

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

AUGMENTER LA SAILLANCE D'UN ÉLÉMENT IMPORTANT LORS D'UNE
TÂCHE NÉCESSITANT DU CONTRÔLE INHIBITEUR : EFFETS SUR LA
RÉUSSITE ET LE TEMPS DE RÉPONSE

THÈSE

PRÉSENTÉE

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DOCTORAT EN ÉDUCATION

PAR

ALEXANDRA AUCLAIR

DÉCEMBRE 2022

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse 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

Mes premiers et plus sincères remerciements vont aux élèves, à leurs parents et personne enseignante, qui ont participé à cette étude dans un contexte hors du commun. Votre résilience est remarquable. Je tiens également à remercier les évaluateurs externes, Madame Émilie Lubin et Monsieur Sylvain Sirois, ainsi que la présidente de Jury, Madame Nathalie Bigras, d'avoir fait une analyse critique et rigoureuse de la thèse. Vos commentaires ont assurément permis de bonifier le document écrit et d'enrichir les réflexions lors de la préparation de la soutenance.

Je remercie spécialement Monsieur Steve Masson, qui a été d'un soutien inébranlable dès mon arrivée dans l'équipe jusqu'à la toute dernière minute de la soutenance. Merci mille fois à lui, et à Monsieur Stéphane Cyr, de m'avoir dirigée tout au long de ce long parcours.

Je tiens à remercier le Conseil de recherches en sciences humaines (CRSH) du Canada pour le soutien financier accordé.

Merci à la formidable équipe du LRN, en particulier à Jérémie, Sophie, Lorie et Geneviève, ainsi qu'à celle de l'EREST pour tous ces échanges fructueux et captivants. Merci à Jean-Philippe et Marie-Claude pour ce partage de passion pour l'enseignement des sciences. Merci à mes collègues du Cégep de l'Outaouais, en particulier à Charles-Antoine et Emilie, pour leur appui et les échanges parfois incommensurables. Merci à Émilie et Annie-Claude qui m'ont apporté un énorme soutien dans les derniers mètres, et non les moindres. Merci tout spécial à Caroline, qui a été un phare.

Merci à ma famille et à mes amis pour leur compréhension et support... je peux enfin répondre à votre question : « Quand est-ce que tu finis ton doctorat? » ☺

Merci à toi, Siam, partenaire de coeur de ce doctorat et grande amie, de m'avoir ouvert les yeux sur une nouvelle façon de voir le monde (sur la route entre Montréal et Québec) et pour ces échanges on ne peut plus riches qui en découlaient.

Le doctorat est un parcours parsemé d'embûches de toutes sortes. Le soutien inébranlable de certaines personnes en particulier m'a permis de me rendre à la fin de cet accomplissement. Amil et Jess, merci d'avoir toujours été là malgré la distance. Mes remerciements les plus profonds vont à mon époux. Ta générosité sans borne et ton soutien constant font de toi un humain remarquable, mais un partenaire indispensable. Tu as rendu la vie en parallèle du doctorat merveilleuse. Merci d'avoir cru en moi, parfois plus que moi. Tu as été un pilier dans cette grande aventure. Les mots me manquent pour t'exprimer ma profonde gratitude.

Finalement, merci à mes deux trésors, Yasmine et celui à venir, parce que vous l'avez vécu avec moi la collecte de données et la rédaction finale... ainsi que la préparation à et la soutenance elle-même. Merci pour ces moments de bonheur et d'amour infinis.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	ii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
RÉSUMÉ	viii
ABSTRACT	x
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I PROBLÉMATIQUE.....	3
1.1 Apprentissages scolaires difficiles et contrôle inhibiteur	3
1.2 Interventions visant à favoriser le contrôle inhibiteur.....	8
1.2.1 Entraînement visant une amélioration générale de l'inhibition	8
1.2.2 Interventions visant l'amélioration de l'inhibition dans des tâches scolaires spécifiques.....	11
1.3 Question générale de recherche.....	12
CHAPITRE II CADRE THÉORIQUE.....	14
2.1 Contrôle inhibiteur.....	15
2.1.1 Définitions du contrôle inhibiteur	15
2.1.2 Différentes mesures du contrôle inhibiteur.....	24
2.2 Interventions visant la réussite à des tâches scolaires nécessitant le contrôle inhibiteur.....	28
2.2.1 Stratégie d'intervention 1 : inhiber le système 1.....	28
2.2.2 Stratégie d'intervention 2 : augmenter la saillance d'une variable du système 2.....	31
2.3 Comparaison de nombres à deux chiffres.....	40

2.3.1	Le système de numération positionnelle en base 10	41
2.3.2	Rôle du contrôle inhibiteur dans la comparaison de nombres à deux chiffres : effet de compatibilité.....	43
2.4	Hypothèses de recherche	47
CHAPITRE III MÉTHODOLOGIE.....		53
3.1	Participants.....	54
3.1.1	Justification du choix des participants.....	56
3.1.2	Procédure de recrutement	57
3.2	Collecte de données	59
3.2.1	Contexte particulier de la collecte de données.....	59
3.2.2	Instrumentation	60
3.2.3	Déroulement de la collecte de données	68
3.3	Traitement et analyse des données	72
3.4	Principaux moyens pour respecter la déontologie.....	75
CHAPITRE IV RÉSULTATS.....		78
4.1	Résultats des analyses descriptives	78
4.2	Résultats des analyses inférentielles.....	81
4.2.1	Effet de l'intervention sur le taux de réussite et le temps de réponse selon la condition et le groupe à la deuxième tâche effectuée par les participants	81
4.2.2	Effet de l'intervention sur le taux de réussite et le temps de réponse selon la condition et le groupe à la première tâche effectuée par les participants.....	84
CHAPITRE V DISCUSSION.....		88
5.1	Effet de la stratégie d'intervention et effet de compatibilité.....	89
5.2	Résultats non significatifs et calculs de puissance	92
5.3	Pistes d'explication des résultats non significatifs obtenus	93
5.3.1	Pistes pour expliquer les résultats obtenus au sujet des temps de réponse	94
5.3.2	Pistes pour expliquer les résultats obtenus au sujet des taux de réussite.	96
5.4	Retour sur l'étude de Babai <i>et al.</i> (2016).....	99
5.5	Apport au domaine de l'enseignement des mathématiques.....	101
5.6	Particularités du contexte de collecte de données et limites de l'étude.....	104

5.7 Pistes de recherches futures	108
CONCLUSION	110
ANNEXE A CONTEXTE PANDÉMIQUE DE COVID-19 – MARS 2020 À MARS 2021	113
ANNEXE B FORMULAIRE DE CONSENTEMENT.....	117
ANNEXE C AUTORISATION PARENTALE.....	120
ANNEXE D CONSIGNES AUX PARENTS DES PARTICIPANTS	121
ANNEXE E DÉTAILS CONCERNANT LES TÂCHES	125
ANNEXE F CERTIFICAT ÉTHIQUE	135
ANNEXE G ANALYSES SUPPLÉMENTAIRES.....	136
RÉFÉRENCES.....	141

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
2.1 Schéma de Diamond (2016) illustrant la place du contrôle inhibiteur (<i>inhibitory control</i>) parmi les fonctions exécutives (<i>executive functions</i>)...	17
2.2 Extrait traduit librement du schéma de Diamond (2016) illustrant la place du contrôle inhibiteur parmi les fonctions exécutives	18
2.3 Schéma adapté et traduit librement de Aron (2007) illustrant les différents types d'inhibition dans les domaines de la neuroscience et de la psychologie	19
2.4 Proposition synthèse de définition du contrôle inhibiteur. La partie ombragée représente la définition retenue dans le cadre de cette thèse.	21
2.5 Traduction libre de la figure tirée du texte de Cassoti <i>et al.</i> (2016) illustrant les systèmes 1 et 2, en compétition lors d'une prise de décision, et le système 3, qui s'ajoute à ce modèle. Le système 3, le contrôle cognitif agit sur les systèmes 1 et 2 en permettant leur activation ou leur inhibition.....	23
2.6 Figure tirée de Auclair, Brault Foisy et Masson (2019) illustrant l'opérationnalisation du contrôle inhibiteur soutenue dans le cadre de cette étude.....	24
2.7 Exemple de tâche d'amorçage négatif inspirée de Stroop (1935).....	27
2.8 Figure extraite de Wolfe et Horowitz (2017) illustrant deux types de stimuli captant l'attention.	33
2.9 Image montrant un objet bleu saillant parmi d'autres objets non bleus.	34

2.10	Figure extraite du texte de Babai <i>et al.</i> (2016). Les figures du haut sont en mode discret. Les figures du bas sont en mode continu.	35
3.1	Schéma du protocole utilisé.	61
3.2	Déroulement temporel de chacun des 240 blocs de la tâche de Macizo (2017).	64
3.3	Extrait du design de la tâche sur Gorilla.sc. Les participants sont distribués aléatoirement entre les groupes expérimental et témoin en plus d'être à nouveau distribués aléatoirement entre les listes A et B. Ces listes sont constituées de la même façon, mais avec des nombres différents.....	66
3.4	Capture d'écran d'un couple de nombres de la tâche intervention, sur Gorilla.sc.	67
3.5	Capture d'écran des instructions de la tâche en ligne, sur Gorilla.sc. En haut à droite, l'icône « Play » est celle sur laquelle l'enfant devait appuyer pour avoir l'audio des instructions.	70
3.6	Déroulement global de la collecte de données pour tous les participants suite à leur consentement et au rappel des consignes.	70
3.7	Structure et déroulement d'une tâche. Chaque tâche comprend deux sections de 24 blocs séparées par une pause de 30 secondes.	71
4.1	Graphique d'interaction entre le groupe et la condition au niveau du temps de réponse aux comparaisons réussies lors de la première tâche.	86

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
2.1 Exemples de blocs présents dans la tâche de Macizo (2017)	45
3.1 Répartition des participants dans les groupes témoin et expérimental selon l'âge, le sexe et la latéralité.....	55
3.2 Exemples de blocs présents dans la tâche de Macizo (2017)	62
3.3 Exemples de blocs contrôles présents dans la tâche de Macizo (2017)	63
3.4 Nombre de blocs expérimentaux par condition dans chacune des listes (A et B) de la tâche réduite	65
4.1 Moyennes du taux de réussite pour chacune des conditions des deux tâches effectuées, selon le groupe.....	79
4.2 Moyennes de temps de réponse (en secondes) aux comparaisons réussies pour chacune des conditions des deux tâches effectuées, selon le groupe. .	80
4.3 Résultats de l'ANOVA à mesures répétées comparant le taux de réussite à la deuxième tâche entre les groupes et selon la condition	81
4.4 Résultats de l'ANOVA à mesures répétées comparant le temps de réponse aux comparaisons réussies à la deuxième tâche entre les groupes et selon la condition.....	83
4.5 Résultats de l'ANOVA à mesures répétées comparant le taux de réussite à la première tâche entre les groupes et selon la condition	84

4.6	Résultats de l'ANOVA à mesures répétées comparant le temps de réponse aux comparaisons réussies à la première tâche entre les groupes et selon la condition	85
-----	---	----

RÉSUMÉ

Une multitude d'apprentissages scolaires sont difficiles parce qu'ils nécessitent le contrôle inhibiteur pour freiner des automatismes de la pensée menant à des erreurs (Houdé et Borst, 2014 ; Vosniadou *et al.*, 2018). Si peu d'interventions existent pour aider les élèves à mieux réussir lors de tâches où le contrôle inhibiteur doit être mobilisé, une piste d'intervention qui semble pertinente est celle d'augmenter la saillance de la variable utile à la tâche dans le but de porter l'attention des élèves sur cette variable plutôt que sur l'automatisme menant à une erreur (Babai *et al.*, 2016). Or, peu d'études ont testé cette stratégie d'intervention.

La présente étude l'a fait en utilisant la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres comme contexte. Cette tâche, intimement liée à une compréhension formelle du concept de numération positionnelle, serait aussi soumise à l'effet de compatibilité. Il serait plus rapide de comparer des nombres de la condition compatible (ex. 23 vs 47 ; $4 > 2$ et $7 > 3$) que des nombres de la condition incompatible (ex. 27 vs 43 ; $4 > 2$, mais $3 < 7$). Comparer les nombres de la condition incompatible nécessiterait d'inhiber un automatisme : celui de se fier à la valeur représentée par le chiffre, peu importe sa position dans le nombre.

Soixante-huit élèves de la deuxième année du primaire ont participé à l'étude et ont été répartis aléatoirement en deux groupes. Le groupe témoin a réalisé deux fois une tâche de comparaison de nombres à deux chiffres en ligne et hors classe à partir de la plateforme de collecte de données Gorilla.sc. Le groupe expérimental a réalisé ces deux mêmes tâches, à la différence que pour la première, la taille physique des chiffres des dizaines était plus grande que celle des chiffres des unités, augmentant ainsi la saillance de la variable pertinente à cette tâche, la valeur de position. Les temps de réponse et taux de réussite ont été collectés par la plateforme en ligne. Les hypothèses à l'étude étaient que, suite à l'intervention, (1) la différence au niveau du taux de réussite entre les comparaisons de la condition compatible et celles de la condition incompatible serait significativement moindre pour les élèves du groupe expérimental que pour ceux du groupe témoin ; (2) la différence au niveau du temps de réponse entre les comparaisons réussies de la condition compatible et celles de la condition incompatible serait significativement moindre pour les élèves du groupe expérimental que pour ceux du groupe témoin.

Les résultats montrent un effet significatif de l'intervention sur les temps de réponse lors de la première tâche : l'ANOVA révèle en effet une interaction significative entre le facteur GROUPE (expérimental vs témoin) et le facteur CONDITION (compatible vs incompatible). Plus spécifiquement, le groupe témoin se distingue du groupe expérimental en étant significativement plus lent pour comparer les nombres de la condition incompatible que ceux de la condition compatible. Pour la deuxième tâche, l'effet d'interaction n'est cependant plus significatif et aucune différence significative entre les deux groupes n'est observée. Par ailleurs, les résultats montrent également que l'intervention n'a pas d'effets significatifs sur les taux de réussite : les deux groupes ont significativement mieux réussi les comparaisons compatibles que celles incompatibles et ce, pour les deux tâches, mais aucune différence significative entre les deux groupes n'est observée.

En plus de reproduire les conclusions d'études antérieures montrant que les comparaisons incompatibles sont associées à un taux d'erreur plus élevé et à un temps de réponse plus long, les résultats de la présente étude suggèrent que la mise en saillance d'une variable pertinente à la tâche permet aux élèves de répondre aux comparaisons incompatibles et compatibles à une vitesse qui ne diffère pas significativement selon la condition, et donc de réduire l'effet de compatibilité lié aux temps de réponse. Malgré cette réduction, il semble que l'intervention ne favorise pas plus la réussite et la vitesse d'exécution de la tâche que la répétition de la même tâche. Une piste d'interprétation est que la stratégie de mise en saillance d'une variable pertinente est surtout efficace pour les tâches particulièrement difficiles et pour lesquelles les erreurs persistent même après répétition de la tâche. Différentes pistes pour de recherches futures sont présentées, notamment celles liées à une collecte de données en ligne et hors classe auprès d'élèves du primaire.

Mots clés : apprentissages scolaires difficiles ; contrôle inhibiteur ; stratégie d'intervention ; saillance ; effet de compatibilité ; nombre

ABSTRACT

A multitude of academic learning tasks are difficult because they require inhibitory control to curb automatic thinking processes that lead to errors (Houdé & Borst, 2014; Vosniadou et al., 2018). While few interventions exist to help students perform better on tasks where inhibitory control must be mobilized, one avenue of intervention that seems relevant is that of increasing the salience of the task-useful variable with the goal of focusing students' attention on that variable rather than on the automatism leading to an error (Babai et al., 2016). Yet, few studies have tested this intervention strategy.

The current study did so using the two-digit number comparison task as a context. This task, intimately related to a formal understanding of the positional number concept, would also be subject to the compatibility effect. It would be faster to compare numbers in the compatible condition (e.g., 23 vs. 47; $4 > 2$ and $7 > 3$) than numbers in the incompatible condition (e.g., 27 vs. 43; $4 > 2$, but $3 < 7$). Comparing numbers in the incompatible condition would require inhibiting an automatism: that of relying on the value represented by the digit, regardless of its position in the number.

Sixty-eight second-grade students participated in the study and were randomly assigned to two groups. The control group completed a two-digit number comparison task twice online and offline from the Gorilla.sc data collection platform. The experimental group performed these same two tasks, with the difference that for the first task, the physical size of the tens digits was larger than the physical size of the units digits, thus increasing the salience of the variable relevant to this task, the position value. Response times and success rates were collected through the online platform. The hypotheses under investigation were that, following the intervention, (1) the difference in success rate between comparisons of the compatible condition and those of the incompatible condition would be significantly less for students in the experimental group than for those in the control group; (2) the difference in response time between successful comparisons of the compatible condition and those of the incompatible condition would be significantly less for students in the experimental group than for those in the control group.

The results show a significant effect of the intervention on response times during the first task: the ANOVA indeed reveals a significant interaction between the GROUP

factor (experimental vs control) and the CONDITION factor (compatible vs incompatible). More specifically, the control group differs from the experimental group by being significantly slower to compare the numbers of the incompatible condition than those of the compatible condition. For the second task, however, the interaction effect is no longer significant and no significant difference between the two groups is observed. In addition, the results also show that the intervention has no significant effects on accuracies: the two groups performed significantly better with compatible comparisons than incompatible ones, for the two tasks, but no significant difference between the two groups is observed.

In addition to replicating findings from previous studies showing that incompatible comparisons are associated with a higher error rate and longer response time, the results of the present study suggest that increasing the salience of the task-useful variable allows students to respond to incompatible and compatible comparisons as quickly, thereby reducing the effect of compatibility related to response times. Despite this reduction, it appears that the intervention does not promote better accuracies and response times any more than repeating the same task. One possible explanation is that increasing the salience is most effective in very difficult tasks that remain unsuccessful, even after repeating the task. Different avenues for future research are also presented, in particular those involving online and out-of-class data collection with elementary school students.

Keywords: difficult academic learning; inhibitory control; intervention strategy; salience; compatibility effect; number

INTRODUCTION

Dans la société actuelle, le rôle de l'éducation est indéniable : celui de faire en sorte que les élèves puissent faire face à ce monde en perpétuel changement. L'École a ainsi pour mission de procurer à ses élèves un ensemble d'habiletés ainsi qu'un bagage de connaissances qui permettront à ces enfants, une fois adultes, de trouver et de jouer leur propre rôle dans la société de demain. Parmi tous les facteurs pouvant avoir une influence sur la réussite scolaire des élèves, des études récentes montrent que le contrôle inhibiteur serait un dénominateur commun à de multiples apprentissages scolaires plus difficiles (Houdé et Borst, 2014 ; Vosniadou *et al.*, 2018). En effet, lors de certaines tâches, le contrôle inhibiteur permet de freiner ou de résister à certaines stratégies de réponses spontanées, des automatismes, qui peuvent parfois mener à commettre des erreurs (Diamond, 2013 ; Friedman et Miyake, 2017). Certaines difficultés scolaires peuvent donc s'expliquer par une difficulté à inhiber les automatismes de la pensée (intuitions erronées ou stratégies inappropriées) qui ne sont pas utiles à la tâche dont il est question. Cependant, peu d'interventions existent à ce jour pour aider les élèves lors de ces tâches.

Ce projet de recherche s'intéresse aux moyens d'intervenir pour aider les élèves lors d'apprentissages scolaires qui sont difficiles, en ce sens qu'ils mènent à des erreurs récurrentes, parce qu'ils nécessitent la mobilisation du contrôle inhibiteur. Une intervention sera proposée et testée auprès d'élèves du primaire par l'entremise d'une tâche mathématique qui nécessite d'inhiber un automatisme.

Cette thèse comporte cinq chapitres. Le premier chapitre mènera à poser la question générale de recherche en décrivant succinctement les éléments constituant la problématique. Ce chapitre permettra de mettre en lumière le besoin d'étudier des pistes d'intervention pour aider les élèves à mieux réussir des tâches nécessitant le contrôle inhibiteur. Le deuxième chapitre, le cadre théorique, fera une description détaillée des concepts théoriques sur lesquels s'appuie cette étude. Il y sera question du contrôle inhibiteur, des interventions existantes pour aider l'élève lors de tâches le mobilisant et de la tâche utilisée dans cette étude, la comparaison de nombres à deux chiffres. Ce chapitre mènera à poser des hypothèses spécifiques à l'étude. La méthodologie employée pour les vérifier sera décrite dans le troisième chapitre. Le chapitre quatre présentera les résultats obtenus. La discussion de ces résultats eu égard notamment à l'effet de l'intervention sur la réussite des élèves à la tâche fera l'objet du cinquième chapitre, tout comme les limites et les pistes de recherche futures.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE

Le premier chapitre de cette thèse présente le rôle du contrôle inhibiteur dans les apprentissages scolaires en exposant de nombreux exemples de tâches qui nécessitent sa mobilisation. Les interventions existantes pour favoriser le contrôle inhibiteur ainsi que leurs limites sont ensuite introduites. Ces éléments mènent à la présentation d'une question générale de recherche. Un retour exhaustif sur les études introduites dans ce chapitre ainsi qu'une définition détaillée des différents concepts à l'étude feront l'objet du prochain chapitre, ce premier chapitre visant à exposer de façon succincte le problème de recherche auquel cette thèse s'intéresse.

1.1 Apprentissages scolaires difficiles et contrôle inhibiteur

Le contrôle inhibiteur, une fonction cognitive qui permet notamment de résister à des stratégies spontanées qui mènent à des erreurs¹, est impliqué dans divers apprentissages qui font l'objet d'erreurs récurrentes et qui proviennent de différents domaines (ex. Ahr, Houdé et Borst, 2016 [lecture] ; Lanoë *et al.*, 2016 [conjugaison] ; Stavy et Tirosh, 2000 [biologie]). En sciences et en mathématiques en particulier, l'apprentissage de

¹ Le contrôle inhibiteur sera défini en détail au chapitre 2, à la section 2.1. À noter que contrôle inhibiteur et inhibition sont utilisés indistinctement dans le texte.

nombreux concepts repose sur la nécessité de surmonter certains automatismes (Babai, Shalev et Stavy, 2015 ; Mareschal, 2016). Le contrôle inhibiteur joue donc un rôle clé dans ces deux domaines. Dans cette sous-section, ce sont des exemples d'apprentissages en sciences et en mathématiques requérant la mobilisation du contrôle inhibiteur qui sont présentés.

En physique, par exemple, si deux balles de masse et de matériaux différents sont présentées aux élèves et qu'il leur est demandé d'identifier laquelle des deux coulera le plus rapidement, les élèves auront tendance à répondre que la plus lourde coulera en premier puisque l'objet léger flottera (Rowell et Dawson, 1977 ; Thouin, 2001). Dans cette situation, un automatisme est de se fier uniquement à la masse de l'objet. Or, la flottabilité dépend plutôt de la masse volumique de l'objet ainsi que de celle du liquide dans lequel il est plongé. L'automatisme voulant que seule la masse influence la flottabilité de l'objet peut mener à une erreur dans ce contexte et doit être inhibé (Potvin, Masson, Lafortune et Cyr, 2014). Un autre exemple d'automatisme pouvant induire une erreur se retrouve en électricité. Il est fréquent de penser qu'un seul fil est suffisant pour allumer une ampoule. En effet, même des physiciens experts doivent mobiliser le contrôle inhibiteur afin de correctement juger comme étant erroné un circuit à un seul fil pour lequel une ampoule est allumée (Masson, Potvin, Riopel et Brault Foisy, 2014). Ces deux exemples démontrent la présence d'automatismes pouvant mener à des erreurs en sciences, mais également leur persistance puisque dans le second cas, la conception erronée doit être inhibée même par un physicien expert.

Le portrait est similaire en mathématiques alors que le contrôle inhibiteur a été lié au rendement chez l'élève dès l'âge de huit ans et ce, jusqu'à l'âge adulte (Cragg *et al.*, 2017). Les auteurs ont évalué les connaissances mathématiques factuelles, procédurales et conceptuelles de 293 participants âgés entre 8 et 25 ans et les ont mises en relation avec leurs résultats à des mesures de différentes fonctions exécutives. Une analyse de régression a montré que l'inhibition numérique était un prédicteur des

connaissances factuelles et procédurales des participants, qui à leur tour influençaient le rendement global en mathématiques. Une étude de Lubin *et al.* (2016) poursuit dans ce sens en démontrant que le contrôle inhibiteur serait une des fonctions exécutives associées aux habiletés en mathématiques d'enfants de la quatrième année du primaire (9-10 ans).

Le contrôle inhibiteur interviendrait dans différentes tâches mathématiques. Megias et Macizo (2016) ont montré que la récupération en mémoire de faits arithmétiques simples est soumise à une interférence entre la somme et le produit : donner la réponse à « $2 + 4$ » nécessite d'inhiber le produit de la multiplication des deux nombres (8) qui entre en interférence avec le résultat de l'addition (6). L'inhibition du produit était nécessaire chez des étudiants universitaires pour que la réponse juste, la somme, soit donnée (Megias et Macizo, 2016). Lors de la résolution de problèmes écrits, les mots inducteurs (de moins, de plus) sont souvent utilisés pour déterminer l'opération qui est à faire pour résoudre le problème, mais ces indices textuels peuvent parfois induire le solutionneur en erreur. Il a été en effet démontré que les enfants, les adolescents et même les adultes doivent inhiber cette stratégie menant à une erreur dans certains contextes pour que la résolution juste du problème ait lieu (Lubin *et al.*, 2013, 2016). Ces deux exemples démontrent la persistance de tels automatismes qui mènent à des erreurs même chez l'adulte.

D'autres études ont eu lieu auprès d'enfants d'âge scolaire. En géométrie, par exemple, lorsque des élèves de la deuxième à la neuvième année ont dû déterminer laquelle de deux figures a le plus grand périmètre, ils ont eu tendance à se fier spontanément à l'aire, ce qui a mené à une erreur chez 70 % d'entre eux (Stavy et Tirosh, 2000). L'aire des figures, qui est une variable inutile à la réussite à cette tâche, interférerait donc avec l'analyse du périmètre (Babai, Shalev et Stavy, 2015) et devrait être inhibée pour que l'élève en vienne à une réponse juste.

Par ailleurs, les travaux de Piaget (1952) ont montré que, lors d'une tâche au cours de laquelle les élèves doivent déterminer si deux collections ayant le même nombre d'objets sont toujours équivalentes une fois que les objets de l'une ont été dispersés, la majorité des élèves de 6 ans se fient à l'espace occupé par les objets et jugent de façon erronée que la collection la plus dispersée est alors plus grande. À partir de 7 ans, les élèves sont en mesure de comprendre que la quantité a été conservée malgré l'espacement des objets de la collection (Piaget, 1952). Houdé et ses collègues (2011) ont repris cette tâche de conservation du nombre en l'étudiant du point de vue du contrôle inhibiteur. Ils ont démontré que les élèves qui réussissent cette tâche le font en inhibant l'automatisme selon lequel un plus grand espace équivaut à un plus grand nombre (Houdé *et al.*, 2011). Pour déterminer qu'un nombre reste le même, peu importe son arrangement spatial, l'élève doit donc être en mesure d'inhiber un automatisme en lien avec l'espace.

D'autres apprentissages liés à la notion de nombre requièrent la mobilisation du contrôle inhibiteur. Les connaissances sur les nombres naturels constituent d'ailleurs elles-mêmes des automatismes pouvant nuire dans certains contextes (Vamvakoussi, Van Dooren et Verschaffel, 2012). Par exemple, quand l'élève compare la grandeur de deux nombres décimaux, l'automatisme selon lequel plus un nombre possède de chiffres, plus il est grand, peut occasionner des erreurs. En effet, dans le cas des nombres décimaux, il se peut que le nombre contenant le plus de chiffres soit également celui le plus petit (ex. 1,456 vs 1,6). Pour déterminer lequel des deux nombres décimaux est le plus grand, l'élève doit inhiber cette connaissance qui s'applique aux nombres naturels (Roell *et al.*, 2017). Une situation similaire se présente lors de l'apprentissage des fractions. L'une des principales causes de difficultés serait l'interférence des connaissances sur les nombres naturels (Meert, Grégoire et Noël, 2010). Stafilydou et Vosniadou (2004) rapportent que 37,5 % des élèves de 5^e année impliqués dans leur étude considèrent indépendamment les deux nombres constituant la fraction. Lors de la comparaison de deux fractions, la valeur des nombres naturels

composant la fraction interfère donc avec le jugement de la grandeur (Meert, Grégoire et Noël, 2010). Par exemple, lorsque deux fractions ont le même numérateur (ex. $1/3$ et $1/5$), les élèves ont tendance à identifier comme étant plus grande la fraction dont le dénominateur est le plus grand, ce qui mène à des erreurs. Même des mathématiciens experts auraient tendance à se laisser biaiser par leurs automatismes provenant de leurs connaissances sur les nombres naturels lors de la comparaison de fractions (Obsteiner, Van Dooren, Van Hoof et Verschaffel, 2013), ce qui suggère une persistance de cet automatisme et un besoin de l'inhiber à tous âges (Rossi *et al.*, 2019).

Un scénario similaire se produit lors de la comparaison de nombres à deux chiffres. Bien que cette tâche soit associée à de nombreuses difficultés liées à la compréhension abstraite du concept mathématique sous-jacent qu'elle requiert, la numération positionnelle nécessiterait aussi un contrôle inhibiteur (Macizo, 2017). En effet, dans les cas où les deux nombres ont des chiffres différents à la position des dizaines, la valeur du chiffre à la position des unités est inutile pour juger du nombre le plus grand. Or, la valeur représentée par les chiffres, quelle que soit leur position, interférerait dans la comparaison des nombres. Dans le cas des nombres à deux chiffres, l'inhibition du chiffre à la position des unités serait donc requise pour juger du nombre le plus grand lorsque les deux nombres présentés n'ont pas le même chiffre à la position des dizaines (ex. 29 vs 51 ; Macizo, 2017). L'étude de Macizo (2017) a été réalisée auprès d'étudiants universitaires. L'interférence causée par la valeur représentée par les chiffres, indépendamment de leur position, est donc présente même chez l'adulte, ce qui démontre la persistance de cet automatisme. La difficulté à inhiber un automatisme peut donc persister et être une source d'erreur, même si la personne qui réalise la tâche a une compréhension complète du concept mathématique en jeu dans la comparaison de nombres à deux chiffres.

Les exemples présentés ci-haut couvrent un ensemble varié d'apprentissages en sciences et en mathématiques au cours desquels le contrôle inhibiteur intervient. Des

exemples d'autres domaines auraient également pu être donnés (lecture, conjugaison, biologie, etc.). Ces nombreux exemples démontrent le rôle que joue le contrôle inhibiteur lors d'apprentissages scolaires. Des difficultés à ce niveau peuvent être à la source de multiples erreurs, d'où l'intérêt de s'intéresser aux interventions qui puissent aider les élèves à le mobiliser. La prochaine section présente les interventions visant à favoriser le contrôle inhibiteur qui ont été recensées à ce jour.

1.2 Interventions visant à favoriser le contrôle inhibiteur

La section précédente montre que les automatismes menant à des erreurs en sciences et en mathématiques sont nombreux et persistants. Il convient donc de s'intéresser à comment intervenir pour aider les élèves lors des tâches pour lesquelles il est nécessaire de les inhiber. Cette section présente un ensemble d'études recensées qui visaient à vérifier l'effet d'interventions élaborées pour favoriser le contrôle inhibiteur.

1.2.1 Entraînement visant une amélioration générale de l'inhibition

Les premières études recensées ont testé des interventions visant une amélioration générale de l'inhibition. Ces études avaient pour objectif de développer la capacité générale d'inhibition en l'entraînant à partir d'une tâche générale, non scolaire et souvent décontextualisée, en espérant que le gain puisse être transféré dans toutes les tâches nécessitant de l'inhibition, y compris les tâches scolaires. Pour certaines de ces études (ex. Enge *et al.*, 2014 ; Thorell *et al.*, 2009), aucun effet significatif des interventions sur l'efficacité du contrôle inhibiteur n'a pu être observé. Pour d'autres, le contrôle inhibiteur était amélioré par l'intervention proposée (ex. Berkman, Kahn et Merchant, 2014 ; Hartmann, Sallard et Spierer, 2016).

L'étude de Thorell *et al.* (2009) a été réalisée auprès d'élèves du préscolaire. Un groupe d'élèves devait s'entraîner à inhiber, à partir d'un jeu effectué par ordinateur, pour une durée de 15 minutes par jour pendant cinq semaines. Différentes mesures ont été prises

avant et après l'entraînement. Les résultats montrent une amélioration à certaines tâches très similaires à celle réalisée lors de l'entraînement. Toutefois, aucune amélioration significative aux tâches mesurant l'inhibition se distinguant de l'entraînement ainsi qu'aucune différence significative par rapport au groupe contrôle n'ont été obtenues (Thorell *et al.*, 2009). Un autre exemple est l'étude de Enge *et al.* (2014), qui visait à tester l'effet d'un entraînement général du contrôle inhibiteur auprès d'étudiants universitaires. Les participants du groupe expérimental s'entraînaient, sur une période de trois semaines, avec des tâches informatisées généralement utilisées pour mesurer les capacités générales à inhiber (*Stroop* et *Go/No-Go* ; voir section 2.1.2 pour une présentation de ces tâches). Tout au long de l'entraînement, le niveau de difficulté augmentait graduellement en fonction du niveau des participants. Le groupe expérimental était ensuite comparé à deux groupes contrôles : un premier groupe dit passif qui n'a réalisé que les prétest et post-test ; un second groupe dit actif qui a réalisé les mêmes tâches que le groupe expérimental, mais sans l'augmentation du niveau de difficulté caractéristique de l'entraînement. Les résultats montrent que les participants du groupe expérimental étaient globalement meilleurs que le groupe contrôle passif au post-test. Par contre, les différences observées sont en lien avec le rendement global, et non spécifiquement avec le contrôle inhibiteur. Qui plus est, aucune différence significative n'a été obtenue entre le groupe expérimental et le groupe contrôle actif. Les résultats ne permettent donc pas de conclure à un effet de l'entraînement sur le contrôle inhibiteur (Enge *et al.*, 2014). Ces études montrent qu'un entraînement à inhiber décontextualisé d'une durée de quelques semaines (3 à 5 semaines) mène difficilement à un effet sur le contrôle inhibiteur et que cet effet est difficilement transférable à des tâches mesurant le contrôle inhibiteur qui se distinguent de celles utilisées pour l'entraînement.

De façon similaire à Enge *et al.* (2014), Hartmann *et al.* (2016) ont utilisé la tâche du *Go/No-Go* pour entraîner les participants de leur étude, 22 hommes de niveau universitaire, à inhiber. Lors de l'entraînement de 50 minutes, des rétroactions étaient

données aux participants pour leur indiquer s'ils avaient une bonne ou une mauvaise réponse. Un message leur indiquait aussi lorsqu'ils avaient été trop lents pour répondre. Des mesures quant à l'activité cérébrale des participants et à leur réussite à la tâche étaient prises tout au long de l'entraînement. Les résultats montrent de meilleures capacités à inhiber après l'entraînement ainsi qu'une activité plus grande des régions cérébrales liées à l'inhibition (Hartmann *et al.*, 2016). Les résultats ont par contre été obtenus à partir de la même tâche utilisée pour l'entraînement et aucun groupe contrôle n'était inclus dans l'étude. L'étude de Thorell *et al.* (2009) citée plus haut présentait aussi une amélioration du groupe expérimental, mais aucune différence avec un groupe contrôle, ce qui empêchait de conclure à un effet de l'intervention. Thorell *et al.* (2009) suggèrent par ailleurs d'utiliser d'autres tâches mesurant l'inhibition que celles utilisées lors de l'entraînement afin de vérifier si l'amélioration lors de l'entraînement se transfère effectivement aux capacités inhibitives dites générales. Dans leur recension des écrits scientifiques portant sur les interventions visant à entraîner le contrôle inhibiteur auprès de participants allant du niveau préscolaire à l'âge adulte, Spierer *et al.* (2013) abondent d'ailleurs en ce sens en précisant qu'un entraînement qui est très spécifique à une tâche permet de rendre automatique l'inhibition du stimulus particulier de cette tâche. Mieux réussir à inhiber dans une tâche utilisée pour l'entraînement ne voudrait donc pas dire que les élèves réussiraient mieux à inhiber dans une tâche différente qui nécessite le contrôle inhibiteur (Spierer *et al.*, 2013). Il est d'ailleurs documenté que le transfert des effets d'un entraînement cognitif général et décontextualisé à des tâches qui s'éloignent de la tâche au cours de laquelle l'entraînement a eu lieu, soit un transfert éloigné, est peu probable (Sala et Gobet, 2017). Force est de constater que ce type d'entraînement général puisse ne pas être suffisant pour aider les élèves à mieux réussir lors d'apprentissages scolaires nécessitant le contrôle inhibiteur et que des interventions spécifiques au contexte scolaire devraient être mises en place à cette fin.

1.2.2 Interventions visant l'amélioration de l'inhibition dans des tâches scolaires spécifiques

Au lieu de viser une amélioration générale de la capacité d'inhibition, quelques études ont évalué l'efficacité d'une autre approche en tentant de favoriser le contrôle inhibiteur au sein de tâches spécifiques sans viser un gain transférable à toutes les tâches impliquant de l'inhibition (Babai *et al.*, 2016 ; Babai *et al.*, 2015 ; Houdé *et al.*, 2000 ; Lubin *et al.*, 2012 ; Moutier *et al.*, 2002 ; Willame et Snauwaert, 2018). Parmi celles-ci, l'étude de Babai, Shalev et Stavy (2015), celle de Houdé *et al.* (2000) ainsi que celle de Moutier, Angeard et Houdé (2004) ont vérifié l'effet d'interventions visant à mobiliser le contrôle inhibiteur lors de tâches scolaires de géométrie auprès d'élèves de 5^e et 6^e année du primaire dans le premier cas, et de tâches de raisonnement logique auprès d'étudiants de 22 ans à 24 ans dans les deux autres cas. Les participants ont amélioré leur rendement à la tâche proposée dans chacune des études (voir section 2.2 pour une présentation détaillée). Cette voie d'intervention, qui vise la réussite de tâches précises plutôt qu'une amélioration générale de l'inhibition, montre des résultats prometteurs, mais reste une piste encore peu explorée, comme nous le verrons plus en détail dans le prochain chapitre portant sur le cadre théorique, au cours duquel ces études et d'autres (Lubin *et al.*, 2012 ; Willame et Snauwaert, 2018) seront détaillées.

