van Merrienboer, J. J. G. et Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296. doi: 10.1023/A:1022193728205
- Tavor, I., Botvinik-Nezer, R., Bernstein-Eliav, M., Tsarfaty, G. et Assaf, Y. (2019). Short-term plasticity following motor sequence learning revealed by diffusion magnetic resonance imaging. *Human Brain Mapping*, 0(0). doi: 10.1002/hbm.24814
- Tovar-Moll, F. et Lent, R. (2016). The various forms of neuroplasticity: Biological bases of learning and teaching. *Prospects*, 46(2), 199-213. doi: 10.1007/s11125-017-9388-7
- UQAM. Service des bibliothèques. (2017). *Lexique*. Dans *Guide de présentation des mémoires et des thèses*. Récupéré de <http://www.guidemt.uqam.ca/lexique>
- van Merriënboer, J. J. G. et Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177. doi: 10.1007/s10648-005-3951-0
- Versvik, M., Brand, J. et Brooker, J. (2013). *Kahoot!* [Platerforme d'apprentissage interactive]. Norwegian University of Science and Technology : SXSWedu.
- Vezeau, C., Bouffard, T. et Dubois, V. (2004). Relation entre la conception de l'intelligence et les buts d'apprentissage. *Revue des sciences de l'éducation*, 30(1). doi: 10.7202/011767ar

- Viau, R. (1994). *La motivation en contexte scolaire*. Saint-Laurent : Éditions du Renouveau Pédagogique.
- Viau, R. (2009). *La motivation à apprendre en milieu scolaire*. Saint-Laurent : Éditions du Renouveau Pédagogique.
- Vu, T., Magis-Weinberg, L., Jansen, B. R. J., van Atteveldt, N., Janssen, T. W. P., Lee, N. C., . . . Meeter, M. (2022). Motivation-Achievement Cycles in Learning: a Literature Review and Research Agenda. *Educational Psychology Review*, *34*(1), 39-71. doi: 10.1007/s10648-021-09616-7
- Ward, J. (2010). *The student's guide to cognitive neuroscience* (2nd éd.). New York : Psychology Press.
- Watson, P. (2021). *Rules of thumb on magnitudes of effect sizes*. Dans *MRC Cognition and Brain Sciences Unit*. Récupéré de <https://imaging.mrc-cbu.cam.ac.uk/statswiki/FAQ/effectSize>
- Wilkinson, L., Tai, Y. F., Lin, C. S., Lagnado, D. A., Brooks, D. J., Piccini, P. et Jahanshahi, M. (2014). Probabilistic classification learning with corrective feedback is associated with in vivo striatal dopamine release in the ventral striatum, while learning without feedback is not. *Human Brain Mapping*, *35*(10), 5106-5115. doi: 10.1002/hbm.22536
- Wisniewski, B., Zierer, K. et Hattie, J. (2020). The power of feedback revisited: a meta-analysis of educational feedback research. *Frontiers in Psychology*, *10*, 3087. doi: 10.3389/fpsyg.2019.03087
- Xu, K. M., Koorn, P., de Koning, B., Skuballa, I. T., Lin, L., Henderikx, M., . . . Paas, F. (2021). A growth mindset lowers perceived cognitive load and improves learning: Integrating motivation to cognitive load. *Journal of Educational Psychology*, *113*(6), 1177-1191. doi: 10.1037/edu0000631
- Yeager, D. S. et Dweck, C. S. (2020). What can be learned from growth mindset controversies? *American Psychologist*, *75*(9), 1269-1284. doi: 10.1037/amp0000794
- Yeager, D. S., Hanselman, P., Walton, G. M., Murray, J. S., Crosnoe, R., Muller, C., . . . Dweck, C. S. (2019). A national experiment reveals where a growth mindset improves achievement. *Nature*, *573*, 364-369. doi: 10.1038/s41586-019-1466-y
- Yergeau, É. (2009). Étude sur la puissance statistique des devis de recherche en éducation. *Revue des sciences de l'éducation*, *35*(2), 199-221. doi: 10.7202/038735ar