En somme, bien que différentes interventions plutôt générales existent pour favoriser le contrôle inhibiteur, il importe de se questionner quant au transfert des effets de telles interventions. Les recherches distinguent souvent deux types de transfert. Le premier, le transfert proche, impliquerait d'utiliser des compétences développées dans le cadre d'une tâche dans une autre tâche semblable en termes de domaine de connaissances, notamment (Barnett et Ceci, 2002). Par exemple, les compétences développées en calcul mathématique se transfèrent possiblement à une tâche de résolution de problèmes mathématiques. Le deuxième, le transfert éloigné, impliquerait plutôt la généralisation de compétences acquises dans un domaine vers un autre domaine qui y est peu lié (Sala et Gobet, 2017). Dans ce cas-ci, un transfert éloigné serait le

développement des capacités à inhiber lors d'une tâche générale, non scolaire et souvent décontextualisée, qui se généralisent à une tâche de comparaison mathématique, par exemple. Le transfert des interventions plutôt générales visant à améliorer les capacités à inhiber est non seulement rare pour des tâches près de celles utilisées lors de l'entraînement, tel que vu précédemment, mais le transfert des effets de telles interventions visant à améliorer les fonctions exécutives serait encore plus rare pour des apprentissages scolaires, ce qui constituerait un transfert éloigné (Kassai *et al.*, 2019 ; Melby-Lervag *et al.*, 2016 ; Sala et Gobet, 2017). Par ailleurs, peu d'études ont porté sur des interventions permettant d'aider les élèves à mobiliser le contrôle inhibiteur lors de tâches scolaires spécifiquement. Ces constats nous mènent à formuler une question générale de recherche.

1.3 Question générale de recherche

En somme, de multiples difficultés scolaires peuvent être associées à la persistance d'automatismes qui interfèrent avec un raisonnement approprié. Pour surmonter ces automatismes, la mobilisation du contrôle inhibiteur est requise. Des exemples d'apprentissages pour lesquels de tels automatismes doivent être freinés ont été présentés en sciences et en mathématiques. Ces exemples témoignent de la prévalence et de la persistance de tels automatismes qui peuvent mener à des erreurs même chez l'adulte.

L'élaboration d'interventions visant à aider les élèves dans ces contextes où un conflit survient entre des automatismes et un raisonnement approprié est requise. Les résultats des interventions dont l'objectif est d'améliorer les capacités inhibitives *générales* de l'élève sont difficilement transférables au contexte de tâches scolaires (Sala et Gobet, 2017). Des interventions précisées dans le contexte de tâches scolaires sont donc nécessaires pour aider l'élève à mieux les réussir. Outre quelques études aux résultats prometteurs ayant porté sur des interventions visant à favoriser le contrôle inhibiteur

lors de tâches scolaires ou de raisonnement logique (Babai *et al.*, 2016 ; Babai *et al.*, 2015 ; Houdé *et al.*, 2000 ; Lubin *et al.*, 2012 ; Moutier *et al.*, 2002 ; Willame et Snauwaert, 2018), peu de connaissances, à ce jour, permettent de mettre en lumière comment aider les élèves à mieux réussir lors de ces apprentissages qui sont difficiles parce qu'ils mènent à des erreurs récurrentes. Ces constats nous mènent à formuler notre question générale de recherche :

Comment pouvons-nous aider les élèves à mieux réussir des tâches scolaires pour lesquelles des automatismes doivent être inhibés ?

Cette question générale de recherche permet la sélection subséquente d'articles pour le cadre théorique dont la présentation mènera à des hypothèses spécifiques (Thouin, 2014).

CHAPITRE II

CADRE THÉORIQUE

Étant donné l'étendue des apprentissages pour lesquels le contrôle inhibiteur est requis et la persistance des automatismes lors de ceux-ci, un besoin d'intervenir pour aider les élèves lors de ces apprentissages difficiles a été soulevé. Or, peu d'études ont porté sur des interventions permettant d'aider les élèves à réussir lors de tâches scolaires requérant le contrôle inhibiteur. La question générale de recherche suivante est donc posée : comment pouvons-nous aider les élèves à mieux réussir des tâches scolaires pour lesquelles des automatismes doivent être inhibés ?

Le présent chapitre vise à faire un portrait plus détaillé de la situation qui mènera à des hypothèses de recherche spécifiques. Ce chapitre se présente en quatre sections. Le contrôle inhibiteur et ses définitions font l'objet de la première section. La seconde section porte sur les interventions visant à favoriser la réussite lors de tâches scolaires pour lesquelles le contrôle inhibiteur est requis en précisant le manque d'études à ce niveau et l'intérêt de mener une étude en ce sens. Le choix d'une tâche mathématique précise, la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres, pour mener une telle étude y est ensuite justifié. La troisième section présente le rôle du contrôle inhibiteur lors de la comparaison de nombres à deux chiffres. Ces trois sections mettent la table à la quatrième et dernière section : la présentation des hypothèses spécifiques à l'étude.

2.1 Contrôle inhibiteur

Dans cette première section, il sera d'abord question de définir le concept de contrôle inhibiteur. Les façons de mesurer sa mobilisation seront ensuite présentées.

2.1.1 Définitions du contrôle inhibiteur

De nombreux auteurs se sont intéressés au contrôle inhibiteur, mais très peu d'entre eux se sont attardés à le définir de façon précise (MacLeod, 2007). C'est la raison pour laquelle il est difficile de donner une seule définition à ce concept qui serait cohérente avec l'ensemble des utilisations qui en sont faites. Le concept de contrôle inhibiteur est utilisé dans plus d'un domaine, notamment en neurosciences et en psychologie (Aron, 2007), ce qui fait en sorte qu'il peut être défini d'un point de vue neuronal, comportemental et cognitif (Diamond, 2013 ; MacLeod, 2007). Différents travaux serviront d'appui à la définition du contrôle inhibiteur choisie dans le cadre de cette thèse. Pour une synthèse, se référer à la figure 2.4.

D'un point de vue neuronal, le contrôle inhibiteur réfère au fait que des cellules du cerveau, les neurones, communiquent entre elles à partir de neurotransmetteurs qui peuvent être excitateurs ou inhibiteurs. Les neurotransmetteurs inhibiteurs, dont la dopamine, sont responsables de freiner l'activation d'un neurone (ex. Kandel, Schwartz et Jessel, 2000). Ce type d'inhibition, l'inhibition neuronale, est depuis longtemps étudié et sa définition fait généralement consensus dans le domaine des neurosciences (Aron, 2007).

En psychologie, le consensus quant à une définition est plus difficile à obtenir puisque les mesures de l'inhibition sont souvent indirectes (Aron, 2007). De ce fait, une multitude de définitions existe, autant d'un point de vue conceptuel que fonctionnel (Howard *et al.*, 2014). Diamond (2013) situe le contrôle inhibiteur parmi trois fonctions exécutives principales (voir figure 2.1). Les fonctions exécutives réfèrent à un

ensemble de processus cognitifs mis en place pour poursuivre et atteindre un objectif précis (Miller et Cohen, 2001). La mémoire de travail et la flexibilité cognitive seraient deux autres fonctions exécutives accompagnant le contrôle inhibiteur. D'un point de vue développemental, les fonctions exécutives, dont le contrôle inhibiteur, se développeraient précocement, et ce jusqu'à l'âge adulte (Er-Rafiqi *et al.*, 2017). Plus spécifiquement, Diamond (2013) avance que les capacités à inhiber se développeraient dès la naissance, augmenteraient graduellement jusqu'à l'âge adulte pour finalement diminuer chez les adultes plus âgés. Ces capacités seraient aussi très variables chez les enfants plus jeunes, leur étude ayant montré que les enfants âgés de 4 à 9 ans avaient des résultats considérablement différents entre eux à une tâche nécessitant l'inhibition, autant en termes de justesse que de temps de réponse. Le contrôle inhibiteur ne serait donc pas mature avant l'âge adulte (Diamond, 2016). Le développement du contrôle inhibiteur serait intimement lié à celui de la mémoire de travail et les deux appuieraient le développement de la flexibilité cognitive (Diamond, 2013, 2016 ; voir figure 2.1). Le développement des fonctions exécutives serait influencé par la culture et le contexte sociodémographique ainsi que par la maturation du cortex préfrontal, région du cerveau associée aux fonctions exécutives (Er-Rafiqi *et al.*, 2017).

La figure 2.1 présente le modèle, proposé par Diamond (2016), de l'organisation générale des fonctions exécutives. La figure 2.2 reprend et traduit le partie de cette figure qui concerne le contrôle inhibiteur. Le texte qui suit ces figures définira l'inhibition selon Diamond (2013, 2016).

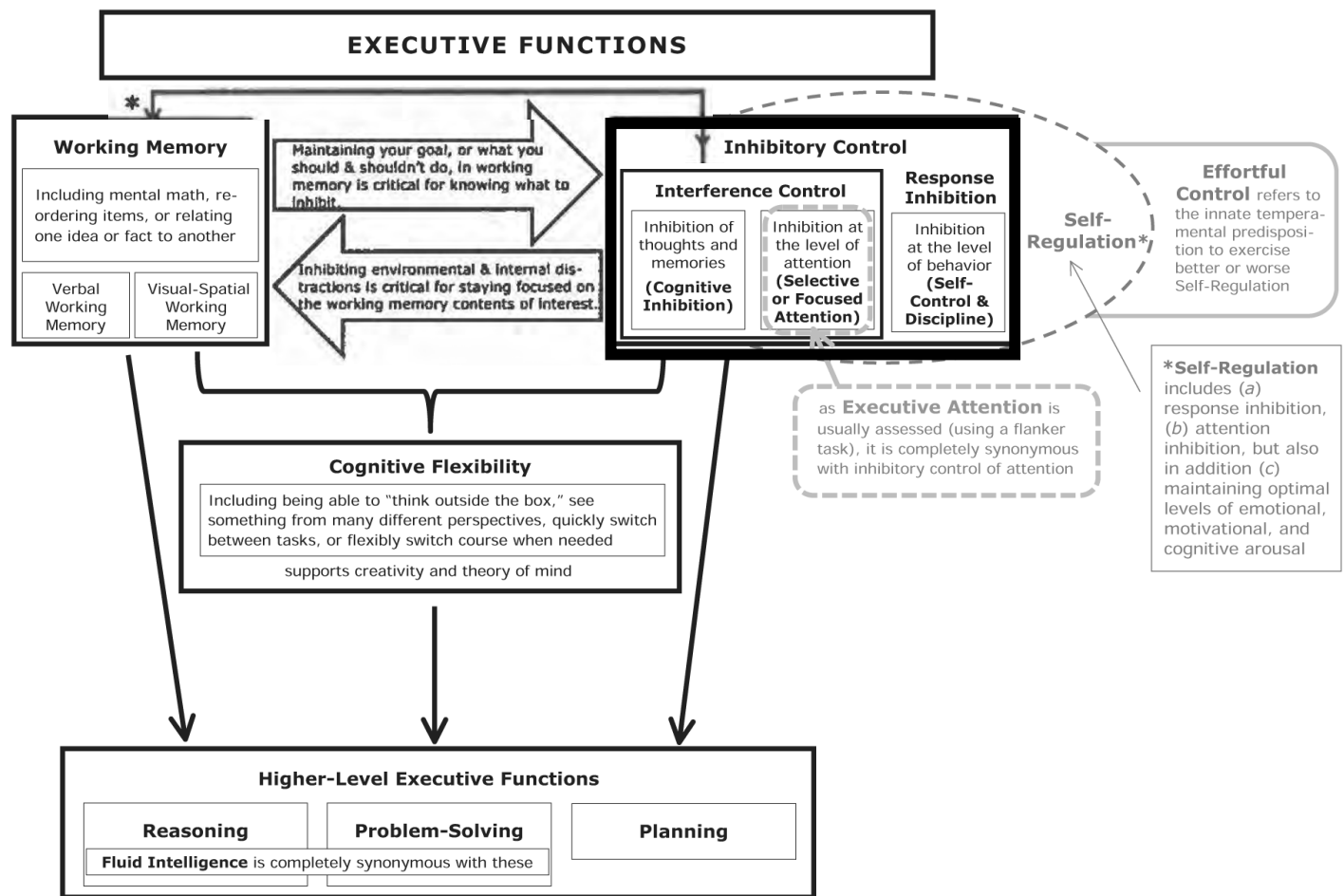


Figure 2-1 Schéma de Diamond (2016) illustrant la place du contrôle inhibiteur (*inhibitory control*) parmi les fonctions exécutives (*executive functions*). On peut y voir la mémoire de travail (*working memory*) et la flexibilité cognitive (*cognitive flexibility*). L'encadré mis en évidence a été traduit dans la prochaine figure.

Contrôle inhibiteur		
Contrôle d'interférence		Inhibition de réponse
Inhibition de pensées et de souvenirs (inhibition cognitive)	Inhibition au niveau de l'attention (attention focalisée ou sélective)	Inhibition au niveau comportemental (contrôle de soi et discipline)

Figure 2-2 Extrait traduit librement du schéma de Diamond (2016) illustrant la place du contrôle inhibiteur parmi les fonctions exécutives (voir figure 2.1).

Diamond (2013) distingue différentes formes d'inhibition : l'inhibition de comportements, l'inhibition attentionnelle (attention sélective) ainsi que l'inhibition cognitive. D'un point de vue comportemental, l'inhibition consiste à freiner certains comportements moteurs initiés, ou impulsions. Il réfère au contrôle de soi (Diamond, 2013 ; MacLeod, 2007). L'inhibition attentionnelle permet de conserver l'attention sur les informations utiles lors d'une tâche en ignorant d'autres informations qui captent l'attention, mais qui seraient inutiles. L'inhibition cognitive permet quant à elle de freiner les souvenirs, les pensées et les représentations mentales. L'inhibition cognitive et l'inhibition attentionnelle seraient incluses sous une catégorie plus large : le contrôle d'interférences (Diamond, 2013 ; voir figure 2.2).

De façon similaire, Aron (2007) regroupe sous l'appellation de contrôle cognitif : l'inhibition de comportements moteurs, l'inhibition de distracteurs à l'attention (attention sélective), l'inhibition des émotions ainsi que l'inhibition d'informations provenant de la mémoire (voir figure 2.3).

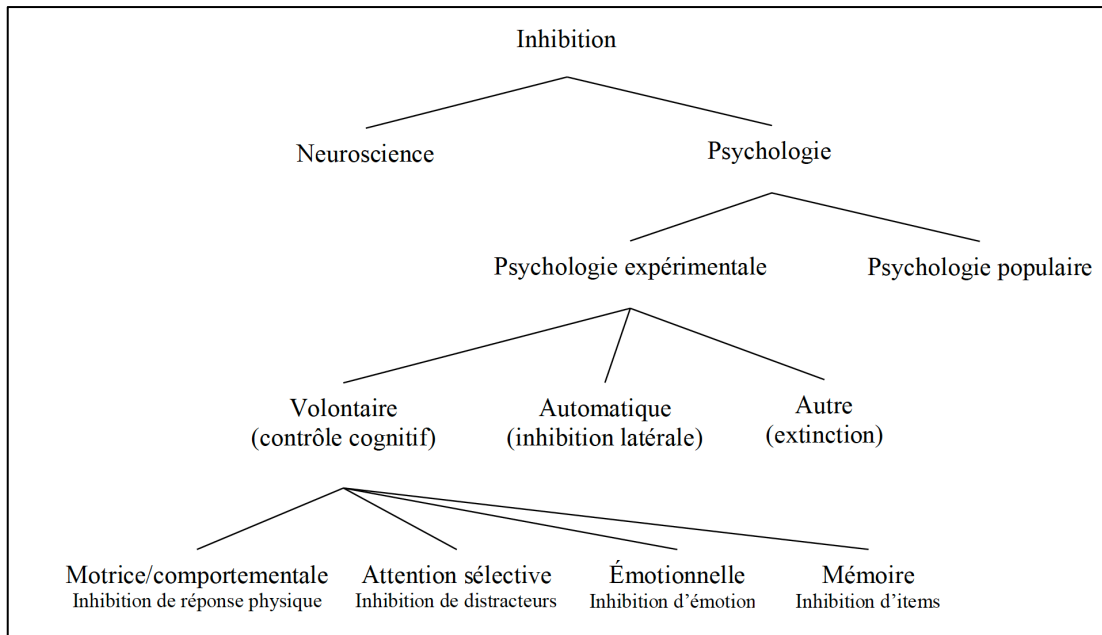


Figure 2-3 Schéma adapté et traduit librement de Aron (2007) illustrant les différents types d'inhibition dans les domaines de la neuroscience et de la psychologie

Les définitions de Diamond (2013) et d'Aron (2007) ont en commun de distinguer le contrôle de comportements moteurs de celui cognitif. MacLeod (2007) abonde dans ce sens en distinguant l'inhibition comportementale de l'inhibition cognitive, la dernière référant au contrôle de processus mentaux, selon l'auteur.

Par ailleurs, d'autres auteurs apportent une précision supplémentaire à l'aspect cognitif de l'inhibition en distinguant l'inhibition cognitive de l'inhibition de réponses (ex. Howard *et al.*, 2014 ; Friedman et Miyake, 2004 ; Piotrowski *et al.*, 2019). L'inhibition cognitive viserait à inactiver des informations inutiles qui ont été préalablement activées (Howard *et al.*, 2014). L'inhibition de réponses viserait plutôt à freiner une réponse très tentante, mais erronée, activée spontanément lors d'une tâche (Mason *et al.*, 2019 ; Piotrowski *et al.*, 2019). Par exemple, lors de la comparaison du périmètre de deux figures, la variable « aire » doit être inhibée. L'inhibition cognitive freinerait la représentation mentale « aire » si elle est déjà active en mémoire. Ce serait

notamment le cas si une tâche qui viendrait d'être réalisée demandait de traiter l'aire des figures. L'inhibition de réponse freinerait l'« aire » si elle est plutôt spontanément activée lorsque la figure se présente.

Howard *et al.* (2014) avancent cependant que le modèle le mieux adapté pour définir le contrôle inhibiteur serait un modèle à deux facteurs distinguant plutôt l'inhibition automatique de l'inhibition avec effort. L'inhibition avec effort inclurait l'inhibition cognitive et l'inhibition de réponse. Tel que précisé plus haut, ces deux formes d'inhibition réfèrent respectivement à la suppression d'informations préalablement activées en pensée et à la suppression d'une réponse très automatisée et activée spontanément en pensée lors d'une tâche, mais erronée. Par ailleurs, l'inhibition cognitive automatique définie par Howard *et al.* (2014) serait de porter l'attention aux informations utiles pour ainsi résister à une interférence créée par un distracteur (information inutile à la tâche). Cette forme d'inhibition est similaire à l'inhibition de distracteurs décrite par Aron (2007), les deux ayant un lien avec l'attention sélective. Ces trois formes d'inhibition semblent donc être incluses sous l'appellation plus générale d'inhibition cognitive telle que définie par MacLeod (2007) ainsi que sous la définition du contrôle d'interférences donnée par Diamond (2013). En effet, selon Diamond (2013), l'inhibition de pensées et de souvenirs ainsi que l'inhibition de distracteurs de l'attention sont incluses dans le contrôle d'interférences.

D'autres catégorisations du contrôle inhibiteur sont possibles. Ce terme peut à la fois référer à un concept unique ou bien à un ensemble de fonctions variées toutes regroupées sous une même appellation (Friedman et Miyake, 2017). Il n'y a pas une seule définition unique à ce concept et il est utilisé de différentes façons. Ceci dit, des points communs s'observent entre chacune des définitions présentées dans cette section. D'une part, une distinction est faite entre un contrôle cognitif et un contrôle de comportements (Aron, 2007 ; Diamond, 2013 ; MacLeod, 2007). En s'intéressant à la réussite à des tâches scolaires, cette étude se concentrera sur le contrôle cognitif.

D'autre part, différents auteurs (Howard *et al.*, 2014 ; Friedman et Miyake, 2004 ; Piotrowski *et al.*, 2019) distinguent l'inhibition cognitive de l'inhibition de réponses, les deux correspondant à un contrôle cognitif (et non comportemental). Finalement, la distinction entre une inhibition qui serait avec effort ou automatique décrite par Howard *et al.* (2014) peut s'assimiler à la distinction entre inhibition de pensées et de représentations mentales et inhibition attentionnelle de Aron (2007), toutes deux incluses dans le contrôle cognitif. Cette distinction se retrouve également dans la définition de contrôle d'interférences de Diamond (2013). La figure 2.4 propose une synthèse des différents travaux cités portant sur la définition du contrôle inhibiteur.

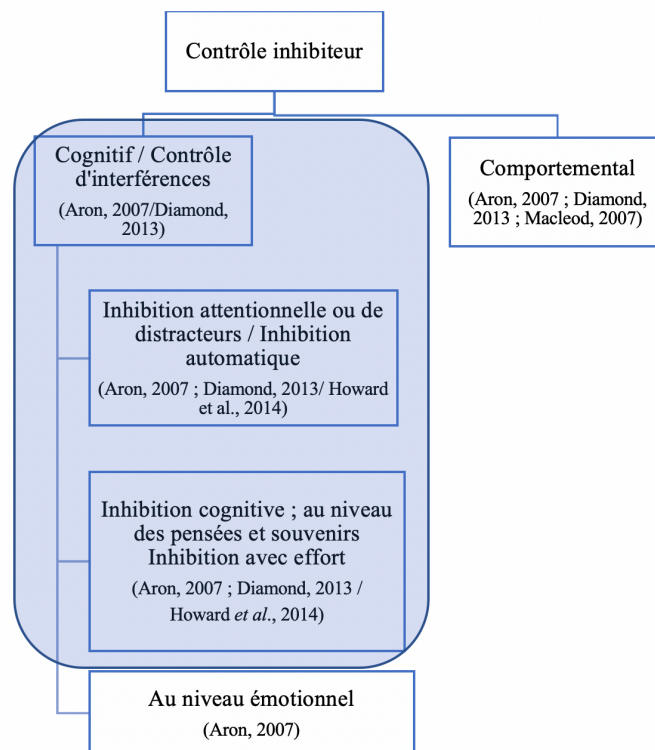


Figure 2-4. Proposition synthèse de définition du contrôle inhibiteur. La partie ombragée représente la définition retenue dans le cadre de cette thèse.

Dans le cadre de cette étude, le contrôle inhibiteur réfèrera au contrôle d'interférences créées par des pensées, des représentations mentales, des souvenirs ou des distracteurs (Aron, 2007 ; Diamond, 2013). Ces différents interférents seront considérés indistinctement sous le terme plus général d'automatismes. Pour cette étude, il sera donc entendu par contrôle inhibiteur l'inhibition d'automatismes pouvant mener à des erreurs lors d'une tâche en les arrêtant ou en les surmontant, en partie ou complètement (MacLeod, 2007). Ce choix a été fait considérant que, selon la tâche scolaire, l'un ou l'autre des types d'automatismes peut être en jeu. Une définition plus générale de l'inhibition était donc requise. Ce choix a aussi été fait considérant que les différentes définitions proposées plus haut sont, selon nous, recouvertes presque entièrement par cette définition plus générale.

Par ailleurs, nous appuyons également cette étude sur les théories selon lesquelles le contrôle inhibiteur peut être compris en faisant référence à deux systèmes de raisonnement de la pensée. Lors d'une tâche, deux systèmes de pensée entrent en compétition (Kahneman, 2011). Le système 1, aussi nommé le système heuristique, est rapide et représente un raisonnement intuitif et spontané ; il repose sur les automatismes. Il est en compétition avec le système 2, appelé le système algorithmique, qui est plus lent et qui représente un raisonnement algorithmique (Kahneman, 2011). Puisqu'il est plus spontané, le système 1 domine généralement sur le système 2 et constitue ainsi parfois un piège menant à commettre des erreurs. Les travaux de Kahneman (2011) portent sur la prise de décisions en entreprise et dans nos vies personnelles. Houdé et Borst (2015) ont appliqué cette théorie au développement cognitif dans le domaine du raisonnement logique en y ajoutant un troisième système : le contrôle inhibiteur. Ce système intervient sur les deux autres systèmes en les inhibant ou les activant (Houdé et Borst, 2015 ; voir figure 2.5).

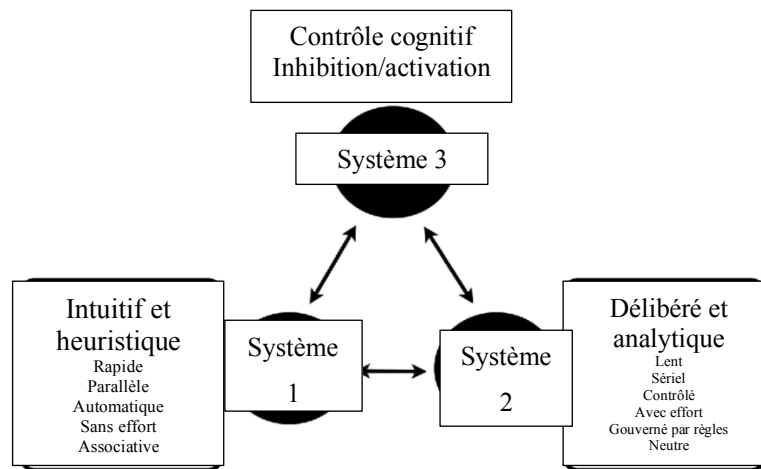


Figure 2-5. Traduction libre de la figure tirée du texte de Cassoti *et al.* (2016) illustrant les systèmes 1 et 2, en compétition lors d'une prise de décision, et le système 3, qui s'ajoute à ce modèle. Le système 3, le contrôle cognitif agit sur les systèmes 1 et 2 en permettant leur activation ou leur inhibition.

Pour reprendre l'exemple de la tâche de comparaison du périmètre de deux figures, l'automatisme, ou système 1, serait de se fier à l'aire alors que le système 2 serait de plutôt recourir aux connaissances sur le périmètre. Le contrôle inhibiteur est mobilisé pour freiner le système 1, l'aire, et plutôt laisser place aux connaissances sur le périmètre. Houdé et Borst (2015) appuient leur modèle néopiagétien par des études recourant à l'imagerie par résonance magnétique auprès d'enfants et d'adultes. Leurs travaux ont montré que la réussite d'adultes à une tâche de raisonnement et d'enfants à une tâche de conservation du nombre étaient associées à l'activation de régions cérébrales liées à l'inhibition (Houdé et Borst, 2015). Nous nous appuyons sur ce modèle triadique dans le cadre de la présente étude. Il est à noter qu'une divergence entre auteurs quant au rôle de l'inhibition auprès des deux systèmes a été soulevée par Star et Pollack (2015) : certains auteurs soutiendraient que l'inhibition sert à freiner le système 1, alors que d'autres soutiendraient plutôt que c'est le système 2 qui devrait parfois être inhibé lors d'une tâche. En concordance avec les apprentissages nécessitant l'inhibition auxquels la présente étude s'intéresse, nous soutiendrons l'hypothèse selon laquelle les deux systèmes seraient activés lors d'une tâche et puisque le système 1 est

plus rapide, il aurait tendance à l'emporter. L'inhibition est donc requise pour freiner ce système 1. À ce titre, la figure 2.6 permet de préciser notre position par rapport au rôle de l'inhibition dans cette étude.

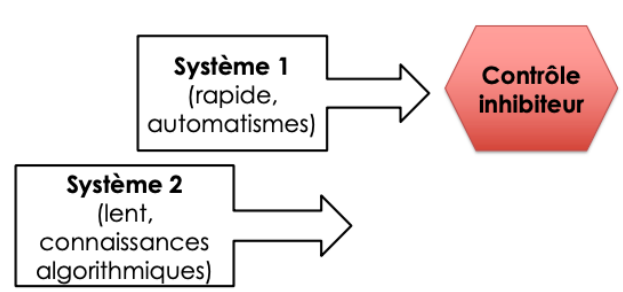


Figure 2-6. Figure tirée de Auclair, Brault Foisy et Masson (2019) illustrant l'opérationnalisation du contrôle inhibiteur soutenue dans le cadre de cette étude.

Sur la figure 2.6, la ligne pointillée rouge représente la ligne d'arrivée, le moment de prise de décision. Le contrôle inhibiteur est dans un hexagone rouge pour faire une analogie avec une pancarte arrêt. Lors d'une tâche, les systèmes 1 et 2 s'activent. Le contrôle inhibiteur est mobilisé pour freiner le système 1 et ainsi permettre au système 2 d'arriver plus vite à la ligne d'arrivée et d'ainsi emporter la prise de décision - d'aider l'élève à réussir la tâche. Le concept de contrôle inhibiteur étant défini, la prochaine sous-section présentera des façons de mesurer sa mobilisation.

2.1.2 Différentes mesures du contrôle inhibiteur

Pour arriver à la conclusion qu'une tâche donnée nécessite le contrôle inhibiteur, les chercheurs ont utilisé diverses méthodes. La mobilisation du contrôle inhibiteur pouvant être inconsciente (Howard *et al.*, 2014 ; Macleod, 2007), elle est difficilement mesurable par des questionnaires qui demanderaient aux participants d'eux-mêmes la rapporter. Différents moyens de mesurer le contrôle inhibiteur ont été mis de l'avant : la mesure de l'activité cérébrale de régions qui ont été associées au contrôle inhibiteur (De la Vega *et al.*, 2018), les tests neuropsychologiques et les temps de réponse. Cette

sous-section décrit brièvement chacun de ces moyens dans le but de favoriser la compréhension des études sur lesquelles s'appuie la présente recherche.

Le contrôle inhibiteur a été associé à certaines régions du cerveau, en particulier le cortex préfrontal ventrolatéral (ex. Aron *et al.*, 2007 ; Bunge et Zelazo, 2006 ; Bush *et al.*, 1998 ; Chambers *et al.*, 2008 ; Houdé *et al.*, 2000 ; Menon *et al.*, 2001 ; Stavy et Babai, 2010). En mesurant les changements au niveau de l'activité cérébrale de ces régions, les techniques d'imagerie (ex. imagerie par résonance magnétique [IRM], électroencéphalographie [EEG]) peuvent aider à identifier si le contrôle inhibiteur est nécessaire lors d'une tâche. Les techniques d'imagerie ont comme principaux inconvénients d'être, pour la plupart, coûteuses et de s'éloigner considérablement du contexte de la salle de classe (Larose *et al.*, 2017 ; Masson et Borst, 2017). Cette méthodologie requiert donc des considérations particulières, notamment auprès de participants enfants (Blanchette Sarrasin *et al.*, 2020). Il s'agit toutefois du moyen permettant d'identifier la mobilisation du contrôle inhibiteur le plus direct (Aron, 2007).

Les tests neuropsychologiques (par exemple, la tâche de *Stroop*, le *Go/No-Go* ; Diamond, 2013) sont une alternative peu dispendieuse pour mesurer le contrôle inhibiteur. Par exemple, lors d'une tâche Stroop (Stroop, 1935), des mots représentant des couleurs sont présentés aux participants. Il leur est demandé de dire la couleur des lettres du mot le plus rapidement possible. Ces mots sont colorés. La couleur des mots est soit la même que celle représentée par le mot (le mot rouge est écrit en rouge), soit différente de celle représentée par le mot (le mot rouge est écrit en bleu). La mobilisation du contrôle inhibiteur est inférée par un temps de réponse plus long lorsqu'il y a incohérence entre les mots et leur couleur (ex. le mot rouge est écrit en bleu). Ce type de test permet d'obtenir un résultat global de la capacité à inhiber. Il ne permet toutefois pas de mesurer le contrôle inhibiteur en temps réel, soit pendant la réalisation d'une tâche scolaire. Afin de mesurer le contrôle inhibiteur en temps réel

lorsqu'une personne y a recours pour accomplir une tâche, les temps de réponse en contexte de tâches scolaires sont utilisés.

Le recours aux temps de réponse pour inférer la mobilisation du contrôle inhibiteur consiste en la mesure du temps que prend un participant pour répondre à une question donnée et s'appuie sur l'hypothèse qu'un temps plus long pour répondre à un stimulus par rapport à un stimulus contrôle similaire (mais ne nécessitant pas de surmonter un automatisme) peut être interprété comme une mobilisation du contrôle inhibiteur (Burle *et al.*, 2004). Les temps de réponse en contexte de tâches scolaires présentent l'avantage d'être peu coûteux. Par contre, prendre plus de temps pour répondre à une question donnée pourrait indiquer la mise en place d'un autre mécanisme (Tipper, 2001). De plus, il se pourrait qu'une réponse qui requiert un raisonnement plus complexe et qui mène généralement à un temps de réponse plus long soit éventuellement donnée spontanément à une question donnée (Bago et De Neys, 2017). Autrement dit, il se peut qu'une réponse soit donnée rapidement à un énoncé, bien que le mécanisme sous-jacent la réponse soit complexe. Afin de faire l'inférence, à partir d'un temps de réponse plus long, qu'il y a mobilisation du contrôle inhibiteur, les conditions de la tâche utilisée doivent donc être le plus possible équivalentes en se distinguant uniquement par le fait qu'elles nécessitent ou non l'inhibition, de sorte qu'une différence de temps de réponse entre celles-ci puisse être attribuable, avec une haute probabilité, spécifiquement au besoin d'inhiber. Recourir aux temps de réponse est une des techniques les plus couramment utilisée pour inférer la mobilisation de l'inhibition lors d'une tâche précise.

L'amorçage négatif (*negative priming*) est une méthode dérivée des temps de réponse (Tipper, 1985, 2001) qui permet une inférence plus certaine quant à la mobilisation du contrôle inhibiteur. Cette technique repose sur le fait que si une condition de la tâche nécessite d'inhiber un automatisme, alors il sera plus long de répondre à une condition subséquente pour laquelle cet automatisme inhibé est utile (Borst, Moutier et

Houdé, 2013). Elle nécessite une certaine organisation de la tâche en quatre conditions (voir figure 2.7). Une première condition test (amorçage) nécessite la mobilisation du contrôle inhibiteur : se fier à l'automatisme mène à une erreur, celui-ci doit donc être inhibé. Les trois autres conditions ne nécessitent pas le contrôle inhibiteur. La seconde condition test (cible) est la même que la seconde condition contrôle (cible). Pour ces deux conditions, se fier à l'automatisme mène à une réponse juste. Ainsi, s'il est plus long de répondre à la deuxième condition après la première condition test qu'après la première condition contrôle, alors il y a eu inhibition de l'automatisme lors de la première condition test.

	Amorce	Cible
Test	BLEU	BLEU
Contrôle	NOIR	BLEU

Figure 2.7 Exemple de tâche d'amorçage négatif inspirée de Stroop (1935).

Dans la figure 2.7, lors de l'amorce de la condition test, s'il est demandé de dire la couleur de l'encre avec laquelle est écrit le mot, lire le mot est un automatisme qui mènerait à une erreur : le participant pourrait avoir tendance à répondre « bleu » alors que la réponse est « rouge ». Pour l'amorce de la condition contrôle, aucune inhibition n'est requise. Or, si « bleu » est inhibé dans l'amorce, alors il sera plus long de répondre lors de la présentation de la cible après la condition test qu'après la condition contrôle.

De nombreux auteurs qui s'intéressent au rôle du contrôle inhibiteur lors de tâches scolaires variées recourent à un paradigme d'amorçage négatif comme mesure de l'inhibition (ex. Borst *et al.*, 2013 ; Roell *et al.*, 2017 ; Jian *et al.*, 2019). Les temps de réponse et l'amorçage négatif sont les techniques les plus couramment utilisées pour inférer la mobilisation de l'inhibition lors d'une tâche précise. La prochaine section

présente les interventions visant à aider les élèves à réussir des tâches scolaires nécessitant le contrôle inhibiteur.

2.2 Interventions visant la réussite à des tâches scolaires nécessitant le contrôle inhibiteur

Différentes études exposées à la section 1.2.1 présentent l'effet d'interventions sur le contrôle inhibiteur. Ces études visaient à aider les participants à améliorer leurs capacités inhibitives générales. Les effets de telles interventions seraient toutefois difficilement transférables à des apprentissages scolaires. Ceci dit, certaines interventions ont été spécifiquement mises en place pour aider les élèves lorsque le contrôle inhibiteur est requis pour la réussite à certaines tâches scolaires. Elles ont été brièvement introduites dans la section 1.2.2 et font l'objet de cette section-ci, maintenant que le concept de contrôle inhibiteur a été exposé et opérationnalisé. Il ressort de ces quelques études qu'afin de favoriser la réussite des élèves à ces tâches, principalement deux avenues seraient possibles : soit intervenir pour faciliter l'inhibition du système 1, soit intervenir pour permettre d'activer de façon plus spontanée le système 2, réduisant ainsi la nécessité d'inhiber (Star et Pollack, 2015). Ces deux stratégies d'intervention font respectivement l'objet des deux prochaines sous-sections.

2.2.1 Stratégie d'intervention 1 : inhiber le système 1

Une façon d'intervenir pour aider l'élève lors d'apprentissages pour lesquels l'inhibition est requise est de l'aider à inhiber le système 1. Cette façon de faire peut s'opérationnaliser en demandant à l'élève d'être à l'affût d'un piège possible en recourant à des alertes. Les alertes consistent à mettre en garde explicitement les participants d'un piège possible lors d'une tâche (Houdé et Moutier, 1996). Cette alerte peut prendre la forme d'un court paragraphe nommant explicitement ce qu'est le piège dans cette situation et précisant d'y faire attention. Quelques études ont déjà montré

l'efficacité d'une telle intervention. Houdé et ses collègues (2000) ont eu recours à ce type d'intervention lors d'une tâche de raisonnement logique nécessitant l'inhibition d'une intuition. Les participants à l'étude ont réalisé cette même tâche à deux reprises. Entre les deux tests, une intervention prenant la forme d'alertes a été réalisée : les participants étaient prévenus du piège possible, soit celui de sélectionner les figures nommées dans l'énoncé. Il leur était aussi demandé de « capturer » le piège, c'est-à-dire d'identifier la réponse qui serait tentante, mais erronée. Les résultats montrent qu'au premier test, les participants ont utilisé un raisonnement perceptuel résultant d'un automatisme (système 1) alors qu'au second test, ils ont davantage utilisé un raisonnement logique (système 2 ; Houdé *et al.*, 2000). Des résultats similaires sont observés dans l'étude de Moutier, Angeard et Houdé (2002). Les participants du groupe expérimental, qui ont reçu une intervention de type alerte, ont davantage recouru à un raisonnement logique (système 2) suite à l'expérimentation que ne l'ont fait les participants du groupe témoin. L'étude de Moutier, Angeard et Houdé (2002) reproduit donc les résultats de Houdé *et al.* (2000).

Une intervention par alerte a également été utilisée dans l'étude de Babai, Shalev et Stavy (2015) au cours de laquelle les élèves devaient comparer le périmètre de deux figures. Des élèves de sixième année (11-12 ans) ont été séparés en deux groupes (expérimental et contrôle). À partir d'un ordinateur, les deux groupes d'élèves devaient comparer le périmètre de deux figures. Les deux figures à comparer étaient soit congruentes (la figure avec la plus grande aire a aussi le plus grand périmètre), soit incongruentes inverses (la figure avec la plus grande aire est celle ayant le plus petit périmètre), soit incongruentes égales (les deux figures ont le même périmètre, mais des aires différentes). Pour le groupe expérimental, un avertissement quant à la possible interférence de l'aire dans l'analyse du périmètre était ajouté à la tâche. L'autre groupe a servi de contrôle. Le fait d'être à l'affût de ce piège possible a aidé les élèves du groupe expérimental à contrôler cette interférence et à ainsi obtenir un meilleur rendement à la tâche que le groupe contrôle. Le temps de réponse a été augmenté pour

toutes les conditions chez les élèves recevant l'intervention (Babai *et al.*, 2015), ce qui permet d'avancer que le meilleur rendement à la tâche est possiblement dû à la mobilisation du contrôle inhibiteur (Burle *et al.*, 2004).

Ces travaux présentent comme limite d'avoir été effectués dans un contexte de laboratoire, soit dans un environnement s'éloignant de la salle de classe. Lubin et ses collaborateurs (2012) ont réinvesti les résultats des travaux de Moutier *et al.* (2002) et d'Houdé *et al.* (2000) dans la salle de classe. Ils se sont intéressés à l'apprentissage des mathématiques et de l'orthographe auprès d'enfants de 6 à 11 ans. Ils ont repris l'intervention par alerte utilisée par Moutier *et al.* (2002) dans ces deux contextes scolaires. Pour le volet mathématique, les auteurs ont choisi une résolution de problème mathématique pour laquelle la solution exige de comparer deux nombres pour en déterminer le plus grand. Or, ces nombres ne sont pas écrits de la même façon : un des nombres est écrit en unités (ex. 43 unités) et l'autre est un nombre de dizaines (ex. 5 dizaines). Le piège, dans ce contexte, est de comparer les nombres directement, soit en considérant qu'ils sont d'un même ordre de grandeur (ex. comparer 43 à 5). Dans leur étude, Lubin *et al.* (2012) ont séparé les participants en deux groupes. Un premier recevait une intervention dite « apprentissage classique » au cours de laquelle on précisait à l'élève de transformer les nombres de sorte qu'ils soient de la même unité avant d'effectuer la comparaison. Un second groupe recevait une intervention qui incluait une intervention classique à laquelle a été ajoutée une alerte sur le piège à éviter. Les élèves du groupe ayant reçu l'intervention avec alerte ont obtenu de meilleurs résultats que les élèves ayant reçu l'enseignement classique suite à l'intervention (Lubin *et al.*, 2012). Cette étude fait notamment le pont entre les données obtenues en laboratoire et le contexte de salle de classe.

Willame et Snauwaert (2018) ont quant à eux réalisé ce type d'intervention auprès d'adolescents de 15 à 17 ans dans un contexte d'enseignement de la chimie lors d'une activité portant sur le calcul d'une concentration chimique. Deux groupes d'élèves ont

participé à l'étude. Ces deux groupes réalisaient d'abord une tâche qui remettait en doute leur conception erronée (conflit cognitif). Seul un des deux groupes vivait ensuite un entraînement à l'inhibition : pour ce groupe, les auteurs ont précisé la bonne conception et celle menant à une erreur dans ce contexte. Les élèves étaient ensuite invités à vérifier si un pair avait répondu correctement (en utilisant la bonne conception) ou incorrectement (en tombant dans le piège). Les deux groupes ont eu un meilleur rendement au post-test qu'au prétest, mais le groupe d'élèves ayant vécu le conflit cognitif suivi de l'entraînement à l'inhibition a obtenu une amélioration plus grande que le groupe n'ayant vécu que le conflit cognitif (Willame et Snauwart, 2018).

Cette façon d'intervenir qui implique de rendre explicite un piège (automatisme) à éviter dans un contexte précis semble donc aider les élèves à mieux réussir dans différents contenus scolaires et ce, pour différentes clientèles d'âge. Les études présentées ne permettent pas de confirmer hors de tout doute que c'est la mobilisation du contrôle inhibiteur qui est en cause dans les meilleurs rendements observés. Cependant, cette piste d'explication est avancée et probable compte tenu des temps de réponse plus longs observés pour les études de Babai *et al.* (2015) et de Moutier *et al.* (2002). Ce type d'intervention prenant la forme d'alertes vise à aider l'élève à être conscient des connaissances spontanées, les automatismes (système 1), qui pourraient le mener à une erreur et à possiblement les inhiber dans un contexte où elles ne sont pas utiles. En inhibant celles-ci, l'hypothèse soulevée est que l'activation des connaissances algorithmiques, ou appropriées au contexte (système 2), est facilitée. Selon les études répertoriées, ce type d'intervention semble s'appliquer à différents apprentissages (ex. logique, mathématiques, chimie).

2.2.2 Stratégie d'intervention 2 : augmenter la saillance d'une variable du système 2

Une deuxième façon d'intervenir pour aider l'élève à mieux réussir des tâches qui requièrent l'inhibition est de diminuer la nécessité d'inhiber en aidant l'élève à utiliser plus spontanément les connaissances issues du système 2 (Star et Pollack, 2015). Cette

façon peut s'opérationnaliser, plutôt qu'en portant l'attention des élèves sur un piège possible à éviter (le système 1), en augmentant la saillance des variables menant au raisonnement approprié (système 2). Les interventions de type alerte présentent potentiellement une demande cognitive plus élevée comparativement à une intervention pour laquelle la saillance de la connaissance liée au système 2 seulement est augmentée. En effet, les interventions de type alerte fonctionnent possiblement parce qu'elles requièrent de (1) reconnaître la connaissance intuitive, de (2) l'inhiber tout en (3) activant la connaissance appropriée nécessaire. Une deuxième voie d'intervention visant à augmenter la saillance d'une variable liée au système 2 ne requerrait probablement que la 3^e étape et est donc pertinente à explorer. Une seule des études recensées (Babai *et al.*, 2016) a choisi cette direction. Avant de présenter cette étude, le concept de saillance est défini. Cette sous-section se termine par une présentation d'études en appui à celle de Babai *et al.* (2016) dans le but de justifier la pertinence d'explorer cette deuxième voie d'intervention.

2.2.2.1 Concept de saillance

De nombreux auteurs en psychologie cognitive ont abordé la saillance en s'intéressant plus globalement à l'attention visuelle et à ce qui l'influence (ex. Itti, Koch et Niebur, 1998 ; Miyata, 2019 ; Seeley *et al.*, 2007 ; Veale *et al.*, 2017). Plusieurs facteurs pouvant guider l'attention de celui qui regarde une image statique ont été répertoriés (Wolfe et Horowitz, 2017). L'attention serait guidée, dans un premier temps, par des stimuli de type *bottom-up*, soit des stimuli qui captent d'emblée l'attention. Dans un second temps, elle serait guidée par des éléments *top-down*, soit des éléments qui sont liés à l'objectif de celui qui regarde.

Prenons l'exemple de la figure 2.8. Lorsqu'un observateur regarde une première fois cette image, dès les premiers instants, le carré captera son attention. Il s'agit d'un stimulus de type *bottom-up*, car il capte d'emblée l'attention de l'observateur, peu importe l'intention de celui-ci. Si l'observateur a plutôt l'intention d'identifier une

forme précise, de couleur verte, alors cette figure verte est un stimulus de type *top-down* puisqu'il sera porté à l'attention de l'observateur à cause de l'intention de celui-ci. La saillance du stimulus, aspect qui nous intéresse dans le cadre de cette thèse, jouerait un rôle dans le *bottom-up* (Packhurst *et al.*, 2002 ; Veale *et al.*, 2017).

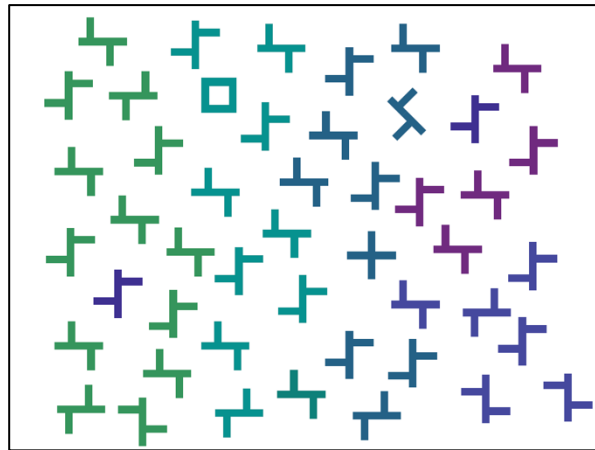


Figure 2.8. Figure extraite de Wolfe et Horowitz (2017) illustrant deux types de stimuli captant l'attention.

Un élément est saillant s'il est porté à l'attention par ses propriétés perceptives (Hamm, 2011). La saillance s'interprète généralement en rapport avec un autre élément, c'est-à-dire qu'un objet est saillant par rapport à un autre objet qui l'est moins. Un élément est donc saillant si, parmi d'autres éléments, il se démarque particulièrement (Miyata, 2019). La saillance d'un élément ou stimulus dépend de ses caractéristiques : la couleur, l'inclinaison, la taille, le mouvement (Nothdurft, 2002). D'autres facteurs sont susceptibles d'influencer la saillance, mais ces quatre facteurs seraient ceux pour lesquels il y aurait un plus grand consensus auprès des chercheurs en psychologie cognitive s'intéressant à l'attention visuelle (Wolfe et Horowitz, 2017). Par ailleurs, deux règles influenceraient la saillance d'un stimulus visuel : (1) à quel point le stimulus est différent des autres stimuli ; (2) à quel point les autres stimuli sont homogènes (Wolfe et Horowitz, 2017).

Par exemple, un objet bleu sur une image sera d'autant plus saillant si (1) les objets qui l'entourent sont des objets non bleus ; (2) tous les objets qui l'entourent sont de la même couleur (voir figure 2.9).

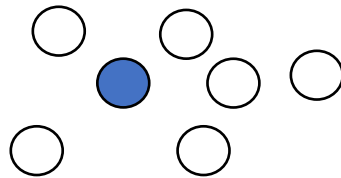


Figure 2.9. Image montrant un objet bleu saillant parmi d'autres objets non bleus.

De même, tel qu'illustré plus haut, le stimulus qui captera d'emblée l'attention de l'observateur sur cette image est probablement l'objet bleu (stimulus *bottom-up*). Par contre, s'il est demandé à l'observateur de compter le nombre de cercles blancs, il portera son attention sur les autres cercles (stimulus *top-down*).

Des facteurs internes au participant qui réalise la tâche influenceraient aussi la saillance d'un stimulus : si le stimulus est nouveau pour le participant ; s'il est lié au but poursuivi par le participant dans le moment ; ou s'il est lié à l'état émotionnel actuel du participant (Winton-Brown *et al.*, 2014).

Augmenter la saillance d'un stimulus lors d'une tâche consiste en fait à essayer de diriger l'attention de la personne qui effectue la tâche vers ce stimulus. Comme l'inhibition est entre autres utilisée pour retirer de l'attention les éléments qui ne sont pas utiles à la tâche de sorte que l'attention soit dirigée vers l'élément pertinent (attention sélective), augmenter la saillance de l'élément pertinent d'une tâche pourrait possiblement aider l'élève à porter son attention d'emblée sur cet élément, rendant l'inhibition des autres plus facile, voire non nécessaire. Du moins, c'est dans cette optique que Babai et ses collaborateurs (2016) ont mené leur étude. Cette étude visait

à augmenter la saillance d'un stimulus dans le but de favoriser la réussite à une tâche nécessitant le contrôle inhibiteur. Elle fait l'objet de la prochaine sous-section.

2.2.2.2 Étude de Babai *et al.* (2016)

Babai et ses collaborateurs (2016) ont augmenté la saillance d'une variable liée au système 2 lors d'une tâche de comparaison du périmètre de deux figures. Au cours de cette tâche, le système 1 mène à comparer les deux figures à partir de l'*aire* de ces dernières et est en compétition avec le système 2, qui mène à comparer les deux figures à partir du *périmètre* de ces dernières. Les auteurs ont présenté, à 58 élèves de 5^e et 6^e année, deux figures pour lesquelles le périmètre devait être comparé. Ils l'ont fait selon deux conditions en modifiant le mode de présentation. Dans une des conditions, le périmètre de chaque figure était une ligne droite brisée fermée (mode continu), comme ce qui est normalement présenté aux élèves en classe. Dans une deuxième condition, le tracé des figures était séparé en bâtonnets (mode discret), ce qui mettait l'accent sur le périmètre (voir figure 2.5). Les élèves ont comparé les figures dans l'une ou l'autre des conditions. Le choix de la condition pour chaque élève a été déterminé aléatoirement.

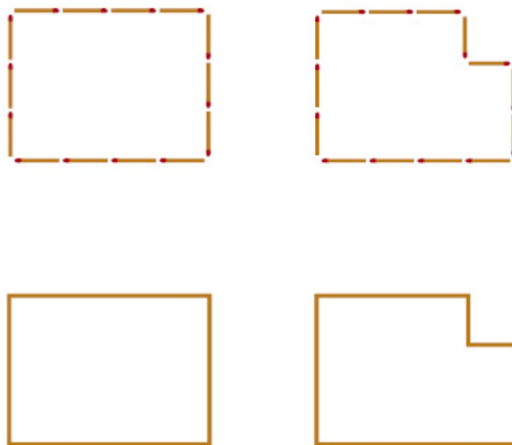


Figure 2.10. Figure extraite du texte de Babai *et al.* (2016). Les figures du haut sont en mode discret. Les figures du bas sont en mode continu.

Dix jours après la première comparaison de figures, une deuxième tâche de comparaison de figures était présentée aux élèves. Ceux qui avaient comparé les figures en mode continu lors de la première tâche l'ont fait en mode discret, et vice-versa. Ainsi, chaque élève a fait deux tâches de comparaison du périmètre de deux figures, à 10 jours d'intervalle. Seul le mode de présentation des figures était inversé pour les deux groupes (continu puis discret, ou discret puis continu). Babai et ses collaborateurs (2016) ont montré que de présenter les figures sous le mode discret avant de les présenter sous le mode continu menait à un meilleur taux de réussite lors de la comparaison des figures en mode continu. Ainsi, en augmentant la saillance du périmètre (lié au système 2) de façon visuelle, les élèves ont possiblement eu moins tendance à se fier à l'aire (liée au système 1) pour donner leur réponse, ce qui a mené à un plus haut taux de réussite à une tâche subséquente pour laquelle la saillance du périmètre n'était plus augmentée. Lorsque les figures en mode discret étaient présentées après la comparaison de figures en mode continu, les différences au niveau de la justesse des réponses n'étaient pas statistiquement significatives (Babai, Nattiv et Stavy, 2016). Si présenter les figures sous la forme continue active la variable inutile (l'aire), alors présenter les figures sous la forme discrète permet potentiellement l'activation plus spontanée de la connaissance requise : le périmètre. Ce résultat suggère qu'il est préférable que l'accent mis sur le système 2 (le périmètre) le soit avant que le système 1 (l'aire) ne puisse interférer. Mettre l'accent sur le périmètre (système 2) d'emblée lors de cette tâche pourrait possiblement permettre d'éviter l'activation du système 1. Or, si le système 1 n'est pas activé, l'inhibition est facilitée, voire non nécessaire : les élèves se concentrent déjà sur la variable pertinente à la tâche, sans avoir besoin d'inhiber celle qui les mène à une erreur. Qui plus est, la stratégie qui rend plus saillante la variable du système 2 peut éventuellement rendre son utilisation plus spontanée. Ainsi, le système 2 pourrait être peu à peu plus à même de gagner la compétition contre le système 1. Cette explication demeure de l'ordre de l'hypothèse. Cependant, si une telle intervention peut aider l'élève à mieux réussir une tâche pour laquelle une interférence existe entre un automatisme et un raisonnement approprié,

que l'intervention aide l'élève à inhiber l'automatisme ou non, cette piste demeure intéressante à explorer.

L'étude de Babai *et al.* (2016) est la seule étude recensée qui visait à augmenter la saillance d'une variable liée au système 2 dans le but d'aider des élèves à mieux réussir une tâche nécessitant le contrôle inhibiteur. D'autres études permettent de corroborer les résultats obtenus par Babai *et al.* (2016). La prochaine sous-section présente ces études dans le but de justifier la pertinence d'investiguer davantage cette voie d'intervention.

2.2.2.3 Autres études en appui à celle de Babai *et al.* (2016)

L'étude de Attridge et Inglis (2015) corrobore le résultat obtenu par Babai *et al.* (2016) en montrant que d'activer le système 2 avant que le système 1 ne puisse interférer peut améliorer le rendement à une tâche. Ces auteurs ont demandé à des étudiants universitaires de compléter deux tâches : une tâche A pour laquelle seul le système 2 permet d'arriver à une réponse et une autre tâche B au cours de laquelle les deux systèmes sont en compétition. Lorsque la tâche A a été accomplie avant la tâche B, le rendement à la tâche B a été meilleur que pour la situation inverse (B avant A). Les auteurs expliquent leurs résultats en précisant que de présenter une première tâche pour laquelle le système 2 est requis sans l'interférence d'un quelconque système 1 permettait de créer un *état d'esprit* « système 2 » qui restait actif lors d'une deuxième tâche pour laquelle les deux systèmes sont en compétition (Attridge et Inglis, 2015). Ce résultat est à prendre en considération lors de l'élaboration d'interventions visant à aider l'élève lors de tâches pour lesquelles le contrôle inhibiteur est requis. Il corrobore ce qui a été observé par Babai et ses collaborateurs (2016).

Une étude de Potvin, Sauriol et Riopel (2015) s'est par ailleurs intéressée à l'ordre de présentation des différents concepts lors d'une séquence d'enseignement : les conceptions initiales des élèves et les nouveaux concepts scientifiques. Les auteurs se

sont intéressés à une tâche en physique. Ils ont cherché à savoir si le conflit cognitif, soit la présentation d'une situation étant en contradiction avec les conceptions initiales (erronées) de l'élève, devrait apparaître avant ou après l'apprentissage de nouveaux concepts scientifiques. Deux vidéos d'enseignement ont été préparées par l'équipe de recherche : une première vidéo avec un enseignement traditionnel (TT), une seconde avec un enseignement par conflit cognitif (CC). La vidéo de l'enseignement traditionnel montrait un enseignement d'un concept scientifique. La vidéo du conflit cognitif présentait des situations insatisfaisantes, frustrantes au regard des conceptions initiales de l'élève et mettant la table au besoin d'un nouveau concept scientifique pour interpréter ces situations. Tous les élèves ont fait un prétest avant le visionnement des vidéos et un autre test après le visionnement. Il y avait trois conditions pour le visionnement : CC puis TT (modèle classique) ; TT puis CC (modèle prévalence) ; TT puis TT (enseignement traditionnel répété). Une des hypothèses était que le modèle de prévalence mènerait à de meilleurs résultats et que l'amélioration serait plus importante que ce qui serait observé pour le modèle classique de changement conceptuel.

Les résultats mènent les auteurs à proposer que la séquence d'enseignement optimale soit d'enseigner d'abord le concept scientifique, puis de créer un conflit au regard des conceptions initiales (erronées) de l'élève. Il s'agirait ensuite de revenir à l'enseignement traditionnel du concept scientifique pour l'étape de la consolidation (Potvin, Sauriol et Riopel, 2015). Cette étude supporte donc l'idée selon laquelle il est préférable que la mise en évidence du système 2, dans ce cas le savoir scientifique, soit réalisée avant le rappel des connaissances liées au système 1, dans ce cas les conceptions initiales (erronées). Ce constat corrobore ce qui a été avancé par Babai, Nattiv et Stavy (2016). Ces deux études ont en commun qu'elles laissent supposer que, dans le cas qui nous préoccupe, soit la mobilisation du contrôle inhibiteur, augmenter la saillance des connaissances issues du système 2 avant que les connaissances du système 1 ne puissent créer une interférence soit une stratégie efficace. Ce constat mène

à suggérer que les interventions de type alerte ne soient pas les plus optimales en ce sens qu'elles mettent d'emblée de l'avant la connaissance issue du système 1.

Une intervention visant à augmenter la saillance des variables liées au système 2, par rapport à une intervention de type alerte, présente donc les avantages de mettre de l'avant les connaissances algorithmiques en plus d'induire potentiellement une charge cognitive moindre. Étant donné ces constats et puisque peu d'études allant dans ce sens ont été répertoriées, il convient d'expérimenter davantage l'effet d'interventions ayant pour but d'augmenter la saillance des variables liées au système 2 lors de tâches scolaires nécessitant du contrôle inhibiteur. La présente étude vise à tester l'effet d'une telle intervention. Pour ce faire, une tâche scolaire mathématique servira de contexte. Elle est présentée dans la prochaine sous-section.

2.2.2.4 Choix d'une tâche pour tester une intervention visant à augmenter la saillance du système 2

Une tâche servant de contexte pour tester une intervention visant à augmenter la saillance du système 2 requiert quelques particularités. En plus de nécessiter la mise en place d'un contrôle inhibiteur, augmenter la saillance visuelle des variables liées au système 2, à l'image de ce qui a déjà été fait par Babai *et al.* (2016), doit pouvoir se faire. En effet, augmenter la saillance d'un stimulus consiste à modifier le visuel d'une image pour qu'un élément en particulier en capte l'attention. Babai et ses collaborateurs se sont intéressés à des tâches mathématiques impliquant une comparaison (Allaire-Duquette *et al.*, 2018). Une autre tâche de comparaison mathématique représentant un défi pour les élèves parce qu'elle nécessite notamment la mise en place d'un contrôle inhibiteur et pour laquelle il est aisé d'augmenter la saillance des variables liées au système 2 de façon visuelle est la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres. Comparer des nombres à deux chiffres est une activité mathématique couramment utilisée en classe primaire (MELS, 2009). Il s'agit d'une tâche permettant de porter un regard sur le traitement de la valeur des nombres par les élèves (Mock *et al.*, 2016). Le

traitement des nombres à plus d'un chiffre nécessite la compréhension de notre système de numération positionnelle en base 10 et constitue la base sur laquelle reposent les connaissances ultérieures en arithmétique (Mock *et al.*, 2016). Les élèves ayant des difficultés avec les concepts de base en début de scolarité sont à risque de développer des difficultés ultérieures en mathématiques (Toll *et al.*, 2010). Reconnaître la grandeur d'un nombre a d'ailleurs été lié au rendement en mathématiques à différents degrés scolaires (Geary, 2011). La tâche de comparaison de nombres à deux chiffres constitue donc une activité clé au niveau primaire. Bien qu'une autre tâche mathématique, voire d'un autre domaine, aurait pu être sélectionnée, celle-là nous a semblé pertinente pour trois raisons : (1) il s'agit d'une tâche de comparaison mathématique qui nécessite notamment le contrôle inhibiteur ; (2) la saillance de la variable pertinente peut être augmentée visuellement ; (3) il s'agit d'une activité mathématique clé au primaire. Dans la section qui suit, la comparaison de nombres à deux chiffres est présentée et décrite.

2.3 Comparaison de nombres à deux chiffres

En s'inscrivant à la suite des travaux de Babai *et al.* (2016), la présente thèse s'intéresse à une tâche de comparaison mathématique pour laquelle un contrôle inhibiteur est requis : la comparaison de nombres à deux chiffres. Cette section se présente en deux parties. Dans une première partie, le système de numération positionnelle en base 10 est présenté comme concept sous-jacent à la tâche de comparaison de nombres à plus d'un chiffre. Une deuxième partie porte sur la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres et sur le rôle qu'y joue le contrôle inhibiteur par le biais de l'effet de compatibilité. Cette section de la thèse se veut être un pont entre les études en didactique des mathématiques et les études en psychologie cognitive portant sur la comparaison de nombres à deux chiffres. La présente thèse s'inscrivant davantage dans le deuxième champ, le volet didactique des mathématiques occupe une place de second plan dans ce texte. Effectivement, le but de l'étude n'étant pas d'étudier le système de

numération ni les difficultés qui l'accompagnent, mais de tester une stratégie pédagogique générale qui pourrait être utilisée dans plus d'une tâche scolaire, le cadre théorique se limite à présenter les éléments de didactique des mathématiques pertinents à l'élaboration de la tâche.

2.3.1 Le système de numération positionnelle en base 10

Le concept de numération positionnelle réfère au système permettant l'écriture des nombres, soit le système de numération usuel. Dans le système de numération usuel, les nombres s'écrivent à partir de symboles, les chiffres, organisés selon des positions. Les symboles prennent une valeur selon la position qu'ils occupent dans le nombre (Ifrah, 1994). Par exemple, le nombre 232 est formé de trois symboles (chiffres) et le chiffre « 2 » représente une valeur de 200 ou de 2 unités, selon sa position. Le système de numération usuel fonctionne à partir de groupements. Pour former une unité d'ordre supérieure, un groupe de 10 unités d'ordre inférieur est nécessaire. Chaque position représente ainsi une puissance de 10 (Ifrah, 1994). Le concept de numération positionnelle en contexte scolaire renvoie donc à la connaissance et à la compréhension des caractéristiques particulières de notre système d'écriture des nombres.

La numération positionnelle est un concept mathématique de base qui a fait l'objet de nombreuses études. Une base solide de connaissances existe à son sujet. C'est la raison pour laquelle les études citées dans cette section ne sont pas toutes récentes. Elles sont tout de même encore d'actualité.

Deblois (1996) présente deux aspects au concept à l'étude : la notation positionnelle et la valeur positionnelle. Si la notation positionnelle réfère à l'agencement des symboles en tenant compte des positions, soit l'organisation des chiffres dans le nombre, la valeur positionnelle réfère à la valeur que prend le symbole (chiffre) selon la position qu'il occupe dans le nombre (Deblois, 1996). Ce deuxième aspect implique nécessairement la base 10, qui détermine la valeur attribuée à chacune des positions. Valeras et

Becker (1997) distinguent quant à eux les composantes conceptuelles des composantes sémiotiques de la numération positionnelle. Les premières concernent la compréhension des relations entre les quantités : dans un système en base 10, les quantités sont organisées en groupes de 10. Ainsi, une dizaine représente aussi 10 unités. Une centaine représente 100 unités, mais aussi 10 dizaines. Valeras et Becker (1997) s'intéressent plutôt aux composantes sémiotiques, soit celles qui concernent les symboles du système. L'enfant, en plus de comprendre les relations entre les quantités, doit être en mesure de comprendre les relations entre les symboles et comment ces symboles réfèrent aux quantités. Les auteurs distinguent deux composantes sémiotiques : la multiplicité des valeurs (chaque chiffre prend la valeur de la position qu'il occupe dans le nombre) et la composition de la valeur (la valeur du nombre est donnée par la somme de ces valeurs). Ces définitions permettent de préciser les éléments du concept de numération positionnelle en contexte scolaire : l'aspect positionnel, incluant la notation et la valeur positionnelle, ainsi que la base 10, soit l'organisation du nombre en groupements de 10.

La comparaison de nombres à deux chiffres est une des activités associées à la compréhension du concept de numération positionnelle : l'enfant doit s'appuyer sur la position des chiffres et leur valeur correspondante afin de choisir le nombre le plus grand (Dionne, 1996 ; Koudogbo, 2013). L'activité de comparaison de nombres à deux chiffres repose sur une compréhension du concept de numération positionnelle mettant donc notamment en jeu la notation positionnelle et la valeur de position. La présente étude, en s'intéressant à la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres, porte donc un regard particulièrement sur l'aspect positionnel du concept de numération positionnelle. De multiples sources de difficultés peuvent expliquer des erreurs lors de la comparaison de nombres à deux chiffres. Par exemple, les élèves auraient du mal à comprendre la valeur positionnelle (Fayol, 2018), soit comprendre que 34 comporte 3 dizaines. Les quatre niveaux de compréhension du concept (intuitif, procédural, abstraction, formel ; Dionne, 1995) comportent aussi leurs difficultés propres, le niveau

abstrait, qui réfère à la capacité à faire des invariants et des généralisations par rapport au système de numération positionnelle (ex. comprendre que 24 peut aussi être représenté par 1 dizaine et 14 unités), étant particulièrement complexe. Cela dit, la tâche mathématique sera ici étudiée sous l'angle du contrôle inhibiteur. Cependant, l'angle choisi ni ne s'oppose, ni ne remet en doute les nombreuses études ayant porté sur les difficultés de compréhension liées au concept de numération positionnelle dans les champs de la didactique des mathématiques. Dans cette étude, la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres est étudiée sous la perspective plus générale des fonctions cognitives qu'elle nécessite, et plus précisément du contrôle inhibiteur. Cette étude propose donc un éclairage complémentaire aux autres études en didactique des mathématiques portant sur la comparaison de nombres à deux chiffres. Ce regard plus général est davantage lié à une compréhension formelle et symbolique du concept de numération positionnelle. La prochaine sous-section précisera comment le contrôle inhibiteur intervient lors de la tâche choisie.

2.3.2 Rôle du contrôle inhibiteur dans la comparaison de nombres à deux chiffres : effet de compatibilité

Le traitement des nombres à deux chiffres a fait l'objet de plusieurs études en psychologie cognitive (ex. Chan *et al.*, 2011 ; Ganor *et al.*, 2007 ; Huber *et al.*, 2014 ; Nuerk *et al.*, 2001). Ces études ont notamment permis d'identifier l'effet de compatibilité. Il a été montré que la comparaison de nombres à deux chiffres était influencée par l'effet de compatibilité entre les dizaines et les unités (Mann *et al.*, 2012 ; Nuerk *et al.*, 2001). L'effet de compatibilité se traduit comme suit : lors de la comparaison de deux nombres, si les deux chiffres du nombre le plus grand représentent des valeurs plus grandes que les deux chiffres du nombre le plus petit (ex. 46 et 21 ; $4 > 2$; $6 > 1$; condition compatible), alors il sera plus facile et rapide de juger du nombre le plus grand. Si le nombre le plus grand est composé d'un chiffre à la position des unités représentant une valeur plus petite que le chiffre à la position des unités du nombre le plus petit (ex. 41 et 26 ; $1 < 6$; condition incompatible), alors il

sera plus difficile et plus long de juger du plus grand nombre. L'effet de compatibilité serait présent dès le premier cycle du primaire (Mussolin et Noël, 2008).

Il est admis que la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres serait soumise à un contrôle cognitif (Huber *et al.*, 2014). Précisément, une étude réalisée auprès d'étudiants universitaires a démontré que le contrôle inhibiteur permettait d'expliquer l'effet de compatibilité lors de cette tâche (Macizo, 2017). Les adultes sont considérés comme étant experts à la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres. Si l'inhibition permet d'expliquer l'effet de compatibilité, observé dès le premier cycle du primaire (Mussolin et Noël, 2008), il est justifié de croire que les élèves du primaire, pour réussir la tâche et devenir expert à celle-ci, doivent, en plus d'apprendre l'ensemble des connaissances conceptuelles liées à la numération positionnelle, apprendre à inhiber. C'est la raison pour laquelle l'étude de Macizo (2017), bien qu'ayant été réalisée auprès d'étudiants universitaires, est d'intérêt pour cette thèse.

Dans l'étude de Macizo (2017), 24 participants adultes ont réalisé une tâche de comparaison de nombres à deux chiffres composée de 240 blocs. Chaque bloc comprenait deux essais. Un premier essai nécessitait de comparer deux nombres dont les chiffres étaient différents à la position des dizaines. Ces nombres étaient soit de la condition compatible (ex. 21 et 79), soit de la condition incompatible (ex. 29 et 71). Un deuxième essai contenait deux nombres ayant le même chiffre à la position des dizaines. Ces nombres étaient composés soit des mêmes unités que le couple de nombres du premier essai (ex. 81 et 89 ; condition *liée*), soit d'unités différentes (ex. 83 et 85 ; condition *non liée*). Par exemple, considérons qu'au premier essai, les nombres 29 et 71 sont comparés. Si les nombres du deuxième essai ont les chiffres 9 et 1 comme unités, ils seront de la condition liée. Si les nombres du deuxième essai ont des chiffres différents de 9 et 1 aux unités, alors ils seront de la condition non liée. Ils ne seront pas liés au premier couple de nombres par les mêmes unités. Le tableau 2.1 présente des exemples de blocs présents dans l'étude de Macizo (2017).

Tableau 2.1 Exemples de blocs présents dans la tâche de Macizo (2017)

Blocs	Essai 1	Essai 2
1	29 71 (incompatible)	81 89 (liée)
2	29 71 (incompatible)	83 85 (non liée)
3	21 79 (compatible)	43 45 (non liée)
4	21 79 (compatible)	41 49 (liée)

L'étude de Macizo (2017) repose sur une version modifiée du paradigme de type amorçage négatif (*negative priming*). Un tel paradigme permet de détecter la mobilisation du contrôle inhibiteur. Il se base sur le fait que si un objet (ex. une stratégie) est inhibé lors d'un essai pour lequel il était inutile, il sera plus long de l'activer à un essai subséquent pour lequel il est utile (Tipper, 2001). Dans le cas de l'étude de Macizo (2017), si les unités sont inhibées lors de la comparaison du premier essai, il sera plus long de les activer lors du deuxième essai, pour lequel elles sont utiles. Un temps de réponse plus long au deuxième essai indiquerait donc la possible mobilisation de l'inhibition lors du premier essai.

Selon les résultats obtenus par Macizo (2017), il a été plus long de comparer les nombres de la condition incompatible que ceux de la condition compatible, ce qui démontre un effet de compatibilité entre les dizaines et les unités. Il a aussi été plus long de répondre à la condition *liée* lorsqu'elle était précédée de nombres de la condition incompatible que lorsqu'elle suivait une comparaison de la condition compatible. Ainsi, il a été plus long de comparer les nombres 29 et 71 (condition incompatible) que les nombres 21 et 79 (condition compatible). Il a été encore plus

long de comparer les nombres 41 et 49 (condition *liée*) lorsqu'ils étaient précédés des nombres 29 et 71 (condition incompatible) que lorsqu'ils étaient précédés des nombres 21 et 79 (condition compatible). Ces résultats suggèrent que les chiffres placés aux unités de la condition incompatible spécifiquement sont possiblement inhibés pour permettre la justesse de la comparaison, ce qui est confirmé par les temps de réponse plus longs lorsque ces mêmes unités sont présentes au couple de nombres suivant (condition *liée* ; Macizo, 2017).

L'étude de Macizo (2017) démontre qu'un contrôle inhibiteur est requis lors de la comparaison de nombres à deux chiffres. Ce contrôle inhibiteur est requis précisément lorsque le nombre le plus grand est formé d'un chiffre à la position des unités représentant une valeur plus petite que le chiffre à la position des unités du nombre le plus petit (condition incompatible). Ce constat pourrait s'expliquer par le fait que les participants auraient tendance à se fier à la valeur représentée par les chiffres, indépendamment de leur position dans le nombre. Ainsi, lors de la comparaison de deux nombres, le système 1 correspond à la grandeur représentée par un chiffre, indépendamment de sa position. Il entre en compétition avec le système 2, qui correspond à la prise en compte de la valeur de chaque position. Une hypothèse pour expliquer que comparer des nombres de la condition incompatible est plus difficile et plus long, ce qui est illustré par l'effet de compatibilité, est qu'un contrôle inhibiteur doit être mobilisé afin de laisser place au système 2.

Si les adultes, considérés comme étant experts à cette tâche, la réussissent en recourant au contrôle inhibiteur, il est justifié de croire que les élèves du primaire doivent apprendre, entre autres, à inhiber la valeur des chiffres placés aux unités pour réussir eux aussi à déterminer le nombre le plus grand d'un couple de nombres à deux chiffres. Avoir les connaissances appropriées pour comparer deux nombres n'est donc pas suffisant : l'élève doit aussi apprendre à inhiber l'automatisme qui le mène à une erreur dans ce contexte. Une intervention visant à aider les élèves à surmonter cet

automatisme serait donc pertinente. La tâche de comparaison de nombres à deux chiffres semble être un contexte facilitant pour favoriser la réussite des élèves à une tâche nécessitant un contrôle inhibiteur en augmentant la saillance des variables liées au système 2. En effet, si dans ce cas-ci la variable liée au système 2 est la valeur de position, la position à laquelle il faut se fier pour comparer de façon juste les nombres à deux chiffres est celle des dizaines. Il serait simple, de façon visuelle, d'augmenter la saillance des chiffres à la position des dizaines afin de mettre l'accent sur cette variable en particulier. Rendre la variable liée au système 2 plus saillante ne permettrait pas d'aider l'élève à mieux comprendre le concept de numération positionnelle au cœur de la comparaison de nombres à deux chiffres, mais plutôt de l'aider à inhiber les automatismes qui nuiraient à l'activation de sa compréhension de la numération positionnelle. Une telle stratégie d'intervention serait donc supplémentaire et secondaire à un enseignement visant la compréhension du concept, car elle permettrait plutôt d'agir pour éviter les erreurs dues à la persistance de l'automatisme identifié. Elle permettrait de rapporter à l'attention de l'élève un élément qu'il a déjà appris, soit la valeur de position. La prochaine section présente les hypothèses de recherche à l'étude.

2.4 Hypothèses de recherche

La présente étude s'inscrit à la suite de travaux ayant pour objectif d'aider les élèves à réussir des tâches qui sont difficiles parce qu'elles nécessitent que soit mobilisé le contrôle inhibiteur (ex. Babai *et al.*, 2015 ; Babai *et al.*, 2016 ; Houdé *et al.*, 2000). Lors de la comparaison de nombres à deux chiffres, un effet de compatibilité entre les unités et les dizaines a été observé (Mann *et al.*, 2012 ; Nuerk *et al.*, 2001) : il serait plus rapide et plus facile de comparer des nombres de la condition compatible (les deux chiffres du plus grand nombre représentent des valeurs plus grandes que les deux chiffres du plus petit nombre ; 21 vs 49 ; $4 > 2$; $9 > 1$) que de la condition incompatible (le chiffre à la position des unités du plus petit nombre représente une valeur plus

grande que le chiffre à la position des unités du plus grand nombre ; 29 vs 41 ; $4 > 2$, mais $1 < 9$). Cet effet de compatibilité, ou écart de rendement entre la condition compatible et incompatible, serait présent chez des élèves de la 2^e à la 4^e année du primaire (Mussolin et Noël, 2008 ; Mann *et al.*, 2012). L'étude de Macizo (2017), réalisée auprès d'étudiants universitaires, démontre que l'effet de compatibilité est dû à la nécessaire mobilisation du contrôle inhibiteur lors de la comparaison de nombres à deux chiffres de la condition incompatible. Le taux de réussite plus bas et les temps de réponse plus longs lors de la comparaison de ces nombres seraient donc des indicateurs d'un besoin de mobiliser le contrôle inhibiteur. Il serait par ailleurs aisé, de façon visuelle, d'augmenter la saillance de la valeur de position, la variable liée au système 2 lors de cette tâche. Étant donné ces constats, la question suivante se pose : quel est l'effet d'une stratégie d'intervention visant à augmenter la saillance d'une variable liée au système 2 sur l'effet de compatibilité lors d'une tâche de comparaison de nombres à deux chiffres chez des élèves du primaire ?

Dans le but de trouver des moyens d'intervenir pour aider les élèves lors de tâches scolaires qui sont difficiles parce qu'elles nécessitent la mobilisation du contrôle inhibiteur, une intervention visant à augmenter la saillance de la variable liée au raisonnement algorithmique (système 2) lors d'une tâche de comparaison de nombres à deux chiffres sera testée auprès d'élèves du primaire. L'intervention consistera à augmenter la grandeur physique des chiffres placés à la position des dizaines, ce qui augmentera la saillance de la valeur de position (liée au système 2). À l'instar de ce qui a été fait par Babai *et al.* (2016), qui ont montré une plus grande réussite à une tâche de comparaison du périmètre de deux figures si cette tâche était précédée de la réalisation de cette même tâche, mais avec la saillance de la variable pertinente augmentée, l'intervention sera suivie d'une tâche de comparaison sans cette augmentation de la grandeur physique des chiffres. De plus, comme d'autres études citées précédemment ayant testé l'effet d'une intervention sur la réussite à une tâche, des élèves seront répartis en deux groupes : expérimental et témoin. Seul le groupe

expérimental réalisera la tâche incluant l'intervention. Le groupe témoin réalisera deux fois la même tâche, sans l'intervention. Cet aspect diffère de l'étude de Babai *et al.* (2016), leur second groupe ayant fait la tâche sous le mode discret dans un second temps. Puisque le mode de présentation discret, puis continu s'est avéré être optimale pour la réussite des élèves, c'est cette ordre qui a été choisi pour la présente expérimentation. Les deux tâches réalisées par chaque élève le seront une à la suite de l'autre. L'effet de compatibilité, qui serait causé par le besoin de mobiliser le contrôle inhibiteur (Macizo, 2017), s'exprime notamment par un taux de réussite plus faible et un temps de réponse plus long pour la comparaison de nombres de la condition incompatible, par rapport à ceux de la condition compatible. L'effet de l'intervention sera vérifié en comparant les taux de réussite et les temps de réponse entre les deux conditions, après l'intervention.

Considérant que :

- l'effet de compatibilité serait dû au besoin de mobiliser le contrôle inhibiteur lors de la comparaison des nombres de la condition incompatible (Macizo, 2017) ;
- l'étude de Babai *et al.* (2016) a montré une plus grande réussite à une tâche de comparaison mathématique lorsque la variable du système 2 était d'une plus grande saillance dans une tâche préalable ;
- l'augmentation de la saillance permet l'activation du système 2, ce qui le renforce et diminue la prépondérance du système 1 par rapport au système 2 et le fait que ce changement permet potentiellement de diminuer le besoin d'inhibition et aide conséquemment l'élève à réussir ;

l'hypothèse est que l'intervention, en rendant plus spontanée la variable du système 2 (la valeur de position), permettra d'améliorer la réussite à la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres.

Plus spécifiquement, il sera plus facile et plus rapide, pour les élèves du groupe expérimental, de comparer les nombres de la condition incompatible. L'hypothèse quant au temps de réponse est toutefois avancée avec prudence compte tenu que Babai et ses collaborateurs (2016) ont observé une différence significative au niveau des taux de réussite après avoir augmenté la saillance du périmètre des figures, mais qu'aucune différence statistiquement significative n'a été observée au niveau des temps de réponse dans leur étude.

Ceci dit, le contrôle inhibiteur étant nécessaire pour comparer les nombres de la condition incompatible (Macizo, 2017), nous émettons l'hypothèse que le fait de rendre le système 2 plus spontané permettra de diminuer le besoin d'inhiber lors de la comparaison des nombres de la condition incompatible spécifiquement, ce qui permettra aux élèves de comparer les nombres de cette condition avec une vitesse et un taux de réussite qui se rapproche davantage de la comparaison des nombres de la condition compatible. Le résultat attendu est donc une diminution de l'effet de compatibilité qui se manifestera par un écart moins grand au niveau du taux de réussite et du temps réponse des essais réussis entre les conditions compatible et incompatible pour les élèves du groupe expérimental par rapport à ceux du groupe témoin.

Plus précisément, les hypothèses à l'étude sont les suivantes :

1. Suite à l'intervention, la différence au niveau du taux de réussite entre les comparaisons de la condition compatible et celles de la condition incompatible sera significativement moindre pour les élèves du groupe expérimental que pour ceux du groupe témoin.
2. Suite à l'intervention, la différence au niveau du temps de réponse entre les comparaisons réussies de la condition compatible et celles de la condition incompatible sera significativement moindre pour les élèves du groupe expérimental que pour ceux du groupe témoin.

Pour les temps de réponse, seules les comparaisons réussies seront considérées. Répondre plus rapidement en général ne voudrait pas nécessairement dire que l'intervention a aidé l'élève. Il pourrait seulement s'être dépêché à accomplir la tâche. Or, *réussir* plus rapidement les comparaisons peut permettre d'inférer que l'intervention a effectivement aidé l'élève.

Ces hypothèses sont avancées avec prudence puisqu'elles ne s'appuient que sur peu d'études qui n'ont par ailleurs pas la même provenance en termes de champs d'étude. Effectivement, les travaux de Macizo (2017) s'inscrivent à la suite de nombreuses études en psychologie cognitive s'étant intéressées à l'effet de compatibilité. Les travaux de Babai *et al.* (2016) s'inscrivent plutôt à la suite d'études s'intéressant au rôle du contrôle inhibiteur lors de tâches scolaires et à comment intervenir pour aider les élèves à les réussir. À ce titre, la présente étude revêt un caractère exploratoire. De lier ces deux perspectives de recherche est toutefois novateur en soi.

Si les hypothèses sont confirmées, cette étude s'ajouterait aux quelques études existantes (ex. Babai *et al.*, 2015 ; Babai *et al.*, 2016 ; Houdé *et al.*, 2000) ayant vérifié l'effet d'une intervention visant à favoriser la réussite des élèves lors de tâches scolaires pour lesquelles le contrôle inhibiteur est requis. L'étude proposée contribuerait spécifiquement à documenter davantage la deuxième stratégie d'intervention, qui vise à rendre plus spontanée l'activation du système 2. La stratégie d'intervention utilisée dans le cadre de cette étude a déjà montré des effets positifs pour une tâche de comparaison du périmètre de deux figures (Babai *et al.*, 2016). Le fait que cette stratégie permette aussi la réussite à une tâche de comparaison de nombres à deux chiffres, qui implique des connaissances autres, rendrait encore davantage pertinent d'investiguer son utilisation pour d'autres tâches pour lesquelles il y a interférence créée par des automatismes. Des exemples de ces autres tâches en mathématiques pourraient être la comparaison de fractions ou de nombres décimaux, entre autres. Que les hypothèses de cette étude soient confirmées ou non, des recommandations pourront

être réalisées qui permettront une progression des connaissances dans le domaine des recherches qui portent sur le contrôle inhibiteur en contexte de tâches scolaires.

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

Dans le but d'identifier des stratégies d'intervention pouvant aider les élèves à réussir des tâches scolaires qui nécessitent que soit mobilisé le contrôle inhibiteur, la présente étude a recouru à une tâche de comparaison de nombres à deux chiffres comme contexte pour expérimenter un type d'intervention auprès d'élèves du primaire. Lors d'une tâche de comparaison de nombres à deux chiffres, il serait plus long et plus difficile de comparer les nombres de la condition incompatible (ex. 29 vs 71) que ceux de la condition compatible (ex. 21 vs 79). La mobilisation du contrôle inhibiteur lors de la comparaison de nombres incompatibles serait en cause dans cet effet. L'intervention choisie consistait à augmenter la saillance d'une variable liée au système 2, ou système algorithmique, soit la valeur de position. La taille physique du chiffre des dizaines a ainsi été augmentée. Un groupe expérimental a vécu l'intervention et a été comparé à un groupe témoin, qui a comparé des nombres à deux chiffres, mais sans que ne soit augmentée la saillance du chiffre des dizaines. Les hypothèses à l'étude sont les suivantes :

1. Suite à l'intervention, la différence au niveau du taux de réussite entre les comparaisons de la condition compatible et celles de la condition incompatible sera significativement moindre pour les élèves du groupe expérimental que pour ceux du groupe témoin.
2. Suite à l'intervention, la différence au niveau du temps de réponse entre les comparaisons réussies de la condition compatible et celles de la condition

incompatible sera significativement moindre pour les élèves du groupe expérimental que pour ceux du groupe témoin.

La méthodologie de cette étude a suivi un principe de double aveugle : ni les participants ni l'expérimentateur ne savaient à quel groupe chaque participant appartenait. Ce chapitre présente une opérationnalisation de la recherche proposée en précisant les choix faits au regard des participants, de la méthode de collecte de données ainsi que du traitement et de l'analyse des données. Une section sur les principaux aspects déontologiques conclut ce chapitre.

3.1 Participants

Cette étude a été réalisée auprès de 68 élèves de la 2^e année du primaire du Québec (âge moyen : $7,588 \pm 0,652$ ans). De ces élèves, 39 étaient des filles, 29 étaient des garçons ; 11 étaient gauchers, 57 étaient droitiers. Ces élèves ont été répartis aléatoirement en deux groupes : témoin ($n = 32$; âge moyen : $7,594 \pm 0,712$ ans) et expérimental ($n = 36$; âge moyen : $7,583 \pm 0,604$ ans). Le tableau 3.1 présente la répartition des participants dans les deux groupes selon leur âge, leur sexe et leur latéralité.

Tableau 3.1. Répartition des participants dans les groupes témoin et expérimental selon l'âge, le sexe et la latéralité

Groupe	Témoin (n = 32)	Expérimental (n = 36)	Total
Âge			
7 ans	17	17	34
8 ans	11	17	28
9 ans	4	2	6
Sexe			
Féminin	19	20	39
Masculin	13	16	29
Latéralité			
Gaucher	7	4	11
Droitier	25	32	57

Les données présentées dans le tableau 3.1 montrent que la répartition aléatoire a permis d'assurer une certaine homogénéité entre les deux groupes selon l'âge, le sexe et la latéralité. Des analyses de chi-carré ont permis de constater que la distribution des deux groupes (témoin et expérimental) ne se distinguaient pas de façon statistiquement significative selon l'âge ($X_2(1,68) = 1,723$; $p = 0,423$), la latéralité ($X_2(1,68) = 1,448$; $p = 0,229$) ou le sexe ($X_2(1,68) = 0,101$; $p = 0,751$). Une analyse de régression a de plus permis de constater que la latéralité, le sexe, l'âge et le moment de la journée auquel l'enfant a réalisé la tâche n'ont pas eu une influence significative sur les temps de réponse ($F(4,67) = 2,233$; $p = 0,075$) et les taux de réussite ($F(4,67) = 1,879$; $p = 0,111$). D'un point de vue statistique, un nombre minimal de 198 participants au

total était exigé afin d'assurer une puissance statistique modérée (80 %) en prévision d'une petite taille d'effet alors qu'un nombre minimal de 34 participants au total était exigé en prévision d'une taille d'effet modérée (G*Power 3 ; Faul *et al.*, 2009). Dans cette section, le choix d'effectuer l'étude auprès d'élèves de deuxième année est d'abord justifié. La procédure de recrutement des participants est ensuite présentée.

3.1.1 Justification du choix des participants

Le choix de recruter des élèves de la deuxième année du primaire s'explique par ce qui suit. L'activité de comparaison de nombres est présente tout au long du parcours primaire (MELS, 2009). L'effet de compatibilité, voulant qu'il soit plus difficile de juger un nombre comme étant plus grand si son chiffre à la position des unités est plus petit que celui du nombre auquel il est comparé (ex. 71 vs 29 ; $7 > 2$, mais $1 < 9$), serait présent chez des élèves de la 2^e à la 4^e année du primaire (Mussolin et Noël, 2008). Les élèves de 3^e année sont déjà familiers avec la comparaison de nombres à deux chiffres puisqu'elle a été réalisée depuis le début du premier cycle du primaire. Ces élèves en sont à travailler avec les nombres plus grands que 1000. L'effet de compatibilité serait plus grand pour les nombres à deux chiffres que pour les nombres à trois chiffres, suggérant que lorsque le nombre a plus de deux chiffres, les enfants se laissent moins avoir par la valeur des unités pour juger du nombre le plus grand (Mann *et al.*, 2012). La tâche de comparaison proposée aurait pu être trop facile pour des élèves de 3^e année. C'est d'ailleurs ce qu'une préexpérimentation menée auprès de quelques élèves ($n = 6$), en septembre 2020, a permis de démontrer. Effectivement, ces élèves avaient un taux moyen de réussite supérieur à 90 % à la tâche.

Les élèves de 2^e année, quant à eux, sont aussi déjà familiers avec la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres. Cette tâche n'est donc pas trop difficile pour eux. Par ailleurs, l'effet de compatibilité lors de la comparaison de nombres à deux chiffres a été observé même chez l'adulte (Macizo, 2017), ce qui suggérait que la tâche ne serait pas non plus trop facile pour des élèves de cet âge. Le fait que la tâche ne soit

ni trop facile ni trop difficile permettait la possibilité que les élèves s'améliorent, ce qui réfère au concept de zone proximale de développement, décrit par Vygotsky. Effectivement, si la tâche avait été trop facile, ou trop difficile, les chances que les élèves s'améliorent étaient minces. La probabilité de mesurer une différence entre les deux groupes suite à l'intervention s'en serait vue diminuée. Pour ces raisons, la population cible de cette étude a été les élèves de 2^e année du primaire du Québec.

Dans le cadre de cette étude, l'intérêt portait sur les élèves inclus dans une classe régulière, quelles que soient leurs particularités propres, s'il y avait lieu. Il n'y a donc pas eu de critères d'exclusion précis. Nous nous sommes par contre assurés, en effectuant la répartition aléatoire entre les deux groupes, que les caractéristiques des élèves étaient le plus possible similaires entre les deux groupes. La répartition aléatoire permet, avec une certaine assurance, de contrôler les variables pouvant créer des différences entre les participants. Les participants ont aussi été questionnés, au tout début de l'expérimentation, afin qu'ils nomment quelques-unes de leurs caractéristiques personnelles : le fait d'être gaucher ou droitier, leur âge et leur sexe. Ces caractéristiques ont permis de contrevérifier la répartition aléatoire effectuée par le logiciel.

Les élèves de 2^e année du primaire du Québec ont constitué la population cible. C'est à partir de cette population qu'un échantillon a été formé. La prochaine sous-section présente la procédure de recrutement des participants.

3.1.2 Procédure de recrutement

Compte tenu du contexte sociosanitaire lié à la COVID-19 (voir annexe A pour une description détaillée du contexte pandémique), il a été difficile de recruter des participants à l'étude. Trois stratégies de recrutement ont été lancées à partir de l'automne 2020 et ce jusqu'en mars 2021 pour recruter le plus de participants possible. Dans les trois cas, le recrutement s'est fait sur une base volontaire.

Dans un premier temps, à l'automne 2020, un premier contact a été effectué, par courriel, auprès des centres de services scolaires ainsi que de la fédération des écoles privées du Québec. La procédure pour l'approbation d'un projet de recherche de chaque centre de services a été suivie, s'il y avait lieu (CSSDM ; CSSBE). Une fois que le centre de services a approuvé le projet, les directions intéressées à y participer ont transmis l'information à leur personnel enseignant. Un total de 2 enseignantes nous ont répondu par l'affirmative suite à ces procédures. C'est la raison pour laquelle, en décembre 2020, une nouvelle stratégie de recrutement a été mise de l'avant.

Ainsi, dans un deuxième temps, une conférence ayant pour thème le cadre théorique du présent projet de recherche, soit le rôle de l'inhibition dans les apprentissages scolaires et les pistes d'intervention pour ces apprentissages, a été offerte à l'ensemble des enseignants du primaire. Cette conférence, publicisée sur Twitter par la direction de recherche et sur différents groupes Facebook d'enseignants (Les maths autrement, Enseignantes et enseignants du Québec, Neuroéducation) par l'étudiante et la direction de recherche, a eu lieu en ligne à deux reprises (13 h et 19 h, heures du Québec), via Zoom, le 27 janvier 2021. Le projet de recherche y a notamment été présenté. Suite à cette conférence, un formulaire d'intérêt à participer à l'étude a été transmis aux personnes participantes. Les personnes ayant manifesté leur intérêt en complétant le formulaire ont ensuite été contactées par courriel. C'est par ce courriel que le formulaire de consentement et la lettre à remettre aux parents de leurs élèves leur ont été transmis (voir annexes B et C).

Finalement et dans un troisième temps, en mars 2021, le recrutement a été relancé à partir des réseaux sociaux. Une invitation à participer au projet a été partagée sur les groupes Facebook d'enseignants du Québec ainsi que sur les pages personnelles de l'équipe de recherche. Les parents et les enseignants étaient ciblés par ce relancement. Les personnes intéressées étaient invitées à signifier leur intérêt en complétant un court formulaire en ligne. Un courriel leur a ensuite été transmis pour donner plus

d'explications sur le projet. Par ce courriel, le formulaire de consentement et la lettre à remettre aux parents de leurs élèves leur ont été remis (voir annexes B et C).

Les participants à l'étude ont été les élèves de ces parents et de ces enseignants, approchés par l'une ou l'autre des trois stratégies de recrutement, dont les parents ont remis le formulaire de consentement signé. La prochaine section présente de quelle façon les données ont été collectées auprès des participants.

3.2 Collecte de données

Cette section s'organise en trois sous-sections. Le contexte particulier de la collecte de données est d'abord décrit. La présentation de l'instrumentation qui a été utilisée constitue la deuxième sous-section. Finalement, le déroulement de la collecte de données est détaillé.

3.2.1 Contexte particulier de la collecte de données

La collecte de données s'est déroulée de février à mai 2021. Étant donné le contexte de pandémie mondiale qui avait cours en 2020-2021 (voir annexe A), la collecte de données, initialement prévue en présentiel dans les classes des élèves, a eu lieu entièrement en ligne, à partir de la maison de chaque élève et de la plateforme *Web Gorilla Experiment Builder* (www.gorilla.sc). Il est possible, à partir de cette plateforme, de construire une tâche, d'en générer un lien afin de collecter les données auprès de participants en plus de permettre le stockage des données collectées dans un nuage sécurisé. Chaque parent qui a remis à l'enseignant de son enfant ou à la chercheuse directement le formulaire de consentement signé a reçu, de la part de l'enseignant ou de la chercheuse, selon le cas, un document contenant des consignes pour la réalisation de la tâche ainsi que le lien vers la tâche en ligne (voir annexe D). Les élèves participants ont donc réalisé la tâche en ligne, à partir de l'ordinateur de la maison, au moment qui leur convenait. Le contexte de collecte de données à la maison,

qui a assurément différé d'un participant à l'autre, génère certaines limites qui seront abordées dans la discussion. Qui plus est, le contexte social pandémique a aussi pu influencer le niveau auquel se trouvaient les élèves en termes d'apprentissages scolaires. Cette limite sera également abordée plus loin. La prochaine sous-section présente en détail l'instrumentation utilisée.

3.2.2 Instrumentation

Aux fins de cette étude, une adaptation de la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres de Macizo (2017) a été utilisée. À partir de cette tâche, deux tâches ne se distinguant que par un seul élément ont été créées : une tâche intervention et une tâche régulière. En effet, en nous inspirant de Babai *et al.* (2016), la saillance de la variable pertinente a été augmentée dans la tâche intervention. Dans leur étude, Babai et ses collaborateurs (2016) ont utilisé deux tâches qu'ils ont présentées dans deux ordres distincts aux élèves participants. Comme ils ont démontré que de présenter la tâche avec la saillance augmentée *avant* une tâche régulière sans cette saillance augmentée pouvait être bénéfique sur la réussite à cette seconde tâche, seul cet ordre des tâches a été conservé. La tâche contenant l'intervention a ainsi été vécue par le groupe expérimental seulement, qui a ensuite effectué la tâche régulière.

Puisque le groupe expérimental réalisait deux fois une même tâche (avec et sans mise en saillance), il a été déterminé que le groupe témoin réaliserait lui aussi deux fois cette même tâche, à l'exception qu'aucune des deux ne contiendrait l'intervention.

Ce protocole est donc une adaptation du protocole utilisé par Babai *et al.* (2016, voir figure 3.1).

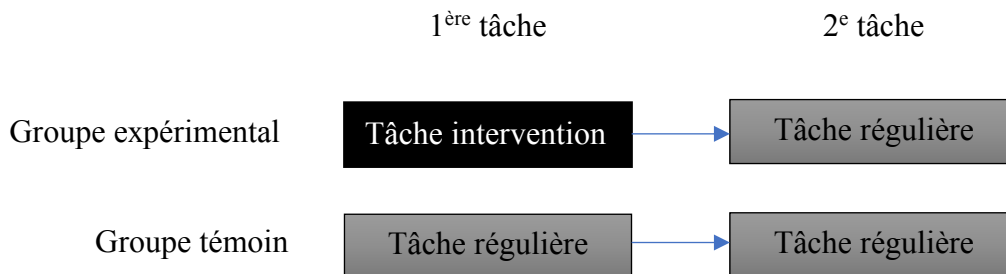


Figure 3.1. Schéma du protocole utilisé.

Une description succincte de la tâche originale de Macizo (2017) permettra de présenter la tâche régulière adaptée de celle-ci. Des sous-sections porteront ensuite exclusivement sur la tâche régulière ainsi que sur la stratégie d'intervention en tant que telle, respectivement.

3.2.2.1 Tâche de comparaison de nombres à deux chiffres de Macizo (2017)

La tâche développée par Macizo (2017) requiert de comparer des nombres à deux chiffres dans le but d'identifier le plus grand d'une paire. La tâche est composée de 240 blocs expérimentaux. Chaque bloc comporte deux essais. Un premier essai requiert de comparer deux nombres dont le chiffre à la position des dizaines est différent (ex. 29 et 71). Dans cet essai, les nombres à comparer sont soit de la condition compatible (ex. 21 et 79 ; $7 > 2$; $9 > 1$), soit de la condition incompatible (ex. 29 vs 71 ; $7 > 2$, mais $1 < 9$). Le deuxième essai requiert de comparer deux nombres dont le chiffre à la position des dizaines est le même (ex. 41 et 49). Ces nombres ont soit les mêmes chiffres à la position des unités que les nombres du premier essai (condition liée, ex. 41 et 49), soit ils ont des unités différentes (condition non liée, ex. 43 et 45). Le tableau 3.2 présente quatre exemples des 240 blocs présents dans la tâche originale de Macizo (2017).

Tableau 3.2 Exemples de blocs présents dans la tâche de Macizo (2017)

Exemples de blocs	Essai 1	Essai 2
1	21 79 (compatible)	41 49 (liée)
2	21 79 (compatible)	43 45 (non liée)
3	29 71 (incompatible)	81 89 (liée)
4	29 71 (incompatible)	83 85 (non liée)

Tous les couples de nombres à comparer du premier essai sont formés de quatre chiffres différents. Aucun nombre formé de deux fois le même chiffre (ex. 22, 33, 44) ou dont le chiffre à la position des unités est 0 (ex. 30, 40, 50) n'a été utilisé puisqu'ils ont été jugés non équivalents aux autres nombres en termes de niveau de difficulté (Macizo, 2017).

Aux 240 blocs expérimentaux s'ajoutent 50 blocs contrôles. Ces blocs contrôles sont insérés à différents endroits parmi les blocs expérimentaux afin d'éviter le plus possible que le participant ne s'habitue aux items de la tâche. Ces blocs sont formés de la façon suivante : 10 de ces blocs sont formés de deux paires de nombres ayant le même chiffre à la position des dizaines (voir bloc 1 du tableau 3.3 à la page suivante) ; 10 de ces blocs sont formés d'une paire de nombres ayant le même chiffre à la position des dizaines suivie d'une paire de nombres de la condition compatible (voir bloc 2 du tableau 3.3, ci-dessous) ; 10 de ces blocs sont formés d'une paire de nombres ayant le

même chiffre à la position des dizaines suivie d'une paire de nombres de la condition incompatible (voir bloc 3 du tableau 3.3) ; cinq de ces blocs sont formés de deux paires de nombres de la condition compatible (voir bloc 4 du tableau 3.3) ; cinq de ces blocs sont formés de deux paires de nombres de la condition incompatible (voir bloc 5 du tableau 3.3) ; cinq de ces blocs sont formés d'une paire de nombres de la condition compatible suivie d'une paire de nombres de la condition incompatible (voir bloc 6 du tableau 3.3) ; finalement, cinq de ces blocs sont formés d'une paire de nombres de la condition incompatible suivie d'une paire de nombres de la condition compatible (voir bloc 7 du tableau 3.3).

Tableau 3.3 Exemples de blocs contrôles présents dans la tâche de Macizo (2017)

Exemples de blocs	Essai 1	Essai 2
1	83 88	43 47
2	38 32	59 42
3	68 61	28 36
4	23 64	73 51
5	41 23	82 59
6	83 71	29 75
7	43 81	24 58

Ces blocs contrôles ne sont pas utilisés dans les analyses. Leur but est d'éviter que le participant s'habitue aux items qui lui sont présentés et qui sont d'intérêt pour les analyses. Il pourrait ainsi développer un *pattern* de réponse qui lui permettrait de répondre plus rapidement.

La tâche de Macizo (2017) s'effectue par ordinateur. Au moment de débiter la tâche, le logiciel choisit une parmi deux listes (A ou B) de nombres constituées de façon équivalente des 240 blocs présentés ci-haut mais dont les nombres sont différents. Chaque bloc débute par un écran vierge qui s'affiche pour une durée de 500 millisecondes (ms). Un premier couple de nombres est ensuite présenté à l'écran au participant jusqu'à ce qu'il choisisse le plus grand des deux (essai 1). Au moment où il donne sa réponse, un autre écran vierge apparaît pour une durée de 500 ms. Par la suite, les nombres du deuxième essai sont présentés jusqu'à ce que le participant détermine le plus grand des deux (essai 2). Une fois qu'une réponse est donnée au deuxième essai, un écran vierge apparaît pour une durée de 1000 ms avant que le bloc suivant ne débute (voir figure 3.2). Cette séquence est répétée pour chacun des 240 blocs de la tâche.

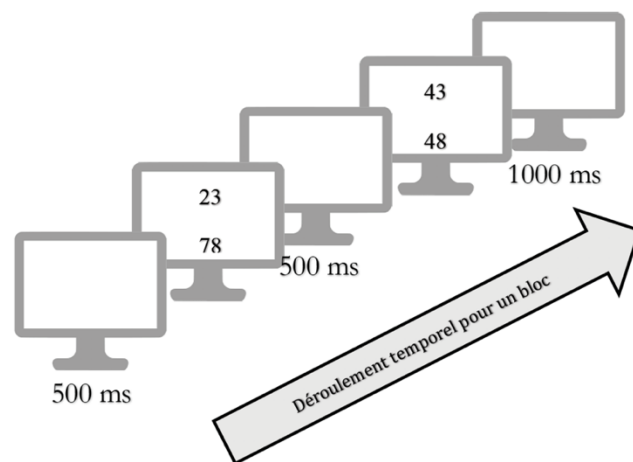


Figure 3-1 Déroulement temporel de chacun des 240 blocs de la tâche de Macizo (2017).

La tâche de Macizo (2017) a été réduite afin d'être adaptée aux participants de cette étude, qui étaient des élèves de 2^e année. La tâche complète de Macizo (2017) pouvait prendre jusqu'à 45 minutes à compléter, ce qui est trop long pour des enfants de cet âge, surtout dans un contexte de réalisation de la tâche au domicile familial. La prochaine sous-section présente comment la tâche originale de Macizo (2017) a été

réduite pour créer la tâche régulière de cette étude. La sous-section qui suit présente la stratégie d'intervention en tant que telle.

3.2.2.2 Tâche de comparaison dite régulière adaptée de Macizo (2017)

Puisque les enfants devaient réaliser deux fois la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres (deux fois la tâche régulière ou une fois la tâche intervention, suivie de la tâche régulière, voir figure 3.1 de la section 3.2.2), la tâche originale a été réduite à moins du quart de son nombre de comparaisons initial. Ce choix a été fait pour que la réalisation des deux tâches ne dure pas plus de 20 minutes, ceci afin que l'attention de l'enfant soit maintenue jusqu'à la toute fin de la collecte de données. La réduction a été réalisée en conservant un nombre équivalent de blocs par condition (compatible, incompatible, en lien, non en lien). En effet, la réduction a mené à un nombre égal ($n = 10$) de blocs par condition pour les listes A et B (voir tableau 3.4). Chaque liste de nombres (A et B) était constituée de 40 blocs expérimentaux.

Tableau 3.4 Nombre de blocs expérimentaux par condition dans chacune des listes (A et B) de la tâche réduite.

Condition	Essai 1	Essai 2	Nombre de blocs par condition, par liste
1	Compatible	Liée	10
2	Compatible	Non liée	10
3	Incompatible	Liée	10
4	Incompatible	Non liée	10

À ces 40 blocs expérimentaux s'ajoutaient 8 blocs contrôles. Les blocs contrôles des deux listes (A et B) étaient formés de : un bloc dont les deux couples de nombres sont

incompatibles ; un bloc dont le premier couple est compatible et le second, incompatible ; deux blocs dont le premier couple de nombres a le même chiffre à la position des dizaines puis le second est compatible ; deux blocs dont le premier couple de nombres a le même chiffre à la position des dizaines puis le second est incompatible ; deux blocs dont les deux couples de nombres ont le même chiffre à la position des dizaines.

Chaque liste de nombres (A et B) était donc constituée de 48 blocs : 40 blocs expérimentaux et 8 blocs contrôles (voir annexe E). Les élèves du groupe témoin, tout comme ceux du groupe expérimental, ont soit comparé les nombres de la liste A, soit ceux de la liste B, à deux reprises : deux fois à travers la tâche régulière pour le groupe témoin ; une fois par la tâche intervention et une fois par la tâche régulière pour le groupe expérimental (voir figure 3.3).

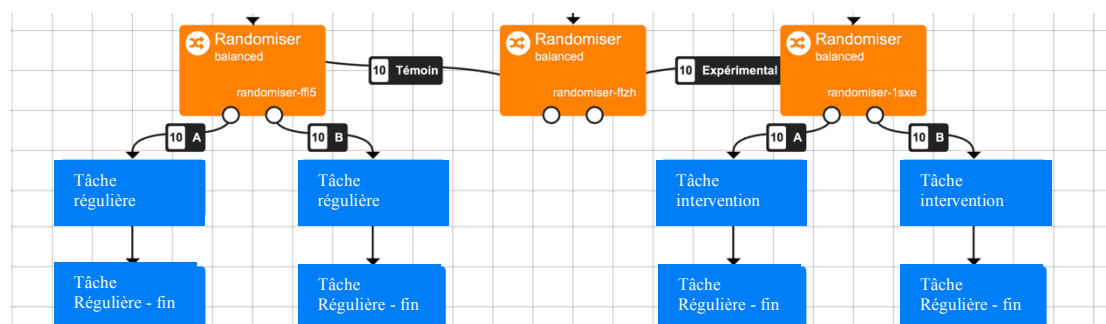


Figure 3-2 Extrait du design de la tâche sur Gorilla.sc. Les participants sont distribués aléatoirement entre les groupes expérimental et témoin en plus d'être à nouveau distribués aléatoirement entre les listes A et B. Ces listes sont constituées de la même façon, mais avec des nombres différents.

Chaque élève a donc complété 96 blocs au total. Une préexpérimentation auprès de quelques élèves en septembre 2020 a permis de valider que la tâche complète ainsi réduite n'était pas trop longue à réaliser pour l'enfant.

3.2.2.3 Tâche intervention adaptée de Macizo (2017)

Dans cette étude, l'intervention consistait en la même tâche que celle utilisée pour la tâche régulière, à l'exception que la grandeur (taille de police) des chiffres placés à la position des dizaines de chaque nombre était augmentée (voir figure 3.4).

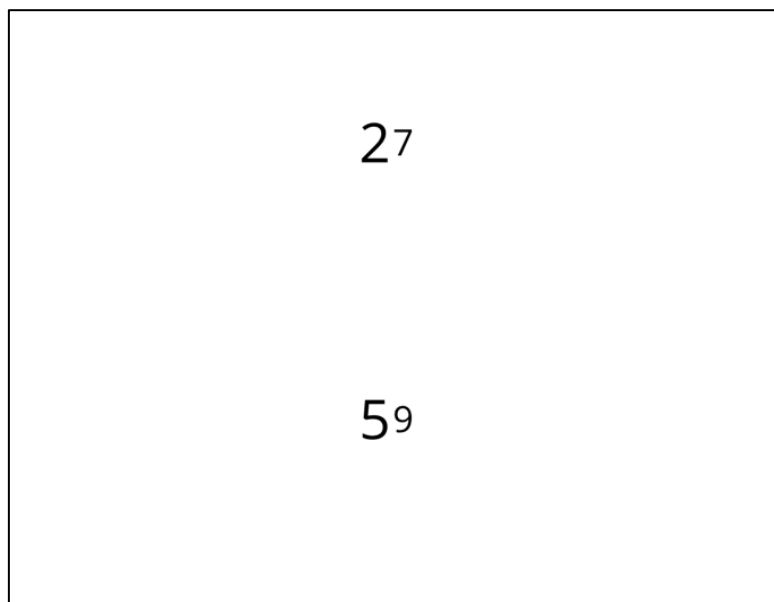


Figure 3-3 Capture d'écran d'un couple de nombres de la tâche intervention, sur Gorilla.sc.

La stratégie d'intervention consistait ainsi à accroître la saillance de la valeur de position des nombres à comparer en augmentant la grandeur physique des chiffres placés à la position des dizaines. Le choix de cette caractéristique (taille) pour l'augmentation de la saillance a été fait pour trois raisons. D'abord, la taille d'un stimulus est une des caractéristiques, avec la couleur, le mouvement et l'orientation, faisant consensus quant à leur influence sur la saillance (Wolfe et Horowitz, 2017). Ensuite, si la mise en saillance est peu abordée dans le contexte de tâches mathématiques, elle est davantage documentée dans le domaine de la linguistique (ex. Inkova, 2012). Simard (2009) a notamment montré que l'utilisation des lettres majuscules, en comparaison avec la mise en caractère gras, le soulignage, la couleur et

l'italique, était plus optimal pour l'apprentissage des élèves apprenant une langue seconde (Simard, 2009). La combinaison de tous ces facteurs était d'ailleurs moins bénéfique que le seul fait de mettre en majuscules les passages importants dans le texte. Finalement, augmenter la taille, plutôt que la couleur, le mouvement ou l'orientation, permet selon nous d'être plus près du sens de la variable dont il est question : la valeur de position. En effet, augmenter la taille du chiffre des dizaines peut aussi être associé au fait que ce chiffre, placé à cet endroit, représente un nombre qui vaut plus en termes de quantité, ce qui est par ailleurs l'apprentissage souhaité en lien avec la numération positionnelle. À l'instar de ce qui a été fait par Babai *et al.* (2016), un seul paramètre a été modifié pour augmenter la saillance de la variable du système 2.

La stratégie d'intervention était donc intrinsèque à une tâche de comparaison de nombres à deux chiffres. Dans la tâche originale de Macizo (2017), le nombre de points de chaque caractère est de 48 (police courrier New). Ce nombre de points a été conservé pour les nombres de la tâche régulière ainsi que pour les chiffres des unités de la tâche utilisée pour l'intervention. En ce qui concerne les chiffres placés à la position des dizaines de la tâche contenant l'intervention, leur taille a été augmentée par un rapport de 1,3. Le choix de cette augmentation a été fait en fonction d'études consultées pour lesquelles des tâches, présentées à des enfants, nécessitaient de comparer deux nombres à un chiffre de grandeurs physiques différentes dans le but d'y mesurer la présence du contrôle inhibiteur. Chacune des études consultées (Chan *et al.*, 2011 ; Ganor *et al.*, 2007) utilisait un rapport de 1,3 entre les deux grandeurs physiques des nombres à comparer. La sous-section suivante précise le déroulement de la collecte de données.

3.2.3 Déroulement de la collecte de données

Seuls les parents (ou tuteurs légaux) des élèves ayant donné leur consentement écrit à ce que leur enfant participe à l'étude ont reçu un document contenant des consignes ainsi que le lien vers la tâche en ligne (voir annexe D). Ils étaient ainsi invités à installer

leur enfant dans un endroit calme, devant un ordinateur. Le navigateur Google Chrome a été suggéré pour la réalisation de la tâche. Une étude a montré que Gorilla fonctionnait de façon plus optimale, la mesure des temps de réponse étant plus précise, à partir de ce navigateur qu'à partir d'un autre (Anwyl-Irvine *et al.*, 2020). Cette même étude suggère également de recourir à un ordinateur plutôt qu'à un iPad ou à un cellulaire, ce qui a aussi été ajouté comme consigne. Au moment de cliquer sur le lien de la tâche, le parent de l'enfant devait à nouveau donner son consentement à ce que son enfant participe à l'étude. L'enfant devait lui aussi confirmer son assentiment et un rappel des consignes était effectué sur ce même écran (voir annexe E, figure 1).

Suite à ce second consentement et au rappel des consignes pour réaliser la tâche, il était demandé à l'enfant de préciser son âge, son sexe et sa latéralité (voir annexe E, figure 2). L'enfant devait sélectionner au moins une case par question pour pouvoir passer à l'écran suivant.

L'écran suivant présentait les instructions de la tâche et introduisait les essais à réaliser avant le début de la tâche. Effectivement, chaque enfant a eu l'occasion de comparer 8 couples de nombres avant de débiter officiellement la tâche. Ces couples de nombres, choisis au hasard, étaient les mêmes pour les deux groupes, sans la saillance de la variable pertinente augmentée. Ils visaient à ce que l'élève se pratique à utiliser les touches du clavier avant de débiter officiellement la première tâche de l'étude. Aucune rétroaction n'était donnée, comme c'était le cas dans les tâches qui ont suivies. Les instructions de la tâche étaient écrites à l'écran en plus d'être disponibles en version audio, dans le haut à droite de l'écran des instructions (voir icône *Play* sur la figure 3.5).

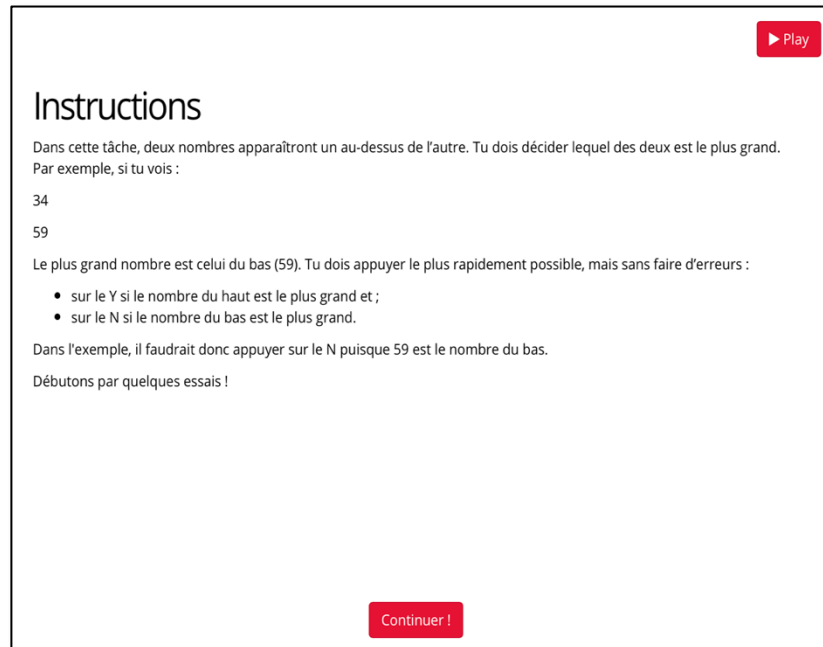


Figure 3.5 Capture d'écran des instructions de la tâche en ligne, sur Gorilla.sc. En haut à droite, l'icône « Play » est celle sur laquelle l'enfant devait appuyer pour avoir l'audio des instructions.

Après les essais, les instructions étaient rappelées aux participants avant que ne débute la première tâche (voir figure 3.6). Au moment de débiter la tâche, chaque enfant a été placé aléatoirement dans le groupe expérimental ou témoin.

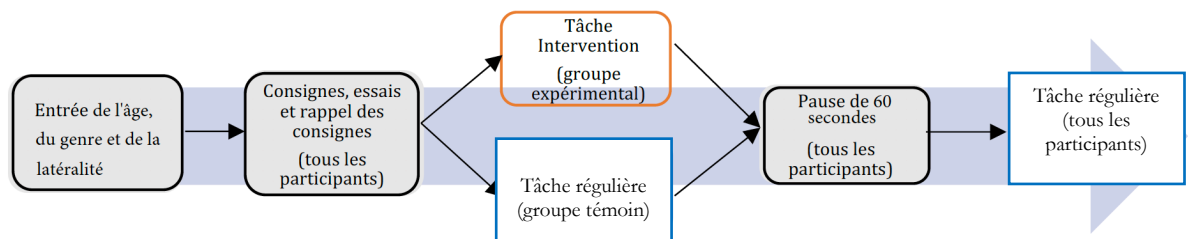


Figure 3.6 Déroulement global de la collecte de données pour tous les participants suite à leur consentement et au rappel des consignes.

Les élèves du groupe témoin ont accompli deux fois la tâche régulière. Les élèves du groupe expérimental ont d'abord accompli la tâche contenant la stratégie d'intervention, puis la tâche régulière. Ainsi, tous les élèves ont réalisé deux fois une tâche de comparaison de nombres à deux chiffres à partir de l'ordinateur de la maison. Entre les deux tâches, une pause de 60 secondes (57 secondes d'un écran avec court message d'encouragement et compte à rebours suivi d'un écran avec croix de fixation pour 3 secondes) était accordée. Chacune des deux tâches réalisées par les élèves était séparée en deux sections (voir figure 3.7).

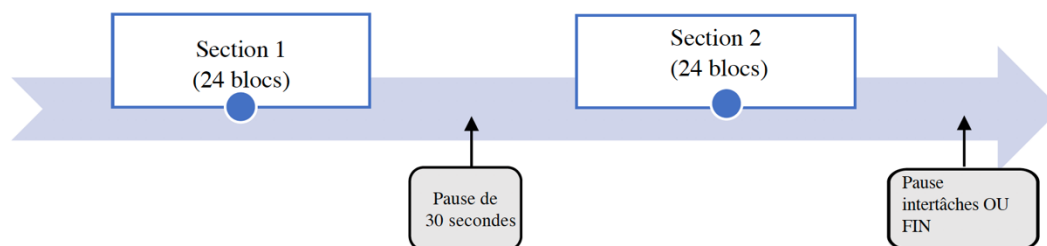


Figure 3.7. Structure et déroulement d'une tâche. Chaque tâche comprend deux sections de 24 blocs séparées par une pause de 30 secondes.

Une pause de 30 secondes séparait ces deux sections : un écran avec un court message d'encouragement (ex. « Petite pause ! Bravo, tu as terminé la moitié de la première partie ! Continue ! ») et un compte à rebours de 27 secondes précédait l'affichage d'un écran avec croix de fixation pour 3 secondes. La première tâche faite par les élèves se terminait par la pause de 60 secondes précédant la réalisation de la deuxième tâche. La deuxième tâche, quant à elle, se concluait par un écran présentant le message de fin : « Bravo ! Tu as terminé ! Merci beaucoup de ton aide ! » (voir annexe E)

Chaque tâche comportait 48 blocs en tout. Le déroulement temporel de chaque bloc était le même que celui de la tâche de Macizo (2017 ; voir figure 3.2 pour rappel). Chaque bloc contenait donc 2 comparaisons de nombres à deux chiffres. Pour chaque comparaison, le participant devait identifier le nombre le plus grand d'une paire de

nombres à deux chiffres. Les participants devaient appuyer sur la touche « Y » lorsque le nombre le plus grand était situé en haut de l'écran et sur la touche « N » lorsqu'il était situé au bas de l'écran. Ces touches sont les mêmes que celles utilisées dans l'étude de Macizo (2017). La justesse des réponses et le temps de réponse ont été collectés par la plateforme Gorilla (www.gorilla.sc).

Après le message de fin suite à la deuxième tâche, un code apparaissait à l'écran. Les consignes aux parents précisait de conserver ce code dans le cas d'une éventuelle volonté de se retirer de l'étude. Ce code pouvait alors être donné à la chercheuse pour qu'elle retire les données associées à ce code dans la banque de données (voir section 3.4). Une autre des consignes données au parent précisait que l'élève devait réaliser la tâche le plus rapidement et le mieux possible, dans un endroit sans distraction. Cette précaution a été prise compte tenu qu'une simple distraction pouvait avoir un effet sur les temps de réponse mesurés. Il était également précisé aux parents, dans les consignes qui leur étaient destinées, que la réalisation des deux tâches, une à la suite de l'autre, ne dépasserait pas 20 minutes au total (voir annexe D). La prochaine section présente la stratégie de traitement et d'analyse des données.

3.3 Traitement et analyse des données

Afin de présenter les analyses statistiques qui ont été réalisées, il convient de rappeler les hypothèses de recherche à l'étude :

1. Suite à l'intervention, la différence au niveau du taux de réussite entre les comparaisons de la condition compatible et celles de la condition incompatible sera significativement moindre pour les élèves du groupe expérimental que pour ceux du groupe témoin.
2. Suite à l'intervention, la différence au niveau du temps de réponse entre les comparaisons réussies de la condition compatible et celles de la condition

incompatible sera significativement moindre pour les élèves du groupe expérimental que pour ceux du groupe témoin.

Dans le cadre de cette étude, les données ont été traitées à partir du logiciel *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS, version 25). Les données brutes obtenues avec Gorilla ont d'abord été transférées sur Excel. Les données extrêmes (± 2 écart-types) y ont été retirées. Suite au retrait de ces données, deux analyses de chi-carré ont permis de nous assurer que les deux groupes ne différaient pas de façon significative selon le nombre de stimuli par condition. Ces analyses ont été faites pour les deux tâches (tâche 1 : $\chi^2(4, N = 6216) = 0,224, p=0,994$; tâche 2 : $\chi^2(4, N = 6297) = 0,093, p=0,999$). Le transfert des données de Gorilla vers SPSS 25 s'est donc fait de façon indirecte par un traitement préalable des données avec Excel. Les données à analyser étaient la justesse des réponses et les temps de réponse pour les comparaisons réussies lors de la deuxième tâche régulière. Ces données ont constitué les variables dépendantes. Les facteurs étaient le groupe (expérimental ou témoin) et la condition (incompatible ou compatible).

Des analyses statistiques inférentielles ont permis de vérifier les deux hypothèses. Plus spécifiquement, deux ANOVAs à mesures répétées ont été réalisées pour vérifier chacune des deux hypothèses à l'étude. En effet, dans les deux cas, il était question de mesurer des différences au niveau d'une variable dépendante continue (taux de réussite et moyenne de temps de réponse) selon deux variables indépendantes (condition de la tâche et groupe témoin ou expérimental), ce qui nous mène au test d'ANOVA. Qui plus est, une même condition de la tâche est mesurée à plusieurs reprises pour chaque participant. C'est la raison pour laquelle l'ANOVA à *mesures répétées* plus spécifiquement est sélectionnée (Field, 2009). Une première ANOVA à mesures répétées a permis de vérifier s'il y avait des différences, entre le groupe expérimental et le groupe témoin, au niveau de la justesse des réponses entre les conditions.

Les hypothèses statistiques pour ce test étaient les suivantes :

H_0 : La différence entre les conditions compatible et incompatible pour le taux de réussite est la même pour les deux groupes (témoin et expérimental) suite à l'intervention.

H_1 : Il existe au moins une différence significative au regard de la différence entre les conditions compatible et incompatible pour le taux de réussite entre les deux groupes (témoin et expérimental) suite à l'intervention.

Pour vérifier la seconde hypothèse, une seconde analyse de type ANOVA à mesures répétées a été réalisée. Cette analyse a permis de vérifier s'il y avait des différences, entre le groupe expérimental et le groupe témoin, au niveau du temps de réponse entre les conditions. Les hypothèses statistiques pour ce test étaient les suivantes :

H_0 : La différence entre les conditions compatible et incompatible pour le temps de réponse des comparaisons réussies est la même pour les deux groupes (témoin et expérimental) suite à l'intervention.

H_1 : Il existe au moins une différence significative au regard de la différence entre les conditions compatible et incompatible pour le temps de réponse des comparaisons réussies entre les deux groupes (témoin et expérimental) suite à l'intervention.

Pour les deux ANOVAS, des analyses post-hoc ont permis de déterminer si les différences étaient à l'avantage du groupe expérimental, tel que prédit par les hypothèses à l'étude.

Un niveau d'erreur a été fixé à 0,05 pour chacun des tests. Si les élèves du groupe expérimental ont mieux réussi et ont pris moins de temps pour comparer les nombres de la condition incompatible, diminuant ainsi l'effet de compatibilité, l'hypothèse selon laquelle le système 1 (les unités) interfère moins dans la tâche, diminuant ainsi le besoin d'inhiber, sera mise de l'avant. La prochaine section présente brièvement les considérations éthiques qui étaient à respecter tout au long de l'étude.

3.4 Principaux moyens pour respecter la déontologie

Certains moyens ont été pris pour respecter la déontologie. Ces moyens ont été préalablement approuvés par le comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants (CERPE) de l'Université du Québec à Montréal (UQAM) duquel un certificat a été obtenu (# 4099 ; voir annexe F). Étant donné l'âge des participants, leur assentiment a été validé par le consentement de leurs parents (ou tuteurs). Ces derniers ont eu à remplir un formulaire de consentement qui certifiait par le fait même l'assentiment de leur enfant à participer (voir annexe B). Ils ont dû signer ce formulaire et le retourner à la personne enseignante de leur enfant (ou la chercheuse) qui devait ensuite les retourner à la chercheuse responsable. Seuls les parents ayant retourné ce formulaire signé ont reçu le document contenant les consignes et le lien vers la tâche en ligne (voir annexe D). Au moment de cliquer sur le lien menant vers la tâche en ligne, les parents ont dû à nouveau donner leur consentement en cochant une case. L'enfant devait lui aussi cocher une case, confirmant son assentiment (voir annexe E, figure 1). Si ces cases n'étaient pas cochées, la tâche ne pouvait pas débiter.

Les participants avaient la possibilité de se retirer de l'étude à tout moment et ce, sans que ne soit nécessaire une quelconque justification. Dans le but d'assurer la confidentialité des résultats et le respect de l'anonymat des participants, un code numérique a été attribué à chaque élève. Seuls l'âge de l'enfant, son sexe et s'il est gaucher ou droitier ont été demandés au début de la tâche (voir annexe E, figure 2).

D'aucune façon il n'est donc possible d'identifier chacun des élèves participants. Toute tâche non complétée a été supprimée des données puisqu'interprétée comme un retrait de l'étude. Ceux ayant accompli les tâches et souhaitant se retirer de l'étude ont pu donner le code ayant apparue sur le dernier écran, à la fin de la dernière tâche. Ce code permettait à la chercheuse de retracer les données de ces participants dans la banque de données et de les retirer.

Les élèves participant à l'étude ont eu à comparer des nombres à deux chiffres, activité qu'ils auraient pu faire dans un contexte d'enseignement régulier. La décision de participer ou non à cette recherche n'affectait en rien la réussite scolaire des élèves. Parmi les élèves qui ont participé, les élèves du groupe expérimental ont pu bénéficier davantage de l'étude que ceux du groupe témoin si l'intervention s'avère favoriser la réussite des élèves à la tâche. Les élèves du groupe témoin ont tout de même bénéficié d'une pratique de cette activité mathématique, activité qui est couramment réalisée en classe primaire.

Les formulaires de consentement signés sont conservés dans un dossier électronique protégé par mot de passe, sur une session d'ordinateur protégée par mot de passe, auquel seule l'étudiante et son équipe de direction ont accès. Il n'est possible de lier les données numériques aux informations présentes sur le formulaire de consentement d'aucune façon puisqu'à aucun moment, le nom de l'élève n'a été demandé.

Toutes les données recueillies sur Gorilla.sc sont conservées dans un fichier électronique protégé par un mot de passe. Ces données ne sont accessibles qu'à la chercheuse principale ainsi qu'à son comité de direction. Les données seront conservées pour une période de 5 ans maximum après la date de la dernière publication et seront entièrement détruites par la suite. Les données ne seront utilisées que dans le cadre de la présente recherche. Les résultats seront diffusés sous la forme d'articles, de thèse ou de conférences dans des congrès scientifiques et professionnels. Aucune

publication ni communication ultérieure ne permettra de quelque façon que ce soit d'identifier les participants.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS

Ce chapitre présente les résultats obtenus suite aux analyses effectuées pour vérifier l'effet de l'augmentation de la saillance du chiffre placé aux dizaines lors d'une tâche de comparaison de nombres à deux chiffres sur les taux de réussite et les temps de réponse d'élèves de deuxième année du primaire aux différentes conditions (compatible et incompatible) de la tâche. Dans un premier temps, les résultats des analyses descriptives seront présentés et permettront de porter un regard initial sur les données récoltées pour les groupes témoin et expérimental. Dans un deuxième temps, les résultats des analyses inférentielles permettront de vérifier les hypothèses de recherche à l'étude.

4.1 Résultats des analyses descriptives

Avant de réaliser les analyses inférentielles permettant de vérifier les hypothèses à l'étude, des analyses descriptives ont été effectuées. Le tableau 4.1 présente, pour les groupes témoin ($n = 32$) et expérimental ($n = 36$), la moyenne du taux de réussite pour chacune des conditions (compatible (C) et incompatible (I)) des deux tâches effectuées par les participants. L'effet de compatibilité y est aussi présenté.

Tableau 4.1 Moyennes du taux de réussite pour chacune des conditions des deux tâches effectuées, selon le groupe

Groupe	1 ^{ère} tâche (régulière (témoin) ou intervention (expérimental))		2 ^e tâche (régulière)	
	Moy.	É.-T.	Moy.	É.-T.
Témoin				
Compatible	96,094	8,6426	96,022	10,3742
Incompatible	91,909	9,2936	93,244	7,8536
Effet de compatibilité	4,185		2,778	
Expérimental				
Compatible	96,775	4,5374	97,097	5,2879
Incompatible	91,969	8,6850	91,278	8,9621
Effet de compatibilité	4,806		5,819	

Les données descriptives présentées dans le tableau 4.1 permettent d'observer des taux de réussite très élevés pour tous les participants. En effet, ces taux de réussite sont supérieurs à 90 %, que ce soit pour la condition compatible ou incompatible, pour les élèves du groupe témoin et pour ceux du groupe expérimental. Il est également possible d'observer que les taux de réussite pour la condition compatible sont supérieurs à ceux pour la condition incompatible pour les deux tâches et les deux groupes. Il est à noter que les écarts-types pour les taux de réussite aux comparaisons compatibles du groupe expérimental sont inférieurs aux mêmes écarts-types pour le groupe témoin. Les données descriptives nous laissent présager une moins grande variabilité au niveau du groupe expérimental que pour le groupe témoin, pour cette condition de la tâche. Le

tableau 4.2 présente la moyenne des temps de réponse aux comparaisons réussies pour chacune des conditions des deux tâches réalisées, selon le groupe.

Tableau 4.2 Moyennes de temps de réponse (en secondes) aux comparaisons réussies pour chacune des conditions des deux tâches effectuées, selon le groupe

Groupe	1 ^{ère} tâche (régulière (témoin) ou intervention (expérimental))		2 ^e tâche (régulière)	
	Moy.	É.-T.	Moy.	É.-T.
Témoin				
Compatible	2,2249	,83839	2,2520	1,08336
Incompatible	2,4108	1,08540	2,2448	,84855
Effet de compatibilité	0,1859		-,0072	
Expérimental				
Compatible	2,2198	1,01758	2,2801	1,33561
Incompatible	2,1788	,92365	2,2731	1,41148
Effet de compatibilité	-,041		-,007	

Les moyennes de temps de réponse présentées dans le tableau 4.2 varient entre 2,1788 et 2,4108 secondes. Les écarts-types sont relativement élevés, ce qui indique une grande variance des données collectées. Une seule moyenne de temps de réponse semble différente des autres moyennes présentées : celle pour la condition incompatible de la première tâche réalisée par le groupe témoin, qui est de 2,4108, comparativement aux autres moyennes qui varient entre 2,1788 et 2,2801.

4.2 Résultats des analyses inférentielles

Pour vérifier si des différences dans les données selon le groupe et la condition sont statistiquement significatives, des analyses statistiques inférentielles ont été effectuées. Les résultats de ces analyses sont présentés dans les deux prochaines sous-sections.

4.2.1 Effet de l'intervention sur le taux de réussite et le temps de réponse selon la condition et le groupe à la deuxième tâche effectuée par les participants

Afin de vérifier les deux hypothèses de recherche, soit si les temps de réponse et le taux de réussite lors de la deuxième tâche diffèrent entre les conditions selon le groupe, deux analyses de type ANOVA à mesures répétées ont été réalisées. Le tableau 4.3 présente les résultats de l'analyse effectuée pour le taux de réussite.

Tableau 4.3 Résultats de l'ANOVA à mesures répétées comparant le taux de réussite à la deuxième tâche entre les groupes et selon la condition

Source de variance	SC	dl	CM	F	<i>p</i>	<i>Éta-carré partiel</i>
Intergroupe						
Groupe	6,719	1	6,719	,063	,803	,001
Erreur	7087,530	66	107,387			
Intragroupe						
Condition	626,131	1	626,131	21,185	<,001***	,243
Interaction	78,350	1	78,350	2,651	,108	,039
Erreur	1950,696	66	29,556			

Note. *** $p < ,001$

Les résultats présentés dans le tableau 4.3 suggèrent que l'effet d'interaction entre le groupe et la condition au niveau du taux de réussite ($F(1,66) = 2,2651, p = 0,108$) n'est pas statistiquement significatif. Les effets principaux de la condition et du groupe peuvent donc être considérés. Il est possible de constater que seule la condition a un effet significatif sur la réussite à la deuxième tâche ($F(1,66) = 21,185, p < 0,001$). L'éta-carré partiel de 0,243 témoigne d'un effet de taille élevée (Cohen, 1988). En se référant aux moyennes rapportées dans le tableau 4.1, il semble que la condition compatible soit mieux réussie que la condition incompatible et ce, pour les deux groupes. Effectivement, les élèves du groupe témoin ont obtenu une moyenne de taux de réussite de $96,022 \pm 10,3742$ pour la condition compatible et de $93,244 \pm 7,8536$ pour la condition incompatible. Les élèves du groupe expérimental, quant à eux, ont obtenu une moyenne de $97,097 \pm 5,2879$ lors de la comparaison des nombres compatibles et une moyenne de $91,278 \pm 8,9621$ pour la comparaison des nombres incompatibles. L'effet du groupe sur le taux de réussite à la deuxième tâche n'est pas statistiquement significatif ($F(1,66) = 0,063 ; p = 0,803$). Le tableau 4.4 présente les résultats de l'ANOVA à mesures répétées effectuée pour comparer les temps de réponse aux comparaisons réussies à la deuxième tâche selon le groupe et la condition.

Tableau 4.4 Résultats de l'ANOVA à mesures répétées comparant le temps de réponse aux comparaisons réussies à la deuxième tâche entre les groupes et selon la condition

Source de variance	SC	dl	CM	F	<i>p</i>	Éta-carré partiel
Inter groupe						
Groupe	,027	1	,027	,010	,920	< ,001
Erreur	177,374	66	2,687			
Intra groupe						
Condition	0,002	1	,002	,008	,927	< ,001
Interaction	1,474x10 ⁻⁷	1	1,474x10 ⁻⁷	< ,001	,999	< ,001
Erreur	13,495	66	,204			

Les résultats rapportés dans le tableau 4.4 indiquent une interaction non significative entre le groupe et la condition ($F(1,66) < 0,001$, $p = 0,999$) au niveau des temps de réponse lors de la deuxième tâche. Les effets principaux peuvent donc être considérés. Les résultats de l'analyse montrent que le groupe n'a pas d'effet statistiquement significatif sur les temps de réponse ($F(1,66) = 0,010$, $p = 0,920$), tout comme c'est le cas pour la condition ($F(1,66) = 0,008$, $p = 0,927$).

Bien que les hypothèses de recherche portent sur les résultats obtenus lors de la deuxième tâche, des analyses ont aussi été effectuées à partir des résultats de la première tâche, ceci dans le but de vérifier si la stratégie d'intervention a eu un effet immédiat sur la réussite et le temps de réponse des élèves. Ces résultats sont présentés dans la sous-section 4.2.2.

4.2.2 Effet de l'intervention sur le taux de réussite et le temps de réponse selon la condition et le groupe à la première tâche effectuée par les participants

Pour vérifier si le taux de réussite entre les conditions (compatible ou incompatible) diffère selon le groupe (témoin ou expérimental) lors de la première tâche, une première analyse de type ANOVA à mesures répétées a été effectuée. Le tableau 4.5 présente les résultats de cette analyse.

Tableau 4.5 Résultats de l'ANOVA à mesures répétées comparant le taux de réussite à la première tâche entre les groupes et selon la condition

Source de variance	SC	dl	CM	F	<i>p</i>	Éta-carré partiel
Intergroupe						
Groupe	4,655	1	4,655	,051	,822	,001
Erreur	6030,969	66	91,378			
Intragroupe						
Condition	684,583	1	684,583	19,453	< ,001***	,228
Interaction	3,269	1	3,269	,093	,762	,001
Erreur	2322,661	66	35,192			

Note. *** $p < ,001$

Les résultats du tableau 4.5 suggèrent que l'interaction entre le groupe et la condition n'est pas statistiquement significative ($F(1,66) = 0,093$, $p = 0,762$) au niveau du taux de réussite à la première tâche. Les effets principaux du groupe et de la condition peuvent ainsi être considérés. Les résultats montrent que le groupe n'a pas d'effet statistiquement significatif sur le taux de réussite ($F(1,66) = 0,051$), $p = 0,822$). La condition a toutefois un effet significatif sur la réussite à la première tâche ($F(1,66) = 19,453$, $p < 0,001$). L'éta-carré partiel de 0,228 témoigne d'un effet de taille

modérément élevé (Cohen, 1988). En référant au tableau 4.1, il est possible d'avancer que la condition compatible ($M = 96,094 \pm 8,6426$ pour le groupe témoin ; $M = 96,775 \pm 4,5374$ pour le groupe expérimental) est mieux réussie que la condition incompatible ($M = 91,909 \pm 9,2936$ pour le groupe témoin ; $M = 91,969 \pm 8,6850$ pour le groupe expérimental) et ce, pour les deux groupes. Ces résultats concernent les taux de réussite seulement. Le tableau 4.6 présente les résultats de l'ANOVA à mesures répétées comparant le temps de réponse aux comparaisons réussies à la première tâche entre les groupes et selon la condition.

Tableau 4.6 Résultats de l'ANOVA à mesures répétées comparant le temps de réponse aux comparaisons réussies à la première tâche entre les groupes et selon la condition

Source de variance	SC	dl	CM	F	<i>p</i>	Éta-carré partiel
Intergroupe						
Groupe	0,476	1	0,476	,265	,608	,004
Erreur	118,553	66	1,796			
Intragroupe						
Condition	,178	1	,178	2,001	,162	,029
Interaction	,436	1	,436	4,911	,030*	,069
Erreur	5,859	66	,089			

Note. * $p < ,05$

Les résultats présentés dans le tableau 4.6 indiquent une interaction entre le groupe et la condition statistiquement significative ($F(1,66) = 4,911$, $p = 0,030$) au niveau du temps de réponse des comparaisons réussies lors de la première tâche. Puisque l'interaction est statistiquement significative, les effets principaux du groupe et de la

condition ne seront pas considérés. L'interaction est illustrée par le graphique de la figure 4.1.

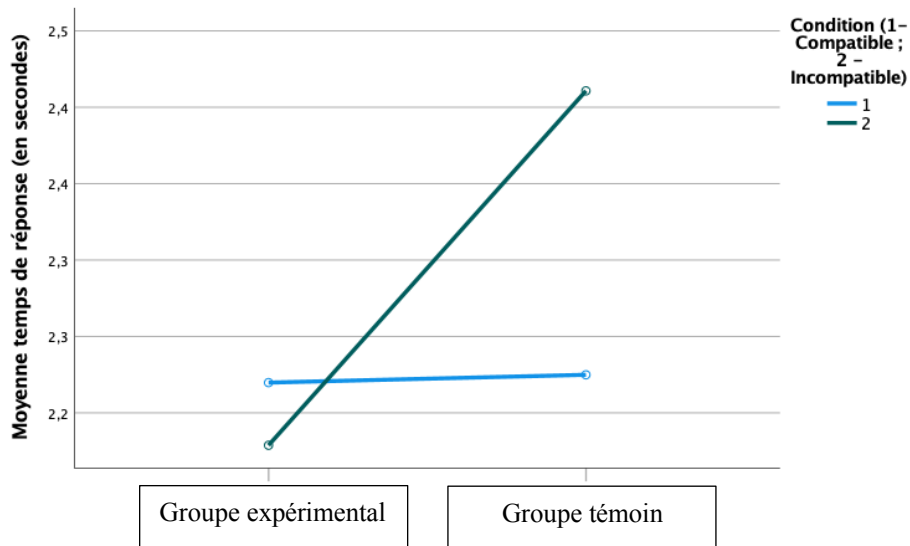


Figure 4-1. Graphique d'interaction entre le groupe et la condition au niveau du temps de réponse aux comparaisons réussies lors de la première tâche

Pour déterminer où se trouvent les différences, des tests d'effets simples ont été effectués. Il s'agit de l'équivalent du test t apparié sur les moyennes estimées par l'ANOVA, avec correction de Bonferroni. Les résultats montrent que la différence de temps de réponse entre les conditions compatible et incompatible est statistiquement significative ($p = 0,015$) pour les élèves du groupe témoin seulement, au temps 1. Cette différence est de $185,844 \text{ ms} \pm 74,486 \text{ ms}$ en faveur de la condition compatible : il est plus rapide de comparer les nombres de la condition compatible que ceux de la condition incompatible. Cette différence n'est pas statistiquement significative chez les élèves du groupe expérimental ($p = 0,561$).

Le recours au paradigme de Macizo (2017) permet de présenter des données supplémentaires. Celles-ci n'étant pas directement liées aux objectifs de l'étude, elles

sont présentées en annexe (voir annexe G). Dans le prochain chapitre, une interprétation et une explication des résultats présentés seront effectuées. Les limites de l'étude ainsi que des pistes pour des recherches futures seront également discutées.

CHAPITRE V

DISCUSSION

Dans ce cinquième chapitre, les résultats présentés précédemment seront discutés au regard du cadre théorique et des travaux sur lesquels s'appuie cette étude. Avant d'aller plus loin, il convient de rappeler le caractère exploratoire de cette étude. Effectivement, les travaux sur lesquels elle s'appuie sont peu nombreux et proviennent de champs de recherche relativement distincts. Cette étude constitue en quelque sorte un premier pont alliant ces champs d'étude. L'interprétation des résultats est donc réalisée avec prudence et permettra d'ouvrir la voie à d'autres études permettant d'explorer encore davantage cette piste de recherche. Ce chapitre se déploiera de la façon suivante. Les résultats seront d'abord interprétés eu égard à l'effet de la stratégie d'intervention à travers l'effet de compatibilité. Des pistes d'explication des résultats non statistiquement significatifs obtenus seront ensuite soulevées, précédées immédiatement par des calculs de puissance justifiant le nombre de participants. Un retour sur l'étude de Babai *et al.* (2016), une étude pilier, sera effectué, suivi par l'apport des résultats au domaine de l'enseignement des mathématiques. En guise de suite, les particularités du contexte de collecte de données imposées par la pandémie de COVID-19 et des pistes de recherches futures concluront ce chapitre.

5.1 Effet de la stratégie d'intervention et effet de compatibilité

Les résultats obtenus dans cette étude seront d'abord discutés au regard du concept d'effet de compatibilité selon lequel il serait plus long et plus difficile de comparer les nombres de la condition incompatible que ceux de la condition compatible (ex. Nuerk *et al.*, 2001). Les hypothèses de recherche en lien avec la stratégie d'intervention sont intimement liées à ce concept. Les éléments d'interprétation des temps de réponse et des taux de réussite mesurés permettront de mettre en lumière l'effet de la stratégie d'intervention sur les différences entre les deux conditions (compatible et incompatible) des deux tâches. Rappelons que, selon les hypothèses formulées, la stratégie d'intervention devrait avoir pour effet de réduire l'effet de compatibilité, c'est-à-dire de réduire l'écart au niveau des taux de réussite et des temps de réponse entre la condition compatible et la condition incompatible. En résumé, les résultats montrent que la stratégie d'intervention permet une réduction de cet écart au niveau des temps de réponse lors de la première tâche, mais pas lors de la deuxième, et aucune réduction de l'écart entre les taux de réussite de la condition compatible et incompatible ne semble découler de la stratégie d'intervention. Les prochaines sections présentent quelques-unes des raisons pouvant expliquer ces résultats.

L'ANOVA des temps de réponse à la première tâche révèle un effet d'interaction significatif entre le facteur GROUPE (expérimental vs témoin) et le facteur CONDITION (compatible vs incompatible). Plus spécifiquement, le groupe témoin se distingue du groupe expérimental en étant significativement plus lent pour comparer les nombres de la condition incompatible que ceux de la condition compatible. Conformément aux hypothèses, l'intervention mène donc à une réduction de l'effet de compatibilité pour les temps de réponse dans la première tâche. Effectivement, la différence au niveau des temps de réponse n'est observée de façon significative que chez le groupe témoin lors de la première tâche de comparaison de nombres à deux chiffres (voir tableau 4.6). Le fait que les élèves du groupe témoin aient été plus rapides

pour comparer les nombres de la condition compatible que ceux de la condition incompatible, mais que cette différence n'ait pas été statistiquement significative chez le groupe expérimental laisse suggérer, avec prudence toutefois, un possible effet de la stratégie d'intervention. Lorsque les chiffres des dizaines ont une taille physique plus grande, il semble que les comparaisons incompatibles réussies soient répondues à une vitesse qui ne se distingue pas significativement de celle des comparaisons compatibles. Comme discuté précédemment, le contrôle inhibiteur serait requis pour inhiber la tendance spontanée à se fier à la valeur du chiffre, indépendamment de sa position lors de la comparaison des nombres de la condition incompatible (Macizo, 2017), expliquant que ces nombres soient plus longs à comparer. Il semblerait donc que, pour le groupe recevant l'intervention, cette différence de temps pour comparer les deux conditions associée au besoin d'inhiber n'ait pas été significative. Ce résultat suggère que le piège de se fier aux unités ait interféré de façon significative pour le groupe témoin, mais qu'il ne soit pas possible de conclure à un effet de cette interférence pour le groupe expérimental lors de la première tâche. L'intervention pourrait avoir aidé les élèves à porter leur attention plus spontanément sur la variable à utiliser, la dizaine. Le conflit entre les unités et les dizaines aurait alors été atténué pour les comparaisons incompatibles pour le groupe expérimental, ce qui pourrait expliquer la différence non significative au niveau du temps de réponse entre les deux conditions pour le groupe ayant reçu l'intervention lors de la première tâche.

Lors de la deuxième tâche, soit une fois la taille physique des chiffres des dizaines remise équivalente à la taille des chiffres des unités pour le groupe expérimental, la différence observée chez le groupe témoin n'est plus statistiquement significative. Bien qu'à la première tâche, les élèves du groupe témoin aient été plus lents pour comparer les nombres de la condition incompatible par rapport aux nombres de la condition compatible, cette différence n'est plus statistiquement significative lors de la deuxième tâche. Ainsi, bien que le résultat observé lors de la première tâche puisse indiquer une différence entre les groupes témoin et expérimental potentiellement explicable par la

stratégie d'intervention, cette différence n'est plus significative lors de la deuxième tâche, soit en l'absence de la stratégie d'intervention. Il semblerait donc que les effets bénéfiques de la stratégie d'intervention soient comparables à ceux de la répétition de la même tâche sans mise en saillance, du moins pour la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres impliquant des élèves de deuxième année. Différentes pistes peuvent être soulevées pour expliquer les résultats non statistiquement significatifs. Avant de les discuter, une précision quant à la non significativité des résultats fera l'objet de la prochaine section.

Quant aux résultats obtenus au niveau des taux de réussite (voir tableaux 4.3 et 4.5), ils montrent que, pour les deux groupes, les comparaisons de la condition compatible ont été mieux réussies que les comparaisons de la condition incompatible. C'est le cas pour les deux tâches réalisées par les élèves. Ce résultat permet de reproduire l'effet de compatibilité concernant les taux de réussite qui a été observé dans d'autres études faites auprès d'enfants (Mussolin et Noël, 2008 ; Nuerk *et al.*, 2004) et auprès d'adultes (Macizo, 2017 ; Nuerk *et al.*, 2001). Cependant, il ne permet pas d'appuyer l'hypothèse selon laquelle l'intervention mène à une réduction de l'écart entre les taux de réussite des comparaisons compatibles et incompatibles.

Il est intéressant de noter que les études faites auprès d'enfants ont montré un effet de compatibilité clair au niveau des taux de réussite, mais mitigé au niveau des temps de réponse. Dans l'étude de Mussolin et Noël (2008), les auteurs ont fait faire trois tâches à des participants de la 2^e, 3^e et 4^e année du primaire. Une de ces tâches consistait à comparer des nombres à deux chiffres. Parmi ces couples de nombres, certains étaient de la condition compatible, d'autres de la condition incompatible. Les taux de réussite et temps de réponse étaient mesurés. Les résultats montrent un effet de compatibilité statistiquement significatif au niveau des taux de réussite chez tous les participants, quel que soit leur groupe d'âge. L'effet de compatibilité n'était toutefois pas significatif au niveau des temps de réponse pour cette tâche. Dans leur étude, Nuerk *et al.* (2004)

ont fait faire une tâche de comparaison de nombres à deux chiffres comportant 240 paires de nombres à comparer à 80 élèves de la 2^e à la 5^e année du primaire. Ils ont eux aussi montré un effet de compatibilité au niveau des taux de réussite significatif, quel que soit l'âge. Par contre, ils ont obtenu comme résultat que l'effet de compatibilité au niveau des temps de réponse augmentait de la 2^e à la 5^e année du primaire. Les auteurs concluent qu'alors que les élèves plus jeunes traitent les deux chiffres d'un nombre un à la fois (de façon séquentielle), les élèves plus vieux les traitent en parallèle. Un traitement en parallèle peut expliquer qu'il soit davantage nécessaire de freiner l'interférence de l'unité puisque le chiffre des dizaines et celui des unités sont regardés simultanément plutôt qu'un après l'autre. Étant donné ces résultats mitigés obtenus par les études citées, l'hypothèse de la présente étude quant aux temps de réponse était émise avec prudence. Puisque les résultats obtenus montrent que la stratégie d'intervention influence l'effet de compatibilité pour les temps de réponse et non pour les taux de réussite, cela suggère qu'il est possible que la stratégie d'intervention ait un effet bénéfique réel, mais modeste, ce qui lui permet d'influencer les temps de réponse pour lesquels l'effet de compatibilité des élèves de deuxième année est relativement petite, mais pas l'effet de compatibilité associé aux taux de réussite qui, lui, est plus élevé.

5.2 Résultats non significatifs et calculs de puissance

Il pourrait être tentant d'avancer que les résultats non significatifs liés au taux de réussite (et aux temps de réponse pour la tâche 2) sont dus, non pas à un manque d'efficacité de la stratégie d'intervention, mais à une faible puissance statistique étant donné le nombre de participants ($n = 68$). Afin de vérifier que les résultats non significatifs ne sont pas dus à une puissance statistique insuffisante, un calcul de puissance *a posteriori* (Faul *et al.*, 2007) a été réalisé pour vérifier le nombre de participants qui aurait été nécessaire afin de déceler une différence statistiquement significative dans la présente étude. Cela peut donner une indication de la nécessité de

collecter des données supplémentaires. Ces calculs ont été réalisés à partir de la taille d'effet réelle de l'interaction obtenue pour chacun des tests. Ces tailles d'effet (éta-carré partiel) sont rapportées dans les tableaux 4.3 à 4.6, inclusivement.

En ce qui concerne les résultats au niveau des taux de réussite, pour que l'interaction ait été significative à la première tâche, un nombre de participants s'élevant à 1964 aurait été nécessaire étant donnée la taille d'effet très petite (0,001, voir tableau 4.5). Pour que l'interaction ait été significative à la deuxième tâche, un nombre de 52 était nécessaire et a été atteint. En ce qui concerne les résultats obtenus pour les temps de réponse, l'interaction est déjà significative à la première tâche (voir tableau 4.6). Pour qu'elle ait été significative à la deuxième tâche, plus d'un milliard de participants auraient été nécessaires étant donné la taille d'effet négligeable ($< 0,001$, voir tableau 4.4), ce qui signifie qu'il n'y avait vraisemblablement pas d'effets à observer, peu importe le nombre de participants.

Ces calculs de puissance effectués à partir des tailles d'effet réelles s'éloignent considérablement des résultats obtenus à partir des tailles d'effet estimées et indiquent que la non significativité des résultats à trois des tests statistiques n'est pas due à un manque de puissance, mais bien à une taille d'effet trop petite, suggérant qu'il n'y avait pas d'effet à observer. Un nombre de participants supérieur à 68 n'aurait donc eu, selon toute vraisemblance, aucun impact sur les résultats obtenus.

5.3 Pistes d'explication des résultats non significatifs obtenus

Différentes pistes peuvent être soulevées pour expliquer les résultats non significatifs obtenus. Celles en lien avec les temps de réponse seront d'abord discutées. Elles seront suivies de celles en lien avec les taux de réussite.

5.3.1 Pistes pour expliquer les résultats obtenus au sujet des temps de réponse

En ce qui concerne les résultats non significatifs obtenus au niveau des temps de réponse lors de la deuxième tâche, une piste d'explication s'illustre par ce qui suit. D'une part, au moment de débiter la deuxième tâche, les élèves des deux groupes s'étaient exercés à comparer des nombres à deux chiffres depuis déjà au moins cinq minutes. De plus, la deuxième tâche réalisée par les élèves comportait les mêmes nombres à comparer que ceux de la première tâche, mais dans un ordre différent. Effectivement, les couples de nombres étaient présentés dans un ordre aléatoire lors de la réalisation des tâches. Ces couples de nombres étaient toutefois les mêmes entre les deux tâches. En complétant la deuxième tâche, les élèves répétaient donc la tâche qu'ils avaient déjà complétée une première fois. Ainsi, le phénomène d'habituation (Stein, 1966) à la tâche peut-il expliquer ces différences non significatives au niveau des temps de réponse entre les groupes et les conditions lors de la deuxième tâche ? Le phénomène d'habituation s'illustre par le fait que, plus un stimulus est présenté fréquemment, plus le mécanisme d'inhibition devient conditionné à ce stimulus et est donc mis en place rapidement (Stein, 1966 ; Ueda *et al.*, 2021). Le phénomène d'habituation serait d'ailleurs influencé par l'attention : si un nouveau stimulus capte d'emblée l'attention, plus il est vu souvent, moins il attire l'attention (Stein, 1966). Ce phénomène pourrait potentiellement expliquer les résultats au niveau des temps de réponse aux comparaisons réussies à la deuxième tâche : que les couples de nombres soient de la condition compatible ou incompatible, la différence de vitesse pour réussir à les comparer n'est pas statistiquement significative. Si comparer les nombres de la condition incompatible est plus long parce que la valeur des chiffres des unités crée une interférence, alors il semblerait que cet effet d'interférence ne soit pas statistiquement significatif une fois que les élèves se sont habitués à la tâche.

Il est possible que la stratégie d'intervention ait été un élément déclencheur de cette habituation : rendre la variable sur laquelle porter notre attention lors d'une tâche plus

saillante pourrait avoir aidé à ce que le mécanisme d'inhibition de la variable non pertinente se fasse plus rapidement, voire même qu'il ne soit plus nécessaire de le mettre en place. L'élève voit la dizaine, s'y attarde, puis automatise le fait de s'y attarder, que les nombres soient de la condition compatible ou incompatible, qu'il s'agisse de la première ou de la deuxième tâche. Pour le groupe témoin, il semblerait que cette habitude à la tâche soit aussi possible sans la stratégie d'intervention, mais une fois avoir effectué plusieurs comparaisons, tel qu'illustré par des différences non significatives entre les deux conditions pour ce groupe lors de la deuxième tâche.

Ainsi, le fait que, lors de la deuxième tâche, aucune différence statistiquement significative n'ait été observée au niveau des temps de réponse entre les deux conditions et ce, peu importe le groupe, laisse penser qu'une habitude à la tâche a pu avoir lieu, peu importe la condition, lors de la deuxième tâche. Cependant, l'étude de Macizo (2017) montre tout de même une persistance de l'effet d'interférence chez l'adulte, malgré un nombre de comparaisons quatre fois plus élevé. Ce constat sème un doute concernant cette interprétation liée au phénomène d'habitude.

D'autre part, une autre piste d'explication pourrait être la suivante. Les écart-types au niveau des temps de réponse du groupe expérimental à la deuxième tâche semblent particulièrement élevés (voir tableau 4.2), suggérant que les moyennes de temps de réponse à la deuxième tâche pour ce groupe varient considérablement d'un élève à l'autre. La grande variabilité des temps de réponse en général, et particulièrement pour le groupe expérimental lors de la deuxième tâche, a pu avoir une influence sur les analyses en créant une hétérogénéité dans les données. Cette variabilité peut être expliquée par plusieurs facteurs liés au contexte de collecte de données, qui seront présentés dans la section 5.6.

Il importe aussi de rappeler que l'effet de compatibilité au niveau des temps de réponse était mitigé dans les études faites auprès d'enfants rapportées plus haut (Mussolin et

Noël, 2008 ; Nuerk *et al.*, 2004). Si Mussolin et Noël (2008) n'ont pas obtenu de différence significative au niveau des temps de réponse chez les élèves de la 2^e à la 4^e année du primaire, Nuerk et ses collaborateurs (2004) sont arrivés à la conclusion que l'effet de compatibilité au niveau des temps de réponse était plus grand chez les élèves de 5^e année par rapport à ceux de 2^e année. À la différence de Mussolin et Noël (2008), Nuerk et ses collaborateurs (2004) ont ajusté les données obtenues au niveau des temps de réponse pour chaque participant. Ils ont calculé des scores Z pour chaque participant, à partir des temps de réponse et des écarts-types obtenus pour chacun d'eux. Ils se sont ainsi assurés que les résultats étaient plus cohérents entre eux. Ils ont fait cette transformation des données puisqu'ils avaient constaté que les temps de réponse de deux participants présentaient une grande variabilité par rapport au reste de l'échantillon, ce qui nuisait à la distribution normale des données. Dans la présente étude, les données correspondant à plus ou moins deux écart-types de la moyenne obtenue par participant ont été retirées. La distribution des temps de réponses suivait une loi normale. À l'instar de Mussolin et Noël (2008), les différences au niveau des temps de réponse sont non significatifs lors de la deuxième tâche, soit lorsque la stratégie d'intervention est retirée. La prochaine sous-section présente les pistes d'explication des résultats non significatifs obtenus au niveau des taux de réussite.

5.3.2 Pistes pour expliquer les résultats obtenus au sujet des taux de réussite

Par ailleurs, il était attendu qu'une différence significative au niveau des taux de réussite entre les deux conditions soit observée lors de la première tâche entre les deux groupes. La différence avec la première tâche par rapport à la seconde est qu'elle comportait la stratégie d'intervention pour le groupe expérimental. Il était donc attendu non seulement que cette même différence entre les deux conditions (effet de compatibilité) soit observée, mais qu'elle soit moindre chez les élèves du groupe expérimental. Effectivement, l'intervention aurait dû permettre aux élèves de porter leur attention davantage sur la dizaine, les aidant ainsi à moins se fier aux unités lors

du premier essai et à mieux réussir à comparer les nombres de la condition incompatible. Qu'est-ce qui pourrait expliquer que, lors de la première tâche, l'effet de compatibilité au niveau des temps de réponse soit significatif seulement pour le groupe témoin, mais que l'effet de compatibilité au niveau des taux de réussite soit quant à lui significatif, indistinctement du groupe ? Si les élèves du groupe expérimental avaient automatisé la « bonne façon de comparer les nombres » grâce à l'intervention, il aurait été attendu qu'ils se démarquent significativement du groupe témoin au regard de la réussite aux comparaisons incompatibles. Or, aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les groupes selon la condition à la première et à la deuxième tâche, ce qui ne nous permet pas de conclure à un effet de la stratégie d'intervention sur la réussite des élèves.

Le fait que, malgré la possibilité que les élèves aient pu s'habituer à répondre à la tâche, les comparaisons incompatibles soient demeurées plus difficiles que les comparaisons compatibles peut s'expliquer par le fait que les élèves n'avaient aucune rétroaction quant à la justesse de leur réponse. Les comparaisons compatibles et incompatibles *qu'ils ont réussies* l'ont été à une vitesse qui n'est pas statistiquement différente. Si les élèves avaient eu une telle rétroaction, il aurait été possible que les taux de réussite aient été significativement supérieurs au fur et à mesure du déroulement des deux tâches.

Que le groupe expérimental ne se soit pas significativement démarqué du groupe témoin au niveau des taux de réussite à la tâche peut aussi s'expliquer par le fait que les taux de réussite étaient déjà très élevés. Ces taux de réussite élevés sont utiles pour analyser les temps de réponse des comparaisons réussies, mais ils peuvent diminuer la possibilité de s'améliorer. Effectivement, une moyenne allant de 91,909 à 96,775 % est observée au niveau des taux de réussite lorsque les deux groupes sont considérés (voir tableau 4.1) et ce, dès la première tâche réalisée par les élèves. Ces moyennes élevées indiquent que la tâche était très facile pour des élèves ayant franchi plus de la moitié

de leur deuxième année du primaire. Initialement, il était prévu que la collecte de données se déroule au début de l'année scolaire, soit à l'automne. Or, étant donné les contraintes liées à la pandémie de COVID-19, la collecte ne s'est déroulée qu'à partir de la fin février et ce, jusqu'au début mai. Il était attendu que cette période de collecte de données soit tout aussi valide étant donné les études ayant montré que l'effet de compatibilité était présent chez des élèves de 2^e, 3^e et 4^e année du primaire (Mussolin et Noël, 2008 ; Nuerk *et al.*, 2004), suggérant que la tâche ne serait pas trop facile pour des élèves étant à la deuxième moitié de leur deuxième année. Dans l'étude de Mussolin et Noël (2008), les taux d'erreur à la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres variaient entre 3,3 % (pour les nombres compatibles) et 8,7 % (pour les nombres incompatibles) chez les élèves de 2^e année. Les résultats obtenus dans la présente étude corroborent ce résultat puisque l'effet de compatibilité au niveau des taux de réussite est observé lors des deux tâches et que les taux de réussite sont aussi très élevés.

À la lumière de ces constats, l'intervention serait peut-être plus pertinente pour une tâche plus difficile dans laquelle les erreurs sont fréquentes et persistantes malgré la répétition de la tâche ou encore pour des élèves un peu plus jeunes, pour qui la tâche est plus difficile. Des taux de réussite plus faibles auraient pu permettre de mettre en lumière un écart significatif entre les deux groupes ainsi qu'une amélioration significative chez le groupe ayant reçu l'intervention. Il serait intéressant de recruter des élèves en première et en deuxième année et de leur demander de compléter la tâche au début, au milieu et à la fin de l'année scolaire afin de détecter à quel moment, au premier cycle du primaire, l'effet de compatibilité génère le plus d'erreurs chez l'élève. La prochaine section revient sur une des études piliers de cette thèse : celle de Babai *et al.* (2016).

5.4 Retour sur l'étude de Babai *et al.* (2016)

La présente étude s'appuie principalement sur l'étude de Babai et de ses collaborateurs (2016), qui ont vérifié l'effet de l'augmentation de la saillance du périmètre sur la réussite à une tâche de comparaison du périmètre de deux figures. Ces auteurs ont observé une meilleure réussite à une première tâche pour laquelle la saillance du périmètre était augmentée, par rapport à celle pour laquelle la saillance n'était pas augmentée. Les taux de réussite à la tâche de Babai et ses collaborateurs (2016) étaient toutefois nettement inférieurs à ce qui a été obtenu dans cette étude, le pourcentage le plus élevé étant 92,7 % et celui le plus bas étant 12,1 %. Les élèves avaient ainsi davantage de possibilités de s'améliorer.

Il est intéressant de constater qu'à la deuxième tâche de notre étude, l'effet de compatibilité au niveau des taux de réussite demeure significatif pour les deux groupes. Tel que présenté plus haut, les comparaisons incompatibles demeurent plus difficiles à réaliser que les comparaisons compatibles, que les élèves aient eu ou non l'intervention. Ce résultat ne reflète pas non plus ce qui a été observé dans l'étude de Babai et ses collaborateurs (2016). En effet, ces auteurs ont observé un effet de l'intervention sur le taux de réussite des élèves à une deuxième tâche pour laquelle la saillance du périmètre n'était plus augmentée. Cette deuxième tâche (la tâche continue) avait lieu 10 jours après la première tâche (la tâche discrète). Dans notre étude, un délai d'une minute séparait les deux tâches. Si l'étude était menée à nouveau en laissant un délai plus long entre les deux tâches, à l'instar de Babai *et al.* (2016), peut-être qu'un effet significatif de l'intervention pourrait être observable au niveau des taux de réussite à la deuxième tâche.

Les résultats de cette étude ne reflètent donc pas ce qui a été obtenu dans l'étude de Babai et ses collaborateurs (2016). Alors que ces auteurs ont observé de meilleurs taux de réussite lors de la tâche pour laquelle la saillance de la variable pertinente était

augmentée par rapport à une tâche sans la saillance augmentée, et que ces meilleurs taux de réussite se maintenaient à une deuxième tâche sans la saillance augmentée réalisée quelques jours plus tard, notre étude montre plutôt un constat intéressant au niveau des temps de réponse obtenus lors de la première tâche réalisée par les élèves. Ceux du groupe témoin seulement ont été significativement plus rapides pour comparer les nombres compatibles que les nombres incompatibles. Rappelons que Babai *et al.* (2016) n'ont pas pu conclure à un effet de leur intervention au niveau des temps de réponse dans leur étude.

Il importe toutefois de rappeler que certaines différences s'observent entre les deux études. Notamment, les élèves de l'étude de Babai *et al.* (2016) n'avaient pas le même âge que ceux de cette étude. Ils étaient au 3^e cycle du primaire, et non au premier. Les deux tâches utilisées se distinguent aussi considérablement, bien qu'étant deux tâches mathématiques impliquant une comparaison. Compte tenu qu'aucune autre étude n'a vérifié l'effet d'une stratégie d'intervention visant à augmenter la saillance de la variable pertinente lors de la comparaison de nombres à deux chiffres, les hypothèses soulevées pour expliquer les résultats le sont avec prudence et d'autres études devraient être menées pour les vérifier. La pertinence du type d'intervention testé n'est donc pas remise en doute, mais d'autres études s'avèrent nécessaires pour confirmer son effet sur la réussite des élèves à d'autres tâches nécessitant le contrôle inhibiteur que celle de la comparaison du périmètre de deux figures.

En somme, l'apport de cette étude à l'avancement des connaissances scientifiques est le suivant. D'une part, les résultats obtenus dans cette étude montrent un possible effet de la stratégie d'intervention sur les temps de réponse lorsque la saillance de la dizaine est augmentée lors de la comparaison de nombres à deux chiffres. Une fois cette saillance retirée, les deux groupes de l'étude ne se distinguent pas significativement au niveau des temps de réponse obtenus. Le phénomène d'habituation est une piste d'explication avancée pour expliquer ce résultat, bien que les études antérieures

réalisées auprès d'enfants aient obtenu des résultats mitigés par rapport à l'effet de compatibilité au niveau des temps de réponse. D'autre part, la présente étude confirme à nouveau l'effet de compatibilité au niveau des taux de réussite lors de la comparaison de nombres à deux chiffres chez des enfants d'âge primaire. Il n'est pas possible de conclure à un effet de la stratégie d'intervention sur la réussite à la tâche, mais l'effet plafond constitue une piste d'explication de ce résultat mise de l'avant. Finalement, cette étude s'inscrit à la suite de celle de Babai *et al.* (2016) en s'en distinguant par la tâche utilisée et par le groupe d'âge ciblé. Les résultats distincts de ceux de l'étude de Babai et ses collaborateurs (2016) rappellent la pertinence d'investiguer davantage la deuxième stratégie d'intervention qu'est l'augmentation de la saillance pour aider les élèves à mieux réussir des tâches nécessitant l'inhibition.

Étant donné les résultats obtenus, quel est l'apport de cette étude au domaine de l'enseignement des mathématiques ? Cet apport sera exposé dans la prochaine section.

5.5 Apport au domaine de l'enseignement des mathématiques

Si les pistes soulevées jusqu'à maintenant permettent d'avancer ce qu'apporte la présente étude aux connaissances scientifiques, qu'en est-il de l'apport de l'étude au milieu pratique ? Il importe d'abord de rappeler que la stratégie d'intervention utilisée dans cette étude ne visait pas à aider l'élève à mieux comprendre le concept de numération positionnelle au cœur de la comparaison de nombres à deux chiffres. La présente étude avait plutôt pour but d'explorer une stratégie d'intervention visant à aider l'élève à ne pas tomber dans le piège de se fier à un automatisme. Il ne s'agit donc pas d'une intervention visant la compréhension du concept en jeu. Dans le contexte de la comparaison de nombres à deux chiffres, la stratégie d'intervention visait à rallumer un élément déjà appris par l'élève : la valeur de position. La stratégie d'intervention, qui vise à augmenter la saillance de la variable utile à la tâche, a déjà été étudiée par Babai et ses collaborateurs (2016) dans le cadre d'une autre tâche mathématique.

L'objectif de l'étude était de vérifier si cette stratégie pouvait aider les élèves dans le cadre d'une autre tâche mathématique nécessitant l'inhibition d'un automatisme de la pensée.

Sans affirmer que la stratégie d'intervention n'a pas eu d'effet sur la réussite des élèves à la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres, force est de constater qu'il n'est non plus possible d'affirmer que la stratégie d'intervention a aidé les élèves à mieux réussir cette tâche. Un effet possible de la stratégie d'intervention s'observe au niveau des temps de réponse de la première tâche puisque la seule différence statistiquement significative entre les conditions de la tâche a été obtenue au niveau du groupe témoin. Le groupe témoin a été significativement plus lent pour répondre aux comparaisons de la condition incompatible par rapport à la condition compatible, suggérant que l'interférence induite par la valeur des chiffres indépendamment de leur position a ralenti ce groupe pour les comparaisons incompatibles. Cette différence n'a toutefois pas été significative lors de la deuxième tâche réalisée par les participants.

Ces résultats ne permettent donc pas d'affirmer hors de tout doute que la stratégie d'intervention pourrait considérablement améliorer la réussite à la tâche des élèves à la fin de leur deuxième année du primaire. Ils suggèrent plutôt qu'elle pourrait avoir un effet immédiat sur les temps de réponse lorsque la grandeur des chiffres des dizaines est augmentée seulement. Par ailleurs, les taux de réussite à cette étude ont été particulièrement élevés, suggérant que la tâche était facile pour des élèves de la fin de la deuxième année du primaire. Cette stratégie d'intervention pourrait être davantage pertinente dans des tâches plus difficiles ou pour des élèves moins avancés dans leur apprentissage de la comparaison de nombres à deux chiffres, soit des élèves de la première année du primaire ou débutant leur deuxième année, pour qui cette tâche est plus difficile. Des différences significatives pourraient peut-être être observées au niveau des taux de réussite pour des élèves de ce groupe d'âge. Qui plus est, la stratégie d'intervention pourrait aussi être testée dans le cadre d'un autre apprentissage

mathématique. En effet, cette stratégie a montré un effet positif dans le cadre d'une tâche de comparaison du périmètre de deux figures (Babai *et al.*, 2016). Une telle stratégie pourrait par exemple s'appliquer davantage à des tâches en géométrie.

Il importe de rappeler que l'intention de cette étude n'était pas de mener à un apport considérable au champ de l'enseignement des mathématiques, mais bien plus de documenter l'effet d'une stratégie d'enseignement ayant la possibilité de s'appliquer à plus d'un apprentissage scolaire. En ce sens, l'apport limité à ce domaine était attendu. Cependant, l'étude est novatrice en ce sens qu'elle est une des premières à faire le pont entre les nombreuses recherches s'étant intéressées à l'effet de compatibilité lors de la comparaison de nombres à deux chiffres et les études récentes s'intéressant au rôle du contrôle inhibiteur à l'école. Elle remet aussi de l'avant le rôle du contrôle inhibiteur dans les apprentissages mathématiques lorsque des erreurs persistent indépendamment d'une compréhension du concept en jeu. Certains automatismes de la pensée peuvent mener l'élève à faire des erreurs malgré une compréhension du concept. Les élèves doivent apprendre à freiner cet automatisme ou à le surmonter pour réussir la tâche dont il est question. Plusieurs de ces apprentissages mathématiques pour lesquels un automatisme doit être inhibé ont été présentés dans la problématique (voir section 1.1). Le peu d'interventions visant à freiner ces automatismes a également été rapporté (voir section 2.2). La présente étude est pertinente en ce sens qu'elle visait à contribuer à résoudre cette problématique. Les résultats de l'étude suggèrent que d'autres études sont toutefois nécessaires pour valider les stratégies d'intervention qui permettront d'aider les élèves à mieux réussir lors de ces apprentissages mathématiques difficiles nécessitant l'inhibition d'automatismes.

Cette étude n'est pas non plus sans rappeler les études ayant porté sur la mise en évidence dans le domaine de la linguistique (ex. Inkova, 2012). Ce domaine a étudié l'effet de la mise en évidence de différents aspects linguistiques sur l'attention des élèves et leur apprentissage. Il serait pertinent de transférer ces connaissances dans le

domaine de l'enseignement des mathématiques dans le but d'identifier les facteurs à considérer pour porter l'attention des élèves sur les éléments pertinents à la tâche et ainsi favoriser leur réussite, les mathématiques étant un langage en soi. La présente étude fait un premier pas en ce sens. Cependant, le contexte particulier entourant cette étude a pu avoir une influence considérable sur les données collectées.

5.6 Particularités du contexte de collecte de données et limites de l'étude

Le printemps 2020 marque le début de la pandémie de COVID-19, pandémie qui s'est échelonnée sur plus d'un an. C'est au cours de l'automne 2020 que la collecte de données de cette étude était initialement prévue. Il était également prévu que la chercheuse se rende dans les classes des élèves participants, avec des ordinateurs portables de l'équipe de recherche, et que les élèves réalisent la tâche à partir du logiciel E-prime 2.0, un logiciel largement utilisé pour collecter les taux de réussite et temps de réponse à une tâche. La pandémie a rendu impossible cette stratégie de collecte de données. C'est la raison pour laquelle une stratégie de collecte de données en ligne et hors classe a été mise en place. Avec les différents ajustements imposés au protocole initial ainsi que compte tenu des ébranlements dans le milieu scolaire dus aux multiples consignes sanitaires, la collecte de données n'a pas pu avoir lieu avant l'hiver 2021, soit quelques mois après le début de l'année scolaire. Tel que précisé plus haut, il est probable que l'effet plafond ait été moindre chez des élèves de 2^e année en début d'année scolaire si le plan initial avait été conservé.

Ce nouveau contexte de collecte de données a aussi fait en sorte que certaines variables non prévues ont pu avoir une influence sur les données. D'une part, le fait que les élèves aient eu à réaliser la tâche en ligne, à partir de la maison, a pu faire en sorte que certains d'entre eux ne l'ont pas fait seuls. Ils ont pu être aidés, pour une partie ou l'ensemble de la tâche, par un membre de leur entourage (famille, ami, etc.). D'autre part, la mesure des temps de réponse requiert une grande précision de l'instrument de mesure. Or,

différentes distractions ont pu avoir une influence sur cette mesure à la maison. En effet, même sans la présence de distracteurs, un temps plus long pour répondre à un stimulus pourrait être expliqué par la mise en place d'un autre mécanisme que celui de l'inhibition (Tipper, 2001) et il est possible qu'une réponse qui prend normalement plus de temps à être donnée soit éventuellement donnée spontanément (Bago et De Neys, 2017). La présence de distracteurs (ex. téléviseur, animal de compagnie, bruit ambiant, etc.) s'ajoute comme source potentielle d'explication d'un temps de réponse plus long ou plus court. Bien que les données extrêmes aient été retirées (± 2 écarts-types), il n'empêche que le niveau d'attention de l'élève tout au long de la tâche a pu être différent de celui qu'il aurait eu à l'école. Le contexte a pu aussi varier grandement d'un élève à l'autre, créant une certaine hétérogénéité dans les données. Ces variables, le niveau de distraction dans l'environnement et qui réalise réellement la tâche, demeurent non contrôlées dans cette étude et auraient pu être évitées ou mieux contrôlées dans le contexte initialement prévu, soit en classe.

Dans une autre étude, une façon de contrôler ces variables tout en conservant un contexte de collecte de données en ligne et hors classe pourrait être que la chercheuse soit en visioconférence avec le participant au moment où il réalise la tâche, par exemple. La chercheuse pourrait ainsi s'assurer que l'enfant soit placé dans un environnement calme et qu'il réalise la tâche seul. Toutefois, bien que ces variables aient pu créer une variabilité considérable dans les données collectées de cette étude, la répartition aléatoire des élèves entre les groupes témoin et expérimental a pu en limiter les effets sur l'équivalence entre les deux groupes.

Par ailleurs, un biais était aussi imposé par le contexte particulier de collecte de données. Effectivement, seuls les élèves ayant un ordinateur à la maison ont pu prendre part à l'étude, ce qui a nécessairement discriminé certaines familles, dont celles provenant d'un milieu socioéconomique plus faible. Le milieu socioéconomique a été lié au rendement en mathématiques, bien que ce lien puisse être limité par la différenciation

pédagogique en contexte scolaire (Marks *et al.*, 2007) et qu'il doit être interprété en prenant en considération d'autres facteurs sociaux, politiques ou historiques (Valero et Meaney, 2014). Le fait de réaliser la tâche en classe à partir d'ordinateurs de l'équipe, tel qu'initialement prévu, aurait pu éviter cette discrimination et permettre une meilleure représentativité de l'échantillon. Cependant, il était initialement prévu que l'échantillon soit formé d'élèves d'une même région alors que l'échantillon effectivement formé l'a été avec des élèves d'un peu partout au Québec. L'échantillon est donc plus représentatif des élèves de deuxième année du Québec que celui initialement prévu puisqu'il ne se limite pas à une seule région administrative.

L'ajout de consignes explicites aux parents ainsi que la collecte, par le logiciel, notamment de l'outil utilisé pour réaliser la tâche (type d'ordinateur, navigateur, vitesse internet) et du moment de la journée auquel elle a été réalisée a certainement permis de contrôler l'effet de certaines variables mentionnées plus haut. Tel que précisé plus haut, une analyse de régression a d'ailleurs permis de constater que le moment de la journée auquel l'enfant a réalisé la tâche, la latéralité, le sexe et l'âge n'ont pas eu une influence significative sur les temps de réponse ($F(4,67) = 2,233$; $p = 0,075$) et les taux de réussite ($F(4,67) = 1,879$; $p = 0,111$).

La présente étude ne permet pas de rejeter la possibilité d'une collecte de données en ligne et hors classe auprès d'enfants du primaire. Au contraire, ce contexte semble tout à fait possible, en prenant en considération différentes variables tel que le navigateur utilisé, le type d'outil (ordinateur vs iPad) utilisé, la plateforme de collecte de données ainsi que différentes caractéristiques des participants, selon les besoins de l'étude. La répartition aléatoire entre les deux groupes permet aussi de limiter l'hétérogénéité entre les groupes. Cette étude est novatrice, puisqu'aucune autre étude recensée n'a recouru à une collecte de temps de réponse et de taux de réussite à une tâche entièrement en ligne et hors classe auprès d'élèves de cet âge. Toutefois, il importe de rappeler que le contexte de collecte de données initialement prévu aurait été plus optimal et aurait peut-

être mené à des résultats comportant moins de variabilité. Bien que la répartition aléatoire ait pu limiter l'hétérogénéité entre les deux groupes, les différentes limites avancées rendent tout de même difficile la généralisation des résultats obtenus à l'ensemble des élèves de deuxième année du primaire du Québec et réaffirment le caractère exploratoire de cette étude.

Par ailleurs, une autre limite de l'étude, non nécessairement liée au contexte de l'étude, pourrait être que la saillance était peut-être augmentée pour le chiffre le plus petit dans la tâche, soit les unités. Nous considérons que c'était la dizaine qui était saillante et une des raisons est en lien avec les essais. En effet, les essais comportaient des nombres dont les chiffres étaient de la même taille et cette taille était celle des chiffres des unités lors de l'expérimentation. Ainsi, l'élève avait déjà comparé 8 couples de nombres de la taille des chiffres des unités avant de voir apparaître un couple de nombres pour lequel les dizaines étaient plus grandes. Une autre raison est que la taille physique plus élevée a été identifiée comme un facteur avéré augmentant la saillance (Wolfe et Horowitz, 2017). Même si on ne peut pas garantir, à partir de l'étude actuelle, que l'attention des élèves du groupe expérimental était bel et bien portée sur le chiffre des dizaines, il n'en demeure pas moins que les dizaines et les unités étaient deux unités distinctes par leur taille, ce qui a possiblement rendu difficile de traiter les deux chiffres de façon « égale » pour identifier le plus grand nombre. Autrement dit, changer la taille d'un des deux chiffres a assurément permis de ne pas traiter le 9 à la position des unités de la même façon qu'un 9 à la position des dizaines. Pour nous assurer que l'attention des élèves du groupe expérimental était bel et bien portée sur le chiffre des dizaines, soit l'élément le plus grand, il aurait pu être pertinent d'ajouter une mesure : celle du mouvement des yeux (*eye-tracking*). Cette mesure aurait permis de confirmer que c'est la saillance des dizaines qui était augmentée, et non celle des unités. La prochaine section présente des pistes de recherches futures découlant de la présente étude.

5.7 Pistes de recherches futures

Considérant les résultats et les limites de cette étude, différentes pistes pour des recherches futures peuvent être mises de l'avant. D'une part, tel que mentionné plus haut, il serait pertinent de refaire l'étude auprès d'élèves plus jeunes, soit des élèves terminant leur première année du primaire ou débutant leur deuxième année. Ces élèves sont moins familiers avec la tâche de comparaison de nombres à deux chiffres et pourraient davantage bénéficier d'une intervention pour les y aider.

D'autre part, une autre piste à explorer serait de mettre une pause de 10 jours entre les deux tâches réalisées par les élèves. Ce délai, le même que celui utilisé par Babai et ses collaborateurs (2016), limiterait l'effet d'habituation à la tâche potentiellement observé dans cette étude et pourrait permettre un laps de temps plus grand pour que les élèves du groupe expérimental bénéficient de façon significative de la stratégie d'intervention.

Il pourrait aussi être intéressant de faire un autre choix pour augmenter la saillance du chiffre des dizaines. Celui-ci pourrait être mis en caractères gras ou souligné, entre autre. Sa saillance pourrait aussi être augmentée de plusieurs façons : le chiffre des dizaines pourrait être de plus grande taille physique, en caractères gras, souligné et d'une couleur différente. Par ailleurs, tel que précisé plus haut, il serait intéressant d'ajouter une mesure dans une telle étude ultérieure : celle du mouvement des yeux (*eye-tracking*). En effet, cette mesure permettrait de nous assurer que l'attention des élèves est bel et bien portée sur l'élément qu'il était souhaité de mettre en saillance lors de la tâche.

Une autre piste de recherche pourrait être de tester l'effet de la stratégie d'intervention dans le cadre d'une autre tâche scolaire qui soit encore davantage similaire à celle utilisée par Babai et ses collaborateurs (2016). L'intention de la présente étude était de vérifier le transfert de la stratégie d'augmentation de la saillance à une autre tâche

mathématique. Cela dit, le choix d'une autre tâche, en sciences ou en mathématiques, pourrait également être fait.

Il serait intéressant d'explorer l'ajout ou non de rétroaction et d'en vérifier l'effet, surtout si la tâche choisie est particulièrement difficile pour l'élève. Un tel ajout nécessiterait cependant des considérations expérimentales différentes, puisqu'une nouvelle variable viendrait influencer les taux de réussite et temps de réponse.

Finalement, le fait que cette étude soit une des premières de ce type à utiliser un contexte de collecte de données en ligne et hors classe auprès d'élèves du primaire mène à soulever certaines suggestions. D'abord, il convient de collecter le plus d'informations possibles permettant de contrôler certaines différences entre les participants. À cet effet, la plateforme Gorilla.sc est intéressante puisqu'elle collecte d'emblée des informations en lien avec l'outil utilisé et le moment auquel a été réalisée la tâche. Ensuite, pour limiter l'hétérogénéité de l'environnement dans lequel l'enfant réalise la tâche, il pourrait être pertinent d'accompagner le participant par visioconférence pour lui présenter les consignes et prendre en note les différents moments où il y a eu distraction pendant la réalisation de la tâche. Cette méthode peut toutefois sembler invasive puisque la chercheuse serait dans la maison de l'enfant (bien que virtuellement). Des considérations éthiques supplémentaires pourraient s'ajouter à cette façon de procéder.

En somme, cette étude aura tout de même permis de jeter un premier regard alliant différents champs d'étude - un premier portant sur le rôle du contrôle inhibiteur dans les apprentissages scolaires, un second sur l'effet de compatibilité - sur un objet de recherche jusqu'ici peu exploré : les interventions pour aider les élèves à mieux réussir des tâches scolaires mettant en jeu le contrôle inhibiteur. Les pages qui suivent présentent la conclusion de ce projet de recherche.

CONCLUSION

Le contrôle inhibiteur joue un rôle dans de multiples apprentissages scolaires qui sont difficiles parce qu'ils font l'objet d'une compétition entre un automatisme et le raisonnement approprié (Houdé et Borst, 2014 ; Vosniadou *et al.*, 2018). Étant donné la prévalence des difficultés associées à ces automatismes menant à des erreurs, il convient de mener des études pour vérifier l'effet d'interventions permettant d'aider les élèves à mieux réussir dans ce contexte. Cette étude s'inscrit à la suite d'autres études (Babai *et al.*, 2015 ; Babai *et al.*, 2016 ; Houdé *et al.*, 2000 ; Lubin et ses collaborateurs, 2012 ; Moutier *et al.*, 2002 ; Willame et Snauwaert, 2018) ayant testé l'effet d'interventions visant à aider les élèves à mieux réussir des tâches nécessitant le contrôle inhibiteur.

À l'instar de ce qui a été fait par Babai *et al.* (2016), dans cette étude, une tâche de comparaison mathématique a été utilisée pour tester l'effet de l'augmentation de la saillance d'une variable utile à la tâche sur la réussite et le temps de réponse d'élèves du primaire. La tâche de comparaison de nombres à deux chiffres a été choisie puisqu'elle est soumise à un effet de compatibilité, effet s'expliquant par la mobilisation du contrôle inhibiteur (Macizo, 2017). Soixante-huit élèves de deuxième année du primaire ont été répartis aléatoirement en deux groupes. Le groupe témoin a réalisé deux fois une tâche de comparaison de nombres à deux chiffres comprenant notamment des comparaisons de nombres de la condition incompatible et de la condition compatible. Le groupe expérimental a également réalisé deux fois cette tâche, à l'exception que pour la première, la saillance des dizaines était augmentée. Les tâches

ont été réalisées de la maison des élèves, à partir d'une plateforme de collecte de données en ligne (Gorilla.sc), de février à mai 2021.

Les résultats obtenus montrent que les comparaisons compatibles ont été mieux réussies que les conditions incompatibles pour les deux groupes aux deux tâches, mais que le groupe témoin a été significativement plus lent pour répondre aux comparaisons incompatibles par rapport à celles compatibles lors de la première tâche seulement. Les résultats réaffirment la présence de l'effet de compatibilité au niveau des taux de réussite, tel que déjà montré par plusieurs études autant chez l'adulte et que chez l'enfant (Macizo, 2017 ; Mann *et al.*, 2012 ; Mussolin et Noël, 2008 ; Nuerk *et al.*, 2001 ; Nuerk *et al.*, 2004). Les résultats suggèrent aussi un possible effet de la stratégie d'intervention sur les temps de réponse au premier temps de mesure seulement. Le fait qu'aucune différence significative n'ait été observée au deuxième temps de mesure laisse suggérer un possible effet d'habitation à la tâche pour les deux groupes. Ces constats sont faits avec prudence considérant les limites soulevées et le caractère exploratoire de cette étude. Il est par ailleurs suggéré que l'étude soit reproduite avec une tâche plus difficile ou auprès d'élèves plus jeunes, pour permettre un possible effet significatif de l'intervention sur les taux de réussite, qui étaient trop élevés pour des élèves de deuxième année. Il est aussi suggéré qu'un temps plus long soit laissé entre la réalisation des deux tâches, à l'instar de ce qui a été fait dans l'étude de Babai *et al.* (2016).

Un des principaux apports de cette étude est qu'elle constitue un premier pas vers la collecte de données en ligne et hors classe auprès d'élèves du primaire. Les défis rencontrés dans cette étude permettent de mettre de l'avant des considérations pour le recours à un tel type de collecte auprès de cette clientèle d'âge. Notamment, la collecte de données sur certaines variables pouvant influencer l'homogénéité de l'échantillon est suggérée. Que la réalisation des tâches soit faite par surveillance en visioconférence

et que des consignes soient fournies aux parents sont deux autres pistes à considérer pour des recherches futures recourant au même contexte.

Il importe également de rappeler le caractère somme toute novateur de cette étude. En effet, en s'appuyant sur des études provenant de domaines de recherche distincts, mais complémentaires, cette étude constitue un premier pas vers un champ de recherche alliant ces deux domaines : celui s'intéressant à l'effet de compatibilité lors de la comparaison de nombres et celui s'intéressant au rôle du contrôle inhibiteur à l'école. Le fait que cette étude soit une des premières à recourir à un contexte de collecte de données en ligne et hors classe auprès d'élèves du primaire ajoute au caractère novateur en permettant de proposer différentes pistes pour mener un tel type d'étude.

Finalement, des recherches futures permettront de mieux entrevoir la pertinence de la stratégie d'intervention générale qu'est l'augmentation de la saillance de la variable pertinente à une tâche. D'autres études sont requises pour valider cette stratégie d'intervention et enrichir encore davantage ce champ de recherche alliant la psychologie cognitive et l'éducation. Car ce n'est qu'en tirant profit des différents angles par lesquels un objet d'étude peut être observé qu'une description la plus fidèle de la réalité est possible.

ANNEXE A

CONTEXTE PANDÉMIQUE DE COVID-19 – MARS 2020 À MARS 2021

Ce document vise à détailler le contexte pandémique qui a mené aux changements apportés au protocole de recherche utilisé dans cette étude.

Il était initialement prévu que la collecte de données de ce projet de recherche ait lieu à l'automne 2020. Le plan initial était que l'étudiante chercheuse se rende dans les classes des participants avec des ordinateurs portables de l'équipe de recherche. Ces ordinateurs sont utilisés exclusivement pour faire faire des tâches via le logiciel *E-prime*, logiciel avéré pour la collecte de temps de réponse et de taux de réussite. L'étudiante se serait donc rendue dans les classes des participants avec ces ordinateurs et les participants auraient réalisé la tâche à partir de ces outils technologiques. L'étudiante (ou une assistante de recherche) aurait supervisé la réalisation de la tâche. La tâche avait d'ailleurs été montée sur le logiciel *E-prime* à l'hiver 2020. Le fait que les mêmes ordinateurs auraient été utilisés d'une classe à l'autre aurait certainement permis d'homogénéiser les données collectées. Le fait que la chercheuse (ou une assistante de recherche) aurait supervisé la réalisation des tâches par les enfants aurait permis d'éviter (ou de noter) les distractions potentielles ou, du moins, de décrire le contexte de collecte propre à chaque classe, voire à chaque enfant, afin d'en tenir compte lors des analyses. Différentes variables étaient donc contrôlées par cette façon initialement prévue de mener le protocole.

Or, au mois de mars 2020, le contexte pandémique lié à la COVID-19 a été confirmé par les autorités de santé publique, ce qui a mené à plusieurs impacts sur les plans

sociaux et économiques, et en particulier dans le milieu scolaire. En mars 2020, les écoles ont fermé pour une durée de 1 mois, mois au cours duquel les élèves ont fait de l'école à la maison pendant 2 semaines. Entre le retour en classe en avril et le mois de juin 2020, d'autres fermetures intermittentes ont eu lieu pour contrer les vagues² de la pandémie.

Pendant l'hiver et le printemps 2020, les écoles étaient fermées par intermittence. Les directions d'école et les personnes enseignantes, envahies par les multiples consignes sanitaires qui variaient d'une semaine (voire d'une journée) à l'autre, n'avaient que peu de temps et de disponibilités pour ouvrir leurs classes à des projets de recherche. Au vu de ce contexte, à l'été 2020, des plans B ont été conçus pour adapter le protocole au contexte pandémique. Non seulement il n'était pas possible de prévoir si les écoles allaient rouvrir à temps plein à l'automne 2020, mais il était difficile de prévoir si une fermeture n'allait pas survenir en cours de route. Il était également difficile de prévoir si les acteurs du milieu scolaire allaient être ouverts et disponibles à participer à des projets de recherche. Plusieurs options de protocole ont donc été réfléchies pendant l'été, incluant le fait de faire la transition de la collecte en ligne. Alors que toute la tâche était déjà créée sur e-prime, l'étudiante a dû s'approprier l'outil de collecte de données en ligne *Gorilla.sc* et y intégrer la tâche au cours de l'été, au cas où cette option serait à utiliser.

À la rentrée scolaire de l'automne 2020, les écoles étaient toujours en « mode survie », à attendre les prochaines consignes sanitaires tout en essayant de s'adapter plus que rapidement aux consignes actuelles. Le projet de recherche a donc été converti

² Le terme « vague » fait référence à une augmentation importante du nombre de cas de personnes atteintes de la COVID-19 au Québec. Plusieurs vagues ont eu lieu entre mars 2020 et mars 2021, la période qui nous intéresse ici.

entièrement en ligne. Cette transition en ligne permettait au projet d'avoir lieu peu importe si les écoles étaient fermées ou non puisque l'enfant réalisait la tâche de la maison. Cela permettait aussi de ne pas ajouter une tâche supplémentaire aux personnes enseignantes tout en s'assurant que la tâche était la moins lourde possible pour les parents, à la maison. Il n'était pas possible pour la chercheure, pour des raisons sanitaires, de se rendre d'une classe et d'une école à l'autre avec le même matériel. En effet, cela aurait pu contribuer à propager le virus d'un milieu à l'autre. Le protocole en ligne nous a donc semblé être l'option optimale **dans le contexte pandémique que nous vivions.**

Plusieurs ajustements ont donc été faits au protocole (voir figure 1), ce qui a nécessairement mené à certaines limites non prévues (voir figure 2).

Pandémie de COVID-19

▪ **Objectif de l'étude :**
Vérifier l'effet d'une intervention visant à augmenter la saillance de la variable pertinente sur les taux de réussite et temps de réponse à une tâche mathématique

▪ **Participants :** Élèves de 2^e année du primaire

▪ **Protocole prévu :**

- Contexte de réalisation : En classe → **À la maison**
- Supervision : Étudiante chercheure → **Parent**
- Outils de collecte : Ordinateurs portables de l'équipe → **Ordinateur (portable ou non) de maison**
- Tâches à réaliser à partir du logiciel E-prime 2.0 → **Gorilla™**

Ajustements imposés par la Covid-19
→ Modifications au protocole.

GORILLA

Figure 1. Figure tirée d'une communication faite à l'ACFAS en mai 2021 (Auclair, 2021). Les ajustements au protocole causés par la pandémie sont en mauve sur l'image.

Variables influençant les temps de réponse mesurés	Ajustement effectué
Qui réalise la tâche	• Limite
L'enfant réalise la tâche seul ou non	• Ajout de consignes
Distractions de l'environnement	• Ajout de consignes
Similitude de l'environnement physique d'un enfant à l'autre	• Limite
Moment de réalisation de la tâche	• Variable à contrôler (donnée disponible)
Type d'ordinateur, de navigateur et vitesse d'internet	• Choix de la plateforme • Ajout de consignes • Variables à contrôler (données disponibles)

Ajustements imposés par la Covid-19

→ Variables contrôlées et limites.

Figure 2. Figure tirée d'une communication faite à l'ACFAS en mai 2021 (Auclair, 2021). Les limites émergeant des ajustements au protocole initial sont les variables de la colonne de gauche. Une tentative pour les contrôler a été faite (voir colonne de droite).

Tel qu'attendu également, le recrutement a été ardu : peu de personnes enseignantes étaient disponibles pour participer à une recherche vu le contexte incertain dans lequel elles baignaient depuis plusieurs mois. Ce n'est qu'à partir de janvier 2021 qu'une certaine ouverture à participer au projet s'est fait sentir, des suites d'une conférence gratuite offerte en ligne au milieu scolaire. Ce n'est qu'après trois relances du recrutement que 68 élèves participants ont été trouvés. La collecte a finalement eu lieu à partir de février 2021, plusieurs mois après le début de l'année scolaire, moment de collecte initialement fixé.

ANNEXE B

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT



FORMULAIRE DE CONSENTEMENT Parent / représentant légal d'une personne mineure

Titre du projet de recherche

Augmenter la saillance d'une variable lors d'une tâche nécessitant du contrôle inhibiteur : effets sur la réussite

Étudiante-chercheuse

Alexandra Auclair, Candidate au doctorat en éducation

Téléphone : (418) 957-2746

Courriel : auclair.alexandra@courrier.uqam.ca

Comité de direction de recherche

Steve Masson, professeur au département de didactique de l'UQAM

Stéphane Cyr, professeur au département de mathématiques de l'UQAM

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

Certaines tâches scolaires sont difficiles parce que l'élève a tendance à utiliser spontanément certaines stratégies qui sont utiles dans d'autres contextes, mais qui le mènent à une erreur dans ce contexte. C'est la raison pour laquelle il doit apprendre à surmonter ces stratégies spontanées et à plutôt mettre en place d'autres stratégies qui lui permettront de réussir la tâche dont il est question. Ce projet vise à étudier comment aider les élèves à mieux réussir des tâches mathématiques qui nécessitent de surmonter certaines stratégies spontanées. Pour atteindre cet objectif, nous recruterons des élèves de deuxième année du primaire du Québec.

Nature et durée de la participation de votre enfant

Une fois que vous aurez retourné ce formulaire de consentement signé à l'enseignant(e) de votre enfant, celui-ci vous enverra le lien vers les tâches à réaliser en ligne ainsi que certaines consignes de base à suivre pour les réaliser. Votre enfant pourra compléter deux fois une tâche mathématique à partir de votre ordinateur de maison et sur le navigateur GoogleChrome. La participation de votre enfant ne devrait pas dépasser 20 minutes. Cette tâche mathématique met en jeu un concept de base en mathématique qui est au cœur du programme de formation en vigueur. Cette tâche est déjà connue de votre enfant puisqu'il a été amené à la réaliser dès la première année du primaire. La différence est qu'il devra, cette fois-ci, la réaliser par ordinateur.

Sachez que la participation à cette étude n'affecte en rien les résultats en mathématiques de votre enfant. Qu'il décide de ne pas participer, d'arrêter la tâche en cours de route ou de la faire jusqu'à la fin, cela n'aura aucune incidence sur ses résultats. Ses résultats à la tâche ne seront aucunement communiqués à son enseignant(e).

Avantages liés à la participation

Il se peut que votre enfant retire un bénéfice personnel de sa participation à ce projet de recherche, mais nous ne pouvons vous l'assurer. Par ailleurs, les résultats obtenus contribueront à l'avancement des connaissances scientifiques dans ce domaine de recherche. Votre enfant bénéficiera également d'une pratique de la tâche qu'il complètera pendant le projet, tâche qui est couramment réalisée en classe primaire.

Risques liés à la participation

En principe, aucun risque n'est lié à la participation de votre enfant à cette recherche outre le fait que les 20 minutes au cours desquelles il participera à l'étude ne seront pas consacrées directement à l'enseignement qu'il reçoit généralement.

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 à la chercheuse 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 alors détruites.

Confidentialité

Chaque participant se verra attribuer un code numérique. Seul l'âge, le genre et le fait qu'il est droitier ou gaucher seront demandés à votre enfant au moment de réaliser la tâche. À aucun moment, il n'aura à donner son nom. Les données seront donc anonymes.

Les données recueillies lors de la réalisation des tâches seront associées à ce code numérique sur la plateforme Web dans une session à laquelle seule l'étudiante-chercheuse n'a accès et seront conservées dans un dossier électronique protégé par mot de passe. Ce dossier électronique sera placé dans un ordinateur, dans un bureau fermé à clé, à l'Université du Québec à Montréal, auquel seule la chercheuse responsable ainsi que son comité de direction auront accès.

Les données collectées seront diffusées sous la forme d'une thèse, d'articles et de communications.

L'ensemble de ces données seront conservées pour une durée maximale de 5 ans après la date de parution de la dernière publication qui y sera associée. Les données numériques seront ensuite supprimées du disque dur de l'ordinateur de sorte qu'il n'en reste plus aucune trace. Les données papier seront quant à elles déchetées.

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 la personne responsable du projet : Alexandra Auclair (418-957-2746, auclair.alexandra@courrier.uqam.ca). Directeur de recherche : Steve Masson, professeur à l'UQAM (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 au plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains ou pour formuler une plainte, vous pouvez contacter la coordination du CERPE plurifacultaire : cerpe-pluri@uqam.ca, 514-987 3000, poste 6188.

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.

Une copie signée de ce formulaire d'information et de consentement doit m'être remise.

Prénom Nom du représentant légal

Date

Signature

Adresse courriel et numéro de téléphone

Prénom Nom de l'enfant

Assentiment écrit de l'enfant capable de comprendre la nature du projet

Date

Engagement du chercheur

Je, soussigné(e) certifie

- (a) avoir répondu aux questions du signataire qu'il m'a posées à l'égard du présent formulaire ;
- (b) 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 ;
- (c) que je lui remettrai une copie signée et datée du présent formulaire.

Prénom Nom

Signature

Date

ANNEXE C

AUTORISATION PARENTALE



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

Dans le cadre d'une thèse en éducation de l'*Université du Québec à Montréal*, un projet est mené et vise à étudier comment aider les élèves à mieux réussir certaines tâches mathématiques.

Si vous acceptez de participer à cette étude, votre enfant sera invité à réaliser deux tâches mathématiques à partir d'un ordinateur pour une durée totale de 20 minutes. Avec votre accord, votre enfant pourra réaliser les deux tâches mathématiques individuellement sur votre ordinateur de maison.

Les tâches qu'il sera invité à réaliser porteront sur un concept mathématique issu du programme scolaire officiel. Il s'agit donc de tâches qu'il a déjà l'habitude de réaliser, en format papier.

Les données recueillies nous permettront d'évaluer un moyen d'aider votre enfant à mieux réussir ce type de tâche mathématique. Ces données pourraient être utilisées à des fins d'analyse ou de publication. En aucun cas, il ne sera possible d'associer les données de votre enfant à son nom. Le tout se fera de manière complètement anonyme et volontaire.

Nous joignons à ce document le formulaire de consentement du projet de recherche. 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, votre enfant à participer à cette étude. Le lien pour accéder aux tâches ainsi que des consignes pour la réalisation vous seront transmis par l'enseignant(e) de votre enfant par retour de ce formulaire.

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

Alexandra Auclair
Doctorante en éducation
auclair.alexandra@courrier.uqam.ca
(418) 957-2746

Sous la direction des professeurs *Steve Masson et Stéphane Cyr*
Steve Masson
Directeur de recherche et professeur à l'UQAM
masson.steve@uqam.ca
(514) 987-3000, poste 5502

Stéphane Cyr
Codirecteur de recherche et professeur à l'UQAM
cyr.stephane@uqam.ca
(514) 987-3000 poste 4475

ANNEXE D
CONSIGNES AUX PARENTS DES PARTICIPANTS

Consignes pour la réalisation de la tâche à la maison

Madame, Monsieur,

Si vous recevez ces consignes, c'est que vous avez accepté de participer à notre étude. Merci !

Votre enfant aura à compléter deux fois une tâche mathématique en ligne. Les deux tâches seront réalisées une à la suite de l'autre. Une pause de 1 minute sera chronométrée entre les deux tâches.

Lorsque vous serez prêts à débiter les tâches, voici quelques consignes à respecter :

1. Installer l'enfant devant un **ordinateur de la maison** (attention ! Ne pas utiliser de tablette ni de téléphone cellulaire pour réaliser les tâches. Il peut toutefois s'agir d'un ordinateur portable).
2. Vous assurer que votre enfant est dans un **endroit tranquille**, dans lequel il y a le moins de bruit et de distraction possible. Cela facilitera sa concentration. (Si l'endroit où se trouve l'ordinateur est plus ou moins tranquille, vous pourriez inviter votre enfant à mettre des bouchons sur ses oreilles pour éviter que le bruit ne le distraie.)
3. Vous assurer que votre enfant **a tout le temps nécessaire** devant lui : la participation totale devrait prendre environ 25 minutes (elle ne devrait pas excéder approximativement 45 minutes).
4. Votre enfant aura besoin d'utiliser les touches de clavier **Y** et **N**. Lui montrer ces touches sur le clavier.
5. Ouvrir le navigateur internet **Google Chrome**. Il s'agit du navigateur fonctionnant le mieux avec la plateforme utilisée dans cette étude. Si ce n'est pas possible, vous pouvez utiliser un autre navigateur.
6. **Copier-coller** ce lien dans la barre de navigation pour accéder aux tâches à réaliser en ligne :
<https://research.sc/participant/login/dynamic/2C58DE07-FF5F-407E-9B7C-A279C5C42663>
 - a. Il vous sera d'abord demandé de donner à **nouveau votre consentement** à ce que votre enfant participe à cette étude (voir figure 1).
 - b. Votre enfant devra ensuite préciser **son âge, son genre et s'il est gaucher ou droitier** (voir figure 2). Il lui sera aussi demandé s'il est à la maison et s'il est au Québec.

- c. Une fois ces informations données, votre enfant pourra **débuter les tâches, seul(e)**. Les instructions pour les réaliser seront écrites à l'écran, mais seront aussi disponibles au format audio, en haut de l'écran, à droite (voir figure 3).
7. Votre enfant doit réaliser les tâches **seul(e), sans aide**.
 8. Rassurer votre enfant : son résultat ne sera aucunement transmis à son enseignant(e). De plus, je ne connaîtrai aucunement son nom. Tout ce qui importe, c'est qu'il/elle fasse la tâche **du mieux qu'il/elle le peut et le plus rapidement possible**.
 9. Votre enfant **peut s'arrêter à tout moment** : dans ce cas, les données seront effacées et sa participation à l'étude sera retirée sans qu'aucune justification ne lui soit demandée.
 10. Une fois que votre enfant aura **terminé la tâche**, un code apparaîtra à l'écran (voir figure 4). Conservez ce code. Si vous souhaitez retirer la participation de votre enfant à l'étude, vous pourrez communiquer ce code à l'enseignant(e) de votre enfant. Celui-ci ou celle-ci me le transmettra afin que je supprime définitivement les données liées à ce code.

Un énorme merci, à vous et à votre enfant, de l'intérêt porté à cette étude.

N'hésitez pas à me contacter pour toute question !

Bien cordialement,

Alexandra Auclair

Candidate au doctorat en éducation à l'UQAM

Auclair.alexandra@courrier.uqam.ca

(418) 957-2746

Steve Masson

Directeur de recherche et professeur à l'UQAM

masson.steve@uqam.ca

(514) 987-3000, poste 5502

Stéphane Cyr

Codirecteur de recherche et professeur à l'UQAM

cyr.stephane@uqam.ca

(514) 987-3000 poste 4475

Consentement à participer à cette étude

Pour le parent ou tuteur de l'enfant

J'ai lu et signé le formulaire de consentement de cette étude fourni par l'enseignant ou l'enseignante de mon enfant. Je consens à ce que mon enfant participe à cette étude.

Pour l'enfant

J'accepte de participer à cette étude. :)

Consignes (à lire à haute voix à l'enfant)

Je suis installé(e) dans un **endroit tranquille** dans lequel je peux bien me concentrer.

J'ai tout le **temps** nécessaire pour faire la tâche.

Je réalise la tâche **seul(e)** sans aide.

[Next](#)

Figure 1. Voici le premier écran qui apparaîtra en cliquant sur le lien de la tâche en ligne. Il faudra cocher toutes les cases afin de pouvoir continuer. Une fois les cases cochées, cliquer sur « Next ».

Merci d'avoir accepté de participer à cette étude! Avant de commencer, j'aurais besoin de connaître quelques informations à ton sujet.

Quel âge as-tu?

7 ans
 8 ans
 9 ans

Tu es...

une fille
 un garçon

Tu es...

gaucher ou gauchère
 droitier ou droitière
 autre

[Next](#)

Figure 2. Voici le deuxième écran de la tâche en ligne. L'enfant doit sélectionner son âge, son genre et s'il est gaucher ou droitier.

Instructions

Les instructions seront écrites ici.

[▶ Play](#)

Pour écouter les instructions au format audio, l'enfant pourra cliquer ici.

[Continuer](#)

Figure 3. Voici le troisième écran qui va apparaître. Les instructions audio sont disponibles en cliquant sur « Play », en haut à droite de l'écran.

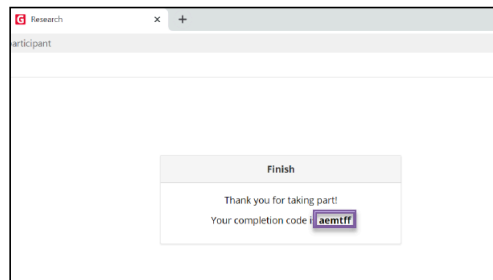


Figure 4. Voici le dernier écran de la tâche. C'est sur cet écran qu'apparaîtra le code de participation à conserver (encadré en mauve sur l'image). Après avoir noté ce code, vous pourrez fermer la fenêtre du navigateur.

ANNEXE E

DÉTAILS CONCERNANT LES TÂCHES

Les tâches régulière et intervention utilisées pour collecter les données lors de cette thèse sont une adaptation de la tâche de Macizo (2017). La tâche régulière et la tâche intervention sont équivalentes à une exception près : les chiffres à la position des dizaines de la tâche intervention ont une taille physique 1,3 fois plus grande que les chiffres à la position des unités.

Déroulement global des deux tâches pour chaque participant

Au moment de la collecte des données, chaque participant a eu à réaliser deux tâches une à la suite de l'autre (voir figure 4). Un total de 15 minutes était attendu pour la réalisation des deux tâches. Les élèves du groupe témoin ont réalisé deux fois la tâche régulière. Les élèves du groupe expérimental ont réalisé la tâche intervention, suivie de la tâche régulière. Le déroulement s'est fait comme suit. En entrant sur le logiciel :

1. Une première fenêtre apparaît qui rappelle les consignes et demande au parent et à l'enfant de consentir à nouveau à participer à l'étude (figure 1). Une deuxième fenêtre demande au participant son âge, son sexe et sa latéralité (figure 2).

Consentement à participer à cette étude

Pour le parent ou tuteur de l'enfant

J'ai lu et signé le formulaire de consentement de cette étude fourni par l'enseignant ou l'enseignante de mon enfant. Je consens à ce que mon enfant participe à cette étude.

Pour l'enfant

J'accepte de participer à cette étude. :)

Consignes (à lire à haute voix à l'enfant)

Je suis installé(e) dans un **endroit tranquille** dans lequel je peux bien me concentrer.

J'ai tout le **temps** nécessaire pour faire la tâche.

Je réalise la tâche **seul(e)** sans aide.

Je fais **du mieux** que je peux et le **plus vite** que je peux.

[Next](#)

Figure 1. Première fenêtre apparaissant au moment de cliquer sur le lien de la tâche en ligne.

Merci d'avoir accepté de participer à cette étude! Avant de commencer, j'aurais besoin de connaître quelques informations à ton sujet.

Quel âge as-tu?

6 ans
 7 ans
 8 ans
 9 ans

Tu es...

une fille
 un garçon
 je préfère ne pas répondre

Tu es...

gaucher ou gauchère
 droitier ou droitière
 autre

Next

Figure 2. Deuxième fenêtre apparaissant une fois le consentement à participer à l'étude donné sur la fenêtre précédente.

2. Les consignes sont ensuite données au participant. Les consignes sont les suivantes :

▶ Play

Instructions

Dans cette tâche, deux nombres apparaîtront un au-dessus de l'autre. Tu dois décider lequel des deux est le plus grand.
 Par exemple, si tu vois :

34
 59

Le plus grand nombre est celui du bas (59). Tu dois appuyer le plus rapidement possible, mais sans faire d'erreurs :

- sur le Y si le nombre du haut est le plus grand et ;
- sur le N si le nombre du bas est le plus grand.

Dans l'exemple, il faudrait donc appuyer sur le N puisque 59 est le nombre du bas.
 Débutons par quelques essais !

Figure 3. Capture d'écran des instructions pré-essais sur Gorilla.sc

3. Suite à la lecture des consignes, le participant réalise quatre essais. Le participant doit comparer huit couples de nombres à deux chiffres et identifier, pour chaque couple, celui qui est le plus grand. Ces essais servent à ce que le participant se pratique à utiliser les touches Y et N du clavier.

4. Une fois que le participant a complété les essais, les consignes lui sont rappelées :

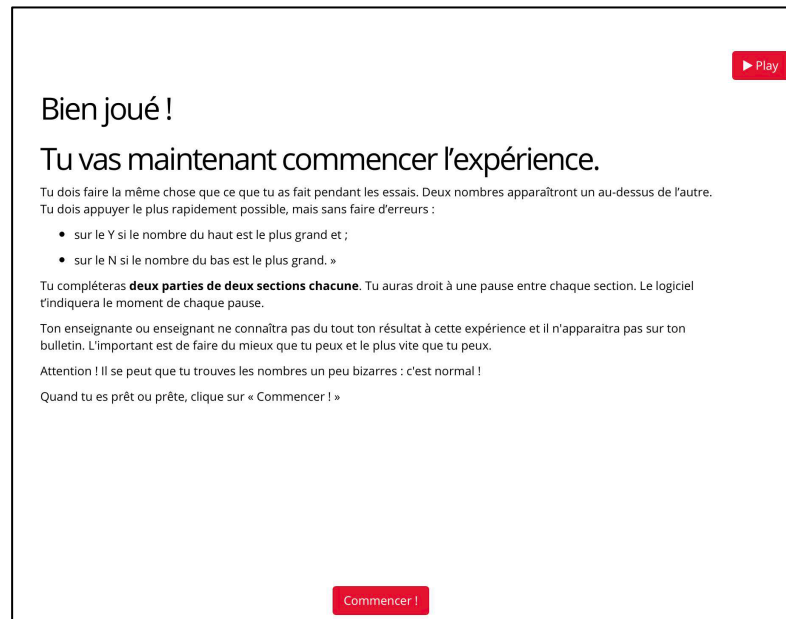


Figure 4. Capture d'écran des instructions de la tâche après les essais sur Gorilla.sc. Les deux parties réfèrent aux deux tâches.

Ces premières étapes du déroulement sont exactement les mêmes pour tous les participants. C'est au moment de débiter la première tâche que les participants sont répartis aléatoirement dans l'un ou l'autre des groupes (témoin et expérimental). Effectivement, à partir de la prochaine étape, le logiciel détermine, de façon aléatoire, si le participant complètera la tâche intervention ou la tâche régulière (voir figure 5).

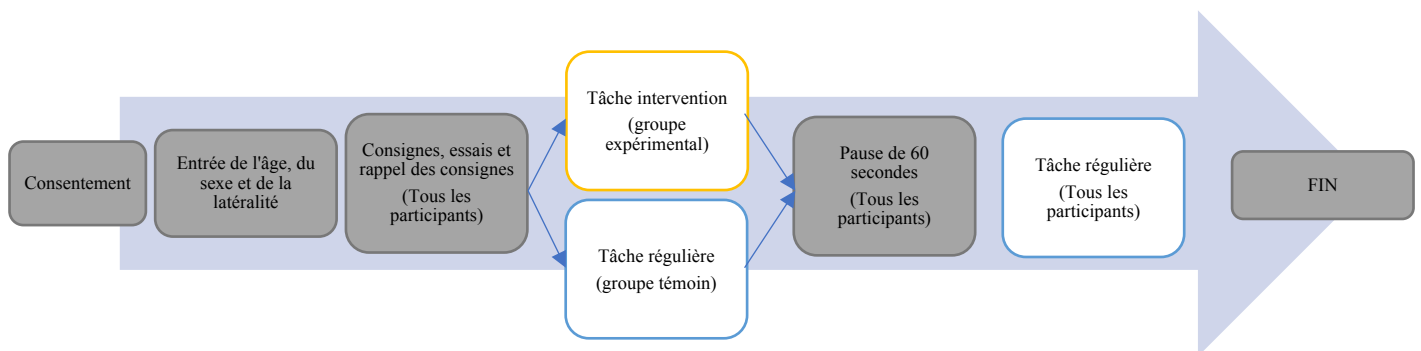


Figure 5. Déroulement global des deux tâches pour tous les participants.

5. La première tâche (intervention ou régulière, déterminée par le logiciel) débute.
6. Une pause de 60 secondes est laissée aux participants suite à la réalisation de la première tâche.
7. La deuxième tâche débute. Cette fois-ci, il s'agit, pour les deux groupes, de la tâche régulière.
8. Fin de la collecte des données.

Structure et déroulement de chaque tâche

Macizo (2017) a formé des listes équivalentes de couples de nombres à comparer (voir pages 115 et 116). Pour cette thèse, les listes ont été réduites. Chaque liste (A et B) est constituée de 48 blocs répartis en 2 sections. Une tâche est constituée de l'une ou l'autre de ces listes. La liste est déterminée aléatoirement dès le début de la collecte de données par le logiciel. Chaque tâche comporte donc deux sections formées de 24 blocs (voir figure 6). Les sections sont séparées par un temps de pause de 30 secondes : un compte à rebours de 27 secondes précédait l'affichage d'un écran avec croix de fixation pour 3 secondes.

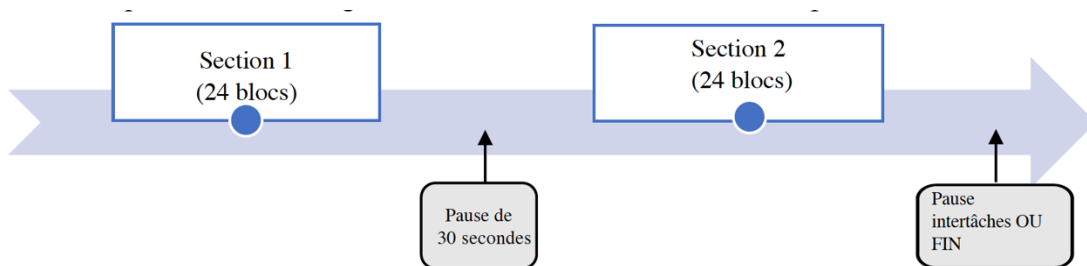


Figure 6. Structure et déroulement d'une tâche. Chaque tâche comprend deux sections de 24 blocs séparées par une pause de 30 secondes.

Le déroulement temporel de chacun des 48 blocs d'une tâche est le suivant (voir figure 7). Les blocs débutent par un écran vierge qui apparaît pour une durée de 500 ms. Un premier couple de nombres à comparer apparaît par la suite. Lorsque l'élève a choisi le plus grand nombre, un deuxième écran vierge apparaît pour une durée de 500 ms. Un deuxième couple de nombres à comparer apparaît par la suite. Un dernier écran vierge apparaît pour une durée de 1000 ms dès que l'élève a déterminé lequel des deux nombres est le plus grand. Ce déroulement est le même pour l'ensemble des blocs de la tâche.

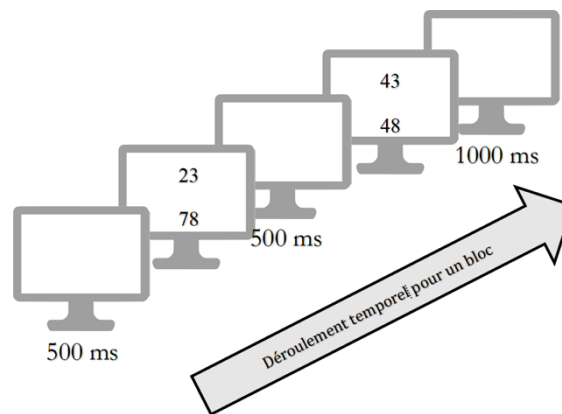


Figure 7. Déroulement d'un bloc. Chaque tâche contient 2 sections de 24 blocs.

Caractéristiques des nombres composant les blocs

Les blocs expérimentaux sont formés de la façon suivante :

- Un premier couple de nombres présente deux chiffres différents à la position des dizaines. Ce couple de nombre est soit de la condition compatible, soit de la condition incompatible.
- Un deuxième couple de nombres présente le même chiffre à la position des dizaines. Il est soit de la condition « liée » (ses unités sont les mêmes que celles du premier couple de nombres) ; soit « non liée » (ses unités ne sont pas les mêmes que celles du premier couple de nombres).

Les blocs contrôles sont insérés à différents endroits parmi les blocs expérimentaux afin que le participant ne s'habitue pas à la tâche. Ces blocs sont formés de la façon suivante :

- 2 de ces blocs sont formés de deux paires de nombres ayant le même chiffre à la position des dizaines ;
- 2 de ces blocs sont formés d'une paire de nombres ayant le même chiffre à la position des dizaines suivie d'une paire de nombres de la condition compatible ;
- 2 de ces blocs sont formés d'une paire de nombres ayant le même chiffre à la position des dizaines suivie d'une paire de nombres de la condition incompatible ;
- 1 de ces blocs est formé de deux paires de nombres de la condition Incompatible ;
- 1 de ces blocs est formé d'une paire de nombres de la condition compatible suivie d'une paire de nombres de la condition incompatible.

L'ensemble des blocs constituant chacune des deux listes (A et B) sont présentés aux deux pages suivantes, respectivement. Voici quelques précisions concernant ces listes :

- Les blocs de la première section de la tâche sont identifiés « 1 » dans la colonne « randomise_trials » et nommés « Essais contrôles » dans la colonne « display ». Ceux de la deuxième section sont identifiés « 2 » et « Essais contrôles 2 ».
- Les nombres du haut du premier couple d'un bloc sont placés dans la colonne E1N1 ; les nombres du bas du premier couple d'un bloc sont placés dans la colonne E1N2.
- Les nombres du haut du deuxième couple d'un bloc sont placés dans la colonne E2N1 ; les nombres du bas du deuxième couple d'un bloc sont placés dans la colonne E2N2.
- Les colonnes « Reponse 1 » et « Reponse 2 » identifient la bonne réponse à la comparaison du premier couple et du deuxième couple de chaque bloc, respectivement.
- La colonne « condition » identifie la condition à laquelle chaque bloc appartient.
- Les blocs expérimentaux sont identifiés par un numéro de 1 à 4 :
 1. Premier couple **compatible** ; 2^e couple **lié** ;
 2. Premier couple **compatible** ; 2^e couple **non-lié** ;
 3. Premier couple **incompatible** ; 2^e couple **lié** ;
 4. Premier couple **incompatible** ; 2^e couple **non-lié**.
- Les blocs contrôles sont surlignés en vert et identifiés « ctrl ».

Parmi les 48 blocs d'une tâche, 40 sont des blocs expérimentaux et 8 sont des blocs contrôles. Tous les blocs sont formés de deux couples de nombres à comparer.

Bonne réponse à la comparaison de l'essai 1

Les premiers deux nombres à comparer du bloc

Le deuxième couple de nombres à comparer du bloc

Bonne réponse à la comparaison de l'essai 2

LISTE A réduite

randomise_trials	display	Reponse1	E1N1	E1N2	E2N1	E2N2	Reponse2	Condition
1	Essais contrôles	n	82	95	35	32	y	1
1	Essais contrôles	n	47	58	63	62	y	2
1	Essais contrôles	y	97	36	58	52	y	2
1	Essais contrôles	n	64	87	37	34	y	1
1	Essais contrôles	y	75	24	98	93	y	2
1	Essais contrôles	n	83	94	26	21	y	2
1	Essais contrôles	y	64	23	87	81	y	2
1	Essais contrôles	n	34	58	64	68	n	1
1	Essais contrôles	y	79	34	24	29	n	1
1	Essais contrôles	n	32	46	52	56	n	1
1	Essais contrôles	n	53	62	53	81	n	ctrl
1	Essais contrôles	n	83	88	43	47	n	ctrl
1	Essais contrôles	y	38	32	59	42	y	ctrl
1	Essais contrôles	y	68	61	28	36	n	ctrl
1	Essais contrôles	n	38	61	24	27	n	4
1	Essais contrôles	n	58	67	39	32	y	4
1	Essais contrôles	n	29	43	81	86	n	4
1	Essais contrôles	n	45	71	81	85	n	3
1	Essais contrôles	y	91	26	41	46	n	3
1	Essais contrôles	y	84	27	67	64	y	3
1	Essais contrôles	n	39	56	79	76	y	3
1	Essais contrôles	y	87	49	65	62	y	4
1	Essais contrôles	n	74	93	28	26	y	4
1	Essais contrôles	n	65	92	75	72	y	3
	Fin							
2	Essais contrôles 2	n	21	35	91	95	n	1
2	Essais contrôles 2	n	42	56	92	96	n	1
2	Essais contrôles 2	n	62	78	54	59	n	2
2	Essais contrôles 2	n	42	58	71	73	n	2
2	Essais contrôles 2	n	21	39	65	68	n	2
2	Essais contrôles 2	y	96	34	56	54	y	1
2	Essais contrôles 2	n	24	39	64	69	n	1
2	Essais contrôles 2	n	32	58	46	49	n	2
2	Essais contrôles 2	n	62	89	35	37	n	2
2	Essais contrôles 2	y	98	53	63	68	n	1
2	Essais contrôles 2	y	83	71	29	75	n	ctrl
2	Essais contrôles 2	n	86	87	88	42	y	ctrl
2	Essais contrôles 2	n	32	36	85	93	n	ctrl
2	Essais contrôles 2	y	97	93	73	74	n	ctrl
2	Essais contrôles 2	n	49	61	83	87	n	4
2	Essais contrôles 2	n	68	91	43	45	n	4
2	Essais contrôles 2	n	67	93	23	27	n	3
2	Essais contrôles 2	y	75	38	98	95	y	3
2	Essais contrôles 2	y	95	48	28	25	y	3
2	Essais contrôles 2	y	83	29	71	76	n	4
2	Essais contrôles 2	y	91	47	35	36	n	4
2	Essais contrôles 2	n	59	87	39	37	y	3
2	Essais contrôles 2	n	27	53	93	97	n	3
2	Essais contrôles 2	n	27	46	59	53	y	4
	Fin2							

Blocs de la première partie de chaque tâche faite par les participants.

Blocs de la deuxième partie de la tâche faite par les participants.

Condition des blocs
 (1.compatible-lié ; 2.
 Compatible-non-lié ; 3.
 Incompatible-lié ; 4.
 Incompatible-non-lié ; ctrl :
 contrôles)

LISTE B réduite								
randomise_trials	display	Reponse1	E1N1	E1N2	E2N1	E2N2	Reponse2	Condition
1	Essais contrôles	n	27	59	84	83	y	2
1	Essais contrôles	n	53	79	23	29	n	1
1	Essais contrôles	n	36	48	78	76	y	1
1	Essais contrôles	y	96	34	58	52	y	2
1	Essais contrôles	n	43	75	28	21	y	2
1	Essais contrôles	y	87	24	35	31	y	2
1	Essais contrôles	y	79	23	83	89	n	1
1	Essais contrôles	n	31	58	91	98	n	1
1	Essais contrôles	y	92	31	62	61	y	1
1	Essais contrôles	y	78	35	64	62	y	2
1	Essais contrôles	y	41	23	82	59	y	ctrl
1	Essais contrôles	n	95	99	33	31	y	ctrl
1	Essais contrôles	y	86	83	34	68	n	ctrl
1	Essais contrôles	y	57	54	93	47	y	ctrl
1	Essais contrôles	n	59	74	31	32	n	4
1	Essais contrôles	n	59	81	31	39	n	3
1	Essais contrôles	n	73	91	68	62	y	4
1	Essais contrôles	y	91	37	21	27	n	3
1	Essais contrôles	n	39	65	21	27	n	4
1	Essais contrôles	y	85	26	76	75	y	3
1	Essais contrôles	n	32	41	52	51	y	3
1	Essais contrôles	y	91	46	52	53	n	4
1	Essais contrôles	y	82	37	64	65	n	4
1	Essais contrôles	n	29	47	59	57	y	3
	Fin							
2	Essais contrôles 2	n	62	93	43	42	y	1
2	Essais contrôles 2	n	64	87	35	32	y	2
2	Essais contrôles 2	y	96	31	52	57	n	2
2	Essais contrôles 2	n	42	56	91	98	n	2
2	Essais contrôles 2	y	86	31	47	49	n	2
2	Essais contrôles 2	n	34	58	62	69	n	2
2	Essais contrôles 2	n	21	38	71	78	n	1
2	Essais contrôles 2	y	97	51	21	27	n	1
2	Essais contrôles 2	y	69	21	81	89	n	1
2	Essais contrôles 2	n	71	83	23	21	y	1
2	Essais contrôles 2	y	83	71	29	75	n	ctrl
2	Essais contrôles 2	n	86	87	88	42	y	ctrl
2	Essais contrôles 2	n	32	36	85	93	n	ctrl
2	Essais contrôles 2	y	97	93	73	74	n	ctrl
2	Essais contrôles 2	y	81	36	25	29	n	4
2	Essais contrôles 2	n	46	71	95	98	n	4
2	Essais contrôles 2	n	29	43	83	89	n	3
2	Essais contrôles 2	y	92	43	53	52	y	3
2	Essais contrôles 2	y	83	29	73	79	n	3
2	Essais contrôles 2	n	65	92	73	71	y	4
2	Essais contrôles 2	y	84	39	52	57	n	4
2	Essais contrôles 2	y	67	28	58	57	y	3
2	Essais contrôles 2	n	39	58	49	48	y	3
2	Essais contrôles 2	n	67	93	24	25	n	4
	Fin2							

Les figures 8 à 11 présentent d'autres fenêtres de la tâche sur Gorilla.sc.



Figure 8. Écran apparaissant avant le début des essais informant l'élève qu'il doit maintenant être seul.

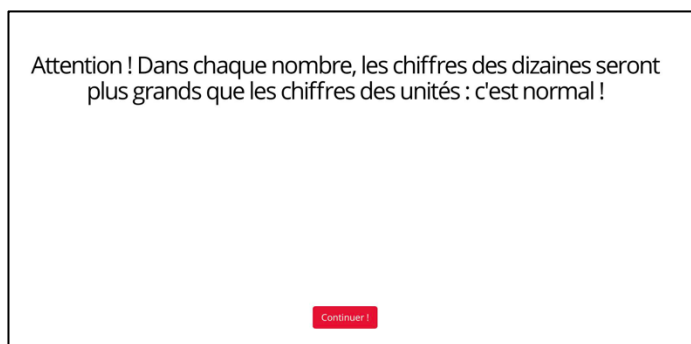


Figure 9. Écran apparaissant avant le début de la tâche expérimental afin de prévenir l'élève qu'il trouvera les nombres un peu différents de ce qu'il est habitué de voir.

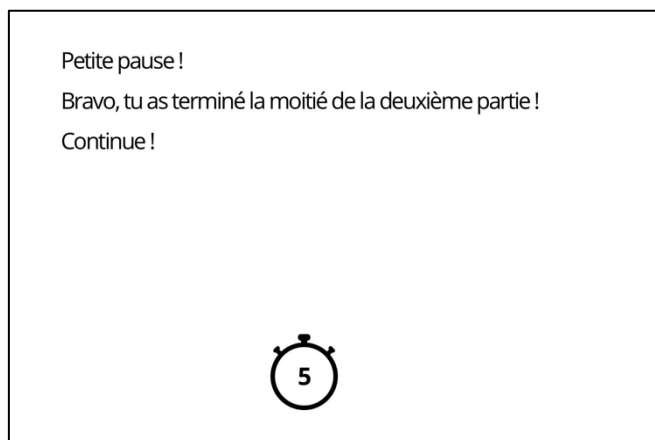


Figure 10. Écran de pause apparaissant après la première section de la deuxième tâche (nommée partie pour l'élève). Les autres écrans de pause (après la première section de la tâche 1 et après la tâche 1) sont similaires.

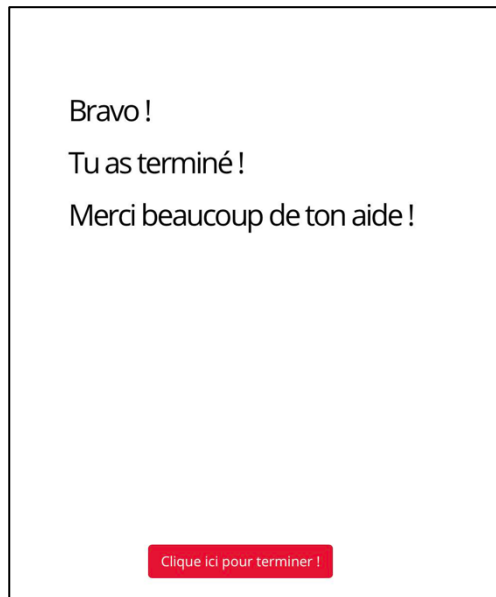


Figure 11. Écran de fin apparaissant après la deuxième tâche pour tous les participants.

ANNEXE F

CERTIFICAT ÉTHIQUE

UQAM | Comités d'éthique de la recherche
avec des êtres humains

No. de certificat: 4099
Certificat émis le: 15-06-2020

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE plurifacultaire) a examiné le projet de recherche suivant et le juge conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par la *Politique No 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains* (Janvier 2016) de l'UQAM.

Titre du projet:	Augmenter la saillance d'une variable lors d'une tâche nécessitant du contrôle inhibiteur : effets sur la réussite
Nom de l'étudiant:	Alexandra AUCLAIR
Programme d'études:	Doctorat en éducation
Direction de recherche:	Steve MASSON
Codirection:	Stéphane CYR

Modalités d'application

Toute modification au protocole de recherche en cours de même que tout événement ou renseignement pouvant affecter l'intégrité de la recherche doivent être communiqués rapidement au comité.

La suspension ou la cessation du protocole, temporaire ou définitive, doit être communiquée au comité dans les meilleurs délais.

Le présent certificat est valide pour une durée d'un an à partir de la date d'émission. Au terme de ce délai, un rapport d'avancement de projet doit être soumis au comité, en guise de rapport final si le projet est réalisé en moins d'un an, et en guise de rapport annuel pour le projet se poursuivant sur plus d'une année. Dans ce dernier cas, le rapport annuel permettra au comité de se prononcer sur le renouvellement du certificat d'approbation éthique.



Raoul Graf
Président du CERPE plurifacultaire
Professeur, Département de marketing

ANNEXE G

ANALYSES SUPPLÉMENTAIRES

Le recours au paradigme de Macizo (2017) permet de présenter de données supplémentaires. Les tableaux 1 et 2 présentent à nouveau les données descriptives des deux groupes, mais cette fois-ci avec l'ajout des temps de réponse et taux de réussite au deuxième essai des deux tâches. La présentation des résultats du deuxième essai est fait selon que cet essai a été fait après la condition compatible ou après la condition incompatible. Les résultats pour les conditions liée et non-liée sont présentés. Ainsi, les résultats du deuxième essai se présentent en quatre sous-conditions :

1. Après compatible
 - a. Condition liée
 - b. Condition non-liée
2. Après incompatible
 - a. Condition liée
 - b. Condition non-liée

Tableau 1. Moyennes du taux de réussite pour chacune des quatre conditions des deux tâches effectuées, selon le groupe

	1 ^{ère} tâche (régulière (témoin) ou intervention (expérimental))		2 ^e tâche (régulière)	
	Moy.	E.-T.	Moy.	E.-T.
Témoin				
Premier essai				
Compatible	96,094	8,6426	96,022	10,3742
Incompatible	91,909	9,2936	93,244	7,8536
Deuxième essai				
Après compatible				
Liée	93,359	13,2105	92,244	11,9809
Non-liée	93,422	8,9628	93,769	10,0149
Après incompatible				
Liée	91,659	13,2966	89,725	11,2498
Non-liée	93,266	10,5964	92,534	15,7024
Expérimental				
Premier essai				
Compatible	96,775	4,5374	97,097	5,2879
Incompatible	91,969	8,6850	91,278	8,9621
Deuxième essai				
Après compatible				
Liée	95,094	6,8020	95,772	10,0042
Non-liée	96,483	9,2158	95,589	7,7054
Après incompatible				
Liée	92,781	10,0158	90,922	13,6709
Non-liée	95,428	8,0907	93,419	12,8442

Les données descriptives présentées dans le tableau 1 sont fidèles à celles observées par Macizo (2017) auprès d'adultes. Effectivement, pour les deux groupes et pour les deux tâches, les comparaisons suivant la condition incompatible sont moins bien réussies que celles suivant la condition compatible. De plus, la condition après incompatible-liée est moins bien réussie que la condition après compatible-liée dans les deux tâches et auprès des deux groupes. Une ANOVA à mesure répétée sur les données de la première tâche montre qu'aucune différence n'est statistiquement significative que ce soit selon la condition, le groupe ou pour l'interaction entre le groupe et la condition. Pour la deuxième tâche, seul l'effet de la condition est statistiquement significatif ($F(1,66) = 3,394, p = 0,021$).

Le tableau 2 est présenté sur la prochaine page.

Tableau 2. Moyennes de temps de réponse (en secondes) aux comparaisons réussies pour chacune des quatre conditions des deux tâches effectuées, selon le groupe

	1 ^{ère} tâche (régulière (témoin) ou intervention (expérimental))		2 ^e tâche (régulière)	
	Moy.	E.-T.	Moy.	E.-T.
Témoin				
Premier essai				
Compatible	2,2249	0,83839	2,2520	1,08336
Incompatible	2,4108	1,08540	2,2448	0,84855
Deuxième essai				
Après compatible				
Liée	2,444	1,101	2,229	0,8214
Non-liée	2,275	0,7459	2,208	0,7129
Après incompatible				
Liée	2,445	0,9221	2,308	0,7673
Non-liée	2,376	0,6315	2,238	0,6699
Expérimental				
Premier essai				
Compatible	2,2198	1,01758	2,2801	1,33561
Incompatible	2,1788	0,92365	2,2731	1,41148
Deuxième essai				
Après compatible				
Liée	2,2178	0,6542	2,2057	1,0599
Non-liée	2,1879	0,8069	2,1943	0,9582
Après incompatible				
Liée	2,4151	0,9809	2,3082	1,3236
Non-liée	2,3718	0,8426	2,3264	1,2873

Les résultats présentés dans le tableau 2 sont en partie fidèles à ceux obtenus par Macizo (2017) auprès d'adultes. Effectivement, les essais qui ont suivi la condition incompatible ont été globalement plus longs à comparer que ceux suivant la condition compatible. Pour les deux groupes, la condition incompatible-liée a été plus lente à comparer que la condition compatible-non-liée dans les deux tâches. Dans les essais qui ont suivi la condition incompatible, la condition liée a été plus lente à comparer que la condition non-liée. Cette dernière observation est vraie pour les deux tâches du groupe témoin, mais pour une seule tâche du groupe expérimental, soit la première. Des analyses inférentielles (ANOVAs à mesures répétées) ont permis de vérifier si ces différences observées dans les données descriptives étaient statistiquement significatives. Les résultats montrent que, pour la première tâche, seul l'effet de la condition est statistiquement significatif ($F(1,66) = 3,437$, $p = 0,021$). Aucune différence n'est statistiquement significative pour la deuxième tâche.

Globalement, ces analyses supplémentaires permettent d'avancer que cette étude reproduit qualitativement les données observées par Macizo (2017) à différents égards, tel que décrit ci-haut. D'un point de vue statistique, comparer les nombres après la condition incompatible a été plus long - lors de la première tâche seulement - et plus difficile - lors de la deuxième tâche seulement - que de comparer les nombres après la condition compatible. L'effet d'inhibition observé par Macizo (2017) est donc reproduit en partie auprès des enfants de cette étude. Ces conclusions sont tirées avec prudence considérant le peu de résultats statistiquement significatifs obtenus suite à ces analyses supplémentaires.

RÉFÉRENCES

- Ahr, E., Houdé, O. et Borst, G. (2016). Inhibition of the mirror generalization process in reading in school-aged children. *Journal of experimental child psychology*, *145*, 157-165. doi : 10.1016/j.jecp.2015.12.009.
- Allaire-Duquette, G., Babai, R. et Stavy, R. (2018). Interventions aimed at overcoming intuitive interference: insights from brain-imaging and behavioral studies. *Cognitive Processing*, 1-9. doi : 10.1007/s10339-018-0893-2
- Amyotte, L. (2002). *Méthodes quantitatives : application à la recherche en sciences humaines* (2^e éd.). Québec : ERPI.
- Anwyl-Irvine, A., Dalmaijer, E. S., Hodges, N. et Evershed, J. K. (2020). Online timing accuracy and précision : a comparison of platforms, browsers, and participant's devices. *Behavior research methods*. doi : 10.3758/s13428-020-01501-5
- Aron, A. R. (2007). The neural basis of inhibition in cognitive control. *The neuroscientist*, *13*(3), 1-15. doi : 10.1177/1073858407299288
- Aron, A., Behrens, T. E., Smith, S., Frank, M. J. et Poldrack, R. A. (2007). Triangulating a cognitive control network using diffusion-weighted magnetic resonance imaging (MRI) and functional MRI. *The Journal of Neuroscience*, *27*(14), 3743-3752. doi : 10.1523/JNEUROSCI.0519-07.2007
- Attridge, N. et Inglis, M. (2015). Increasing cognitive inhibition with a difficult prior task: implications for mathematical thinking. *ZDM*, *47*(5), 723-734. doi : 10.1007/s11858-014-0656-1
- Auclair, A., Brault Foisy, L. et Masson, S. (2019, mai). *L'amorçage négatif : une méthodologie permettant de détecter la présence du contrôle inhibiteur dans différents apprentissages*. Communication présentée dans le cadre du congrès de l'ACFAS, Gatineau, Canada.

- Auclair, A. (2021, mai). *Quelles conditions mettre en place pour assurer la fidélité des mesures des temps de réponse lors d'une collecte de données en ligne et hors classe auprès d'enfants du primaire ?* Communication présentée dans le cadre du colloque de l'ACFAS : en ligne.
- Babai, R., Nattiv, L. et Stavy, R. (2016). Comparison of perimeters : improving students' performance by increasing the salience of the relevant variable. *ZDM*, 48, 367-378. doi :10.1007/s11858-016-0766-z
- Babai, R., Shalev, E. et Stavy, R. (2015). A warning intervention improves students' ability to overcome intuitive interference. *ZDM*, 47(5), 735-745. doi :10.1007/s11858-015-0670-y
- Bago, B. et De Neys, W. (2017). Fast logic?: Examining the time course assumption of dual process theory. *Cognition*, 158, 90-109. doi : 10.1016/j.cognition.2016.10.014
- Banks, J. et Oldfield, Z. (2007). Understanding pensions : cognitive function, numerical ability and retirement saving. *Fiscal Studies*, 28(2), 143-170.
- Barnett, S.M. et Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn? A taxonomy for far transfer. *Psycho Bull.* 128(4), 612-637. doi : [10.1037/0033-2909.128.4.612](https://doi.org/10.1037/0033-2909.128.4.612)
- Berkman, E. T., Kahn, L. E. et Merchant, J. S. (2014). Training-induced changes in inhibitory control network activity. *The journal of neuroscience*, 34(1), 149-157. doi : 10.1523/JNEUROSCI.3564-13.2014
- Blanchette Sarrasin, J., Brault Foisy, L.-M., Auclair, A., Riopel, M. et Masson, S. (2020). Guidelines for conducting a pre-post intervention study with preschool children using fMRI: The rationale behind the methodological choices of a research project on reading acquisition. *Neuroéducation*, 6(1), 24-36. doi : 10.24046/neuroed.20200601.24
- Borst, G., Moutier, S. et Houdé, O. (2013). Negative priming in logicomathematical reasoning: the cost of blocking your intuition. Dans W. D. Neys et M. Osman (dir.), *New approaches in reasoning research* (p.34-50). New York : Psychology Press.
- Bull, R. et Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: inhibition, switching, and working memory. *Developmental neuropsychology*, 19, 273-293. doi : 10.1207/S15326942DN1903_3

- Bunge, S. A. et Zelazo, P. D. (2006). A Brain-Based Account of the Development of Rule Use in Childhood. *Current Directions in Psychological Science*, 15(3), 118-121. doi : 10.1111/j.0963-7214.2006.00419.x
- Burle, B., Vidal, F., Tandonnet, C. et Hasbroucq, T. (2004). Physiological evidence for response inhibition in choice reaction time tasks. *Brain and cognition*, 56(2), 153-164. doi :10.1016/j.bandc.2004.06.004
- Bush, G., Whalen, P. J., Rosen, B. R., Jenike, M. A., McInemey, S. C. et Rauch, S. L. (1998). The Counting Stroop: An interference task specialized for functional neuroimaging: Validation study with functional MRI. *Human Brain Mapping*, 6(4), 270-282. doi : 10.1002/(SICI)1097-0193(1998)6:4<270::AID-HBM6>3.0.CO;2-0
- Campbell, D.T. et Stanley, J.C. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Boston : Houghton Mifflin Company.
- Cassotti, M., Agogu e, M., Camarda, A., Houdé, O. et Borst, G. (2016). Inhibitory control as a core process of creative problem solving and idea generation from childhood to adulthood. *New directions for child and adolescent development*, 2016(151), 61-72.
- Chambers, C. D., Garavan, H. et Bellgrove, M. A. (2008). Insights into the neural basis of response inhibition from cognitive and clinical neuroscience. *Neuroscience & Behavioral Reviews*, 33(5), 631-646. doi : 10.1016/j.neubiorev.2008.08.016
- Chan, W.W.L., Au, T.K. et Tang, J. (2011). Exploring the developmental changes in automatic two-digit number processing. *Journal of experimental psychology*, 109(3), 263-274. doi : 10.1016/j.jecp.2011.01.010
- Cragg, L., Keeble, S., Richardson, S., Roome, H. E., & Gilmore, C. (2017). Direct and indirect influences of executive functions on mathematics achievement. *Cognition*, 162, 12-26. doi : 10.1016/j.cognition.2017.01.014
- Creswell, J. W. (2014). *Research design : qualitative, quantitative and mixed methods approaches* (4^e  d.). California : Sage Publications.
- De la Vega, A., Yarkoni, T., Wager, T. D. et Banich, M. T. (2018). Large-scale Meta-analysis suggests low regional modularity in lateral frontal cortex. *Cerebral cortex*, 28(10), 3414-3428. doi : 10.1093/cercor/bhx204
- Deblois, L. (1996). Une analyse conceptuelle de la numération de position au primaire. *Recherches en didactique des mathématiques*, 16(1), 71-127.

Récupéré de <https://www.semanticscholar.org/paper/Une-analyse-conceptuelle-de-la-numération-de-au-DeBlois/ae1888b0a633766105afbe04ef6e2d6b4cf9a69b>

- Dempster, F. N. et Corkill, A. J. (1999). Interference and Inhibition in Cognition and Behavior: Unifying Themes for Educational Psychology. *Educational Psychology Review*, 11(1), 1-88. doi : 10.1023/A:1021992632168
- Diamond, A. (2013) Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135-168. doi : 10.1146/annurev-psych-113011-143750
- Diamond, A. (2016). Why improving and assessing executive functions early in life is critical. Dans J. A. Griffin, P. McCardle et L. S. Freund (dir.), *Executive Function in Preschool-Age Children: Integrating Measurement, Neurodevelopment, and Translational Research* (p.11-43). The American Psychological Association. doi : 10.1037/14797.002.
- Dionne, J. (1995). Modèle utilisé pour définir la compréhension des concepts mathématiques. Dans L.Saint-Laurent, *Programme d'intervention auprès des élèves à risque: une nouvelle option éducative* (p.199-213). Montréal: Gaëtan Morin Éditeur.
- Enge, S., Behnke, A., Fleischhauer, M., Küttler, L., Klieger, M. et Strobel, A. (2014). No evidence for true training and transfer effects after inhibitory control training in young healthy adults. *Journal of experimental psychology: Learning, memory, and cognition*, 40(4), 987-1001. doi : 10.1037/a0036165
- Er-Rafiqi, M., Roukoz, C., Le Gall, D. et Roy, A. (2017). Les fonctions exécutives chez l'enfant : développement, influences culturelles et perspectives cliniques. *Revue de neuropsychologie*, 9, 27-34. doi : 10.3917/rne.091.0027
- 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, 1149-1160. doi : 10.3758/BRM.41.4.1149
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G. et Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39, 175-191. doi : 10.3758/bf03193146
- Fayol, M. (2018). *L'acquisition du nombre*. Presses Universitaires de France. doi : 10.3917/puf.fayol.2018.01

- Fletcher, J. M., Lyon, G. R., Fuchs, L. S. et Barnes, M. A. (2018). *Learning Disabilities : From Identification to Intervention*. New York : The Guilford Press.
- Friedman, N. P. et Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: A latent-variable analysis. *Journal of experimental psychology: General*, 18, 893-900. doi : 10.1037/0096-3445.133.1.101
- Friedman, N. P. et Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, 86, 186-204. doi : 10.1016/j.cortex.2016.04.023
- Ganor-Stern, D., Tzelgov, J. et Ellenbogen, R. (2007). Automaticity and two-digit numbers. *Journal of experimental psychology: human perception & performance*, 33(2), 483-496. doi : 10.1037/0096-1523.33.2.483
- Geary, D. C. (2011). Cognitive predictors of achievement growth in mathematics: A 5-year longitudinal study. *Developmental psychology*, 47(6), 1539-1552. doi : 10.1037/a0025510
- Gerardi, K., Goette, L. et Meier, S. (2013). Numerical ability predicts mortgage default. *PNAS*, 110(28), 11267-11271. doi : 10.1073/pnas.1220568110/-/DCSupplemental
- Hamm, A. (2011). Vers une reconnaissance du concept de saillance. Dans O. Inkova (dir.), *Saillance : Aspects linguistiques et communicatifs de la mise en évidence dans un texte* (vol. 1, p.49-74). Besançon : Presse de l'Université de Franche-Comté.
- Hartmann, L., Sallard, E. et Spierer, L. (2016). Enhancing frontal top-down inhibitory control with Go/NoGo training. *Brain, structure and function*, 221(7), 3835-3842. doi : 10.1007/s00429-015-1131-7
- Harvey, H. A. et Miller, G. E. (2017). Executive Function Skills, Early Mathematics, and Vocabulary in Head Start Preschool Children. *Early Education and Development*, 28(3), 290-307. doi : 10.1080/10409289.2016.1218728
- Henderson, J. M., Hayes, T. R., Peacock, C. E. et Rehrig, G. (2019). Meaning and attentional guidance in scenes : a review of the meaning map approach. *Vision*, 3(19), 1 à 10. doi : 10.3390/vision3020019

- Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development: Object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive development*, 15(1), 63-73. doi : 10.1016/S0885-2014(00)00015-0
- Houdé, O. et Borst, G. (2014). Measuring inhibitory control in children and adults: brain imaging and mental chronometry. *Frontiers in psychology*, 5(616), 1-7. doi : 10.3389/fpsyg.2014.00616
- Houdé, O. et Borst, G. (2015). Evidence for an inhibitory-control theory of the reasoning brain. *Frontiers in human neuroscience*, 9, 148. doi : 10.3389/fnhum.2015.00148
- Houdé, O. et Moutier, S. (1996). Deductive reasoning and experimental inhibition training: The case of the matching bias. *Cahiers de psychologie cognitive/Current psychology of cognition*, 15(4), 409-434. Récupéré de <https://psycnet.apa.org/record/1997-03662-004>
- Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoë, C. ... Mazoyer, B. (2011). Functional magnetic resonance imaging study of Piaget's conservation-of-number task in preschool and school-age children: A neo-Piagetian approach. *Journal of experimental child psychology*, 110(3), 332-346. doi : 10.1016/j.jecp.2011.04.008
- Houdé, O., Zago, L., Mellet, E., Moutier, S., Pineau, A., Mazoyer, B. et Tzourio-Mazoyer, N. (2000). Shifting from the perceptual brain to the logical brain: The neural impact of cognitive inhibition training. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 721-728. doi : 10.1162/089892900562525
- Howard, S. J., Johnson, J. et Pascual-Leone, J. (2014). Clarifying inhibitory control : diversity and development of attentional inhibition. *Cognitive development*, 31, 1-21. doi : 10.1016/j.cogdev.2014.03.001
- Huber, S., Mann, A., Nuerk, H.-C. et Moeller, K. (2014). Cognitive control in number magnitude processing: evidence from eye-tracking. *Psychological Research*, 78(4), 539-548. doi : 10.1007/s00426-013-0504-x
- Ifrah, G. (1994). *Histoire universelle des chiffres, tome 1*. Paris : Éditions Robert Laffont.
- Inkova, O. (2012). *Saillance : Aspects linguistiques et communicatifs de la mise en évidence dans un texte* (vol. 1). Besançon : Presse de l'Université de Franche-Comté.

- Itti, L., Koch, C. et Niebur, E. (1998). A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 20(11), 1254-1259. doi : 10.1109/34.730558
- Jiang, H., Li, X., Xu, P. et Chen, Y. (2019). Inhibiting intuitive rules in a geometry comparison task: Do age level and math achievement matter? *Journal of experimental child psychology*, 186, 1-16. doi : 10.1016/j.jecp.2019.05.003
- Kahneman, D. (2011). *Thinking Fast and Slow*. London : Allen Lane.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H. et Jessel, T. M. (2000). *Principles of neural science*. New York, NY : McGraw-Hill.
- Kassai, R., Futo, J., Demetrovics, Z. et Takacs, Z. K. (2019). A meta-analysis of the experimental evidence on the near-and far-transfer effects among children's executive function skills. *Psychological Bulletin*, 145(2), 165-188. doi : 10.1037/bul0000180
- Koudogbo, J. (2013). Portrait actuel des connaissances d'élèves de troisième année de l'ordre primaire et de situations d'enseignement sur la numération de position décimale. (Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal). Récupéré de <http://www.archipel.uqam.ca/5607/>
- Lanoë, C., Vidal, J., Lubin, A., Houdé, O. et Borst, G. (2016). Inhibitory control is needed to overcome written verb inflection errors: Evidence from a developmental negative priming study. *Cognitive development*, 37, 18-27. doi : 10.1016/j.cogdev.2015.10.005
- Larose, M., Pineau, A. et Poirel, N. (2017). L'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique : la collecte des données. Dans S. Masson et G. Borst (dir.), *Méthodes de recherche en neuroéducation* (p.39-60). Québec : Presses de l'Université du Québec (PUQ).
- 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(1), 55-84. doi : 10.24046/neuroed.20120101.55
- Lubin, A., Rossi, S., Lanoë, C., Vidal, J., Houdé, O. et Borst, G. (2016). Expertise, inhibitory control and arithmetic word problems: A negative priming study in mathematics experts. *Learning and Instruction*, 45, 40-48. doi : 10.1016/j.learninstruc.2016.06.004

- Macizo, P. (2017). Conflict resolution in two-digit number processing: evidence of an inhibitory mechanism. *Psychological Research*, 81(1), 219-230. doi : 10.1007/s00426-015-0716-3
- Macleod, C. M. (2007). The concept of inhibition in cognition. *Inhibition in cognition*, 3-23. doi : 10.1037/11587-001
- Mann, A., Moeller, K., Pixner, S., Kaufmann, L. et Nuerk, H.-C. (2012). On the development of Arabic three-digit number processing in primary school children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113(4), 594-601. doi : 10.1016/j.jecp.2012.08.002
- Mareschal, D. (2016). The neuroscience of conceptual learning in science and mathematics. *Current opinion in behavioral sciences*, 10, 114-118. doi : 10.1016/j.cobeha.2016.06.001
- Marks, G. N., Creswell, J. et Ainley, J. (2007). Explaining socioeconomic inequalities in student achievement: The role of home and school factors. *Educational research and evaluation*, 12(2), 105-128. doi : 10.1080/13803610600587040
- Mason, L., Zaccoletti, S., Carretti, B., Scrimin, S. et Diakidoy, I.-A. N. (2019). The role of inhibition in conceptual learning from refutation and standard expository texts. *Int J of Sci and Math Educ*, 17, 483-501. doi : 10.1007/s10763-017-9874-7
- Masson, S. et Borst, G. (2017). *Méthodes de recherche en neuroéducation*. Québec, Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Masson, S., Potvin, P., Riopel, M. et Brault Foisy, L.-M. (2014). Differences in brain activation between novices and experts in science during a task involving a common misconception in electricity. *Mind, brain, and education*, 8(1), 44-55. doi : 10.1111/mbe.12043
- Meert, G., Grégoire, J. et Noël, M.-P. (2010). Comparing the magnitude of two fractions with common components: Which representations are used by 10- and 12-year-olds? *Journal of experimental child psychology*, 107(3), 244-259. doi : 10.1016/j.jecp.2010.04.008
- Melby-Lervåg, M., Redick, T. S. et Hulme, C. (2016). Working memory training does not improve performance on measures of intelligence or other measures of “far transfer” evidence from a meta-analytic review. *Perspectives on Psychological Science*, 11(4), 512-534. doi : 10.1177/1745691616635612

- Menon, V., Adleman, N. E., White, C. D., Glover, G. H. et Reiss, A. L. (2001). Error-related brain activation during a Go/NoGo response inhibition task. *Human Brain Mapping, 12*(3), 131-143. doi :10.1002/1097-0193(200103)12:3<131::aid-hbm1010>3.0.co;2-c
- Miller, E. K. et Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Reviews of Neuroscience, 24*, 167-202. doi : 10.1146/annurev.neuro.24.1.167
- Ministère de l'éducation, du loisir et du sport. (2009) *Progression des apprentissages au primaire : mathématique*. Récupéré de http://www1.education.gouv.qc.ca/progressionPrimaire/mathematique/index.asp?page=arithmetique_01
- Miyata, J. (2019). Toward integrated understanding of salience in psychosis. *Neurobiology of disease, 1*(31), 1-8. doi : 10.1016/j.nbd.2019.03.002
- Mock, J., Huber, S., Klein, E. et Moeller, K. (2016). Insights into numerical cognition: considering eye-fixations in number processing and arithmetic. *Psychological Research, 80*(3), 334-359. doi :10.1007/s00426-015-0739-9
- Moeller, K., Pixner, S., Zuber, J., Kaufmann, L. et Nuerk, H., C. (2011). Early place-value understanding as a precursor for later arithmetic performance- a longitudinal study on numerical development. *Research in developmental disabilities, 32*(5), 1837-1851. doi : 10.1016/j.ridd.2011.03.012
- Motes, M. A., Gamino, J. F., Chapman, S. B., Rao, N. K., Maguire, M. J., Brier, M. R., Kraut, M. A. et Hart Jr., J. (2014). Inhibitory control gains from higher-order cognitive strategy training. *Brain and Cognition, 84*, 44-62. doi : 10.1016/j.bandc.2013.10.007
- Moutier, S., Angeard, N. et Houde, O. (2002). Deductive reasoning and matching-bias inhibition training: Evidence from a debiasing paradigm. *Thinking & Reasoning, 8*(3), 205-224. doi : 10.1080/13546780244000033
- Mussolin, C. et Noël, M.-P. (2008). Automaticity for numerical magnitude of two-digit Arabic numbers in children. *Acta Psychologica, 129*(2), 264-272. doi : 10.1016/j.actpsy.2008.08.001
- Nothdurft, H.-C. (2002). Attention shifts to salient targets. *Vision research, 42*(10), 1287-1306. doi : 10.1016/S0042-6989(02)00016-0
- Nuerk, H.-C., Kaufmann, L., Zopphoth, S. et Willmes, K. (2004). On the development of the mental number line : More, less, or never holistic with age?

Developmental psychology, 40(6), 1199-1211. doi : 10.1037/0012-1649.40.6.1199

- Nuerk, H.-C., Weger, U. et Willmes, K. (2001). Decade breaks in the mental number line? Putting the tens and units back in different bins. *Cognition*, 82(1), B25-B33. doi : 10.1016/S0010-0277(01)00142-1
- Obersteiner, A., Van Dooren, W., Van Hoof, J. et Verschaffel, L. (2013). The natural number bias and magnitude representation in fraction comparison by expert mathematicians. *Learning and instruction*, 28, 64-72. doi : 10.1016/j.learninstruc.2013.05.003
- Packhurst, D., Law, K. et Niebur, E. (2002). Modeling the role of salience in the allocation of overt visual attention. *Vision research*, 42, 107-123. doi : 10.1016/S0042-6989(01)00250-4
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. New York : Norton & Co.
- Piotrowski, K. T., Orzechowski, J. et Stettner, Z. (2019). The nature of inhibition in a working memory search task. *Journal of Cognitive Psychology*, 31(3), 285-302. doi : 10.1080/20445911.2019.1591421
- Potvin, P., Sauriol, É. et Riopel, M. (2015). Experimental evidence of the superiority of the prevalence model of conceptual change over the classical models and repetition. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(8), 1082-1108. doi : 10.1002/tea.21235
- Potvin, P., Masson, S., Lafortune, S. et Cyr, G. (2014). Persistence of the intuitive conception that heavier objects sink more : a reaction time study with different levels of interference. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(1), 21-43. doi : 10.1007/s10763-014-9520-6
- Purpura, D. J., Schmitt, S. A. et Ganley, C. M. (2017). Foundations of mathematics and literacy: The role of executive functioning components. *Journal of Experimental Child Psychology*, 153, 15-34. doi : 10.1016/j.jecp.2016.08.010
- Roell, M., Viarouge, A., Houdé, O. et Borst, G. (2017). Inhibitory control and decimal number comparison in school-aged children. *PLoS ONE*, 12(11), 1-17. doi : 10.1371/journal.pone.0188276
- Rossi, S., Vidal, J., Letang, M., Houdé, O. et Borst, G. (2019). Adolescents and Adults Need Inhibitory Control to Compare Fractions. *PsychArchives*. doi : 10.23668/psycharchives.2381

- Rowell et Dawson (1977). Teaching about floating and sinking : an attempt to link cognitive psychology with classroom practice. *Science education*, 61(2), 245-253. Récupéré de <https://eric.ed.gov/?id=EJ159532>
- Sala, G. et Gobet, F. (2017). Working memory training in typically developing children: a meta-analysis of the available evidence. *Developmental psychology*, 53, 671-685. doi : 10.1037/dev0000265
- Seeley, W. W., Menon, V., Schatzberg, A. F., Keller, J., Glover, G. H., Kenna, H., Reiss, A. L. et Greicius, M. D. (2007). Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive control. *Journal of neuroscience*, 27(9), 2349-2356. doi : 10.1523/JNEUROSCI.5587-06.2007
- Smart, D., Youssef, G. J., Sanson, A., Prior, M. Toumbourou, J. W. et Olsson, C. A. (2017). Consequences of childhood reading difficulties and behavior problems for educational achievement and employment in early adulthood. *British Journal of Educational Psychology*, 87(2), 288-308. doi : 10.1111/bjep.12150
- Spieler, L., Chavan, C. F. et Manuel, A. L. (2013). Training-induced behavioral and brain plasticity in inhibitory control. *Frontiers in human neuroscience*, 7(427), 1-9. doi :10.3389/fnhum.2013.00427
- Stafilydou, S. et Vosniadou, S. (2004). The development of students' understanding of the numerical value of fractions. *Learning and instruction*, 14(5), 503-518. doi : 10.1016/j.learninstruc.2004.06.015
- Star, J. R. et Pollack, C. (2015). Inhibitory control and mathematics learning: definitional and operational considerations. *ZDM*, 47(5), 859-863. doi:10.1007/s11858-015-0716-1
- Stavy, R. et Babai, R. (2010). Overcoming intuitive interference in mathematics: insights from behavioral, brain imaging and intervention studies. *ZDM*, 42(6), 621-633. doi :10.1007/s11858-010-0251-z
- Stavy, R. et Tirosh, D. (2000). *How Students (Mis-)understand Mathematics and Science*. New York: Teachers College Press.
- Stein, L. (1966). Habituation and stimulus novelty: A model based on classical conditioning. *Psychological Review*, 73(4), 352. doi : 10.1037/h0023449
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662. doi : 10.1037/h0054651

- Szücs, D., Devine, A., Soltesz, F., Nobes, A. et Gabriel, F. (2013). Developmental dyscalculia is related to visuo-spatial memory and inhibition impairment. *Cortex*, 49, 2674-2688. doi : 10.1016/j.cortex.2013.06.007
- Thorell, L. B., Lindqvist, S., Bergman, S., Bohlin, G. et Klingberg, T. (2009). Training and transfert effects of executive functions in preschool children. *Developmental science*, 11(6), 969-976. doi :10.1111/j.1467-7687.2008.00745.x
- Thouin, M. (2001). *Notions de culture scientifique et technologique : concepts de base, percées historiques et conceptions fréquentes*. Sainte-Foy, Qc : Multimondes.
- Thouin, M. (2014). *Réaliser une recherche en didactique*. Montréal, Qc : Éditions Multimondes.
- Thyer, B. A. (2012). *Quasi-experimental research designs*. New York, NY : Oxford University Press.
- Tipper, S. P. (2001). Does negative priming reflect inhibitory mechanisms? A review and integration of conflicting views. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 54(2), 321-343. doi : 10.1080/2F13755969
- Toll, S. W. M., Van der Ven, S., Kroesbergen, E. et Van Luit, J. (2010). *Journal of learning disabilities*, XX(X), 1-12. doi : 10.1177/0022219410387302
- Ueda, K., Sekoguchi, T. et Yanagisawa, H. (2021). How predictability affects habituation to novelty. *PLOS ONE*, 16(6), e0237278. doi : 10.1371/journal.pone.0237278
- Valeras, M. et Becker, J. (1997). Children's developing understanding of place value: semiotic aspects. *Cognition & Instruction*, 15(2), 265. doi :10.1207/s1532690xci1502_4
- Valero, P. et Meaney, T. (2014). Trends in researching the socioeconomic influences on mathematical achievement. *ZDM*, 46(7), 977-986. doi : 10.1007/s11858-014-0638-3
- Vamvakoussi, X., Van Dooren, W. et Verschaffel, L. (2012). Naturally biased? In search for reaction time evidence for a natural number bias in adults. *Journal of mathematical behavior*, 31, 344-355. doi :10.1016/j.jmathb.2012.02.001
- Veale, R., Hafd, Z. M. et Yoshida, M. (2017). How is visual salience computed in the brain? Insights from behavior, neurobiology and modelling. *Philosophical transactions Royal Society B*, 372, 1-14. doi : 10.1098/rstb.2016.0113

- Vosniadou, S., Pnevmatikos, D., Makris, N., Lepenioti, D., Eikospentaki, K., Chountala, A. et Kyrianakis, G. (2018). The recruitment of shifting and inhibition in on-line science and mathematics tasks. *Cognitive science*, 42(6), 1860-1886. doi : 10.1111/cogs.12624
- Wilkey, E. D., Pollack, C. et Price, G. R. (2018). Dyscalculia and typical math achievement are associated with individual differences in number-specific executive function. *Child development*, 00(0), 1-24. doi : 10.1111/cdev.13194
- Willame, B. et Snauwaert, P. (2018). Entrainement au contrôle inhibiteur et apprentissage en chimie dans le secondaire supérieur : Favoriser un changement de prévalence conceptuelle. *Neuroéducation*, 5(2), 73-92. doi : 10.24046/neuroed.20180502.73
- Winton-Brown, T. T., Fusar-Poli, P., Ungless, M. A. et Howes, O. D. (2014). Dopaminergic basis of salience dysregulation in psychosis. *Trends in neurosciences*, 37(2), 85-94. doi : 10.1016/j.tins.2013.11.003
- Wolfe, J. M. et Horowitz, T. S. (2017). Five factors that guide attention in visual search. *Nature human behavior*, 1(58), 1-8. doi : 10.1038/s41562-017-0058