



HAL
open science

Motricité et intégration multi-sensorielle : apprentissage des représentations grapho-phonémiques

Arthur Boisson

► **To cite this version:**

Arthur Boisson. Motricité et intégration multi-sensorielle : apprentissage des représentations grapho-phonémiques. Psychologie. Université de Lyon, 2018. Français. NNT : 2018LYSE2126 . tel-02067623

HAL Id: tel-02067623

<https://theses.hal.science/tel-02067623>

Submitted on 14 Mar 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



N° d'ordre NNT : 2018LYSE2126

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

Opérée au sein de

L'UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

École Doctorale : ED 476 Neurosciences et Cognition

Discipline : Psychologie cognitive

Soutenue publiquement le 7 décembre 2018, par :

Arthur BOISSON

Motricité et intégration multi-sensorielle :

*apprentissage des représentations grapho-
phonémiques.*

Devant le jury composé de :

Edouard GENTAZ, Professeur d'université, Université de Genève, Président

Denis BROUILLET, Professeur des universités, Université Montpellier 3, Rapporteur

Nathalie MAREC-BRETON, Maître de conférences HDR, Université Rennes 2, Rapporteur

Jean-Luc VELAY, Directeur de Recherches, Aix-Marseille Université, Examineur

Hélène LABAT, Maître de conférences, Université de Cergy-Pontoise, Examinatrice

Annie MAGNAN, Professeure des universités, Université Lumière Lyon 2, Co-Directrice de Thèse

Remy VERSACE, Professeur des universités, Université Lumière Lyon 2, Co-Directeur de thèse

Contrat de diffusion

Ce document est diffusé sous le contrat *Creative Commons* « [Paternité – pas d'utilisation commerciale – pas de modification](#) » : vous êtes libre de le reproduire, de le distribuer et de le communiquer au public à condition d'en mentionner le nom de l'auteur et de ne pas le modifier, le transformer, l'adapter ni l'utiliser à des fins commerciales.

UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

ÉCOLE DOCTORALE NEUROSCIENCES ET COGNITION
LABORATOIRE D'ÉTUDE DES MÉCANISMES COGNITIFS
LABEX CORTEX

THÈSE

pour obtenir le titre de

Docteur en Psychologie
de l'Université Lumière Lyon 2
Spécialité : PSYCHOLOGIE COGNITIVE

présentée et soutenue par
Arthur BOISSON

MOTRICITÉ ET INTÉGRATION MULTI-SENSORIELLE : APPRENTISSAGE DES REPRÉSENTATIONS GRAPHO-PHONÉMIQUES

Thèse dirigée par Annie Magnan et Rémy Versace

soutenue le 07 décembre 2018

Jury :

<i>Rapporteur</i>	Denis BROUILLET	(Pr), Université Montpellier 3
<i>Rapporteur</i>	Nathalie MAREC-BRETON	(MCF-HDR), Université de Rennes 2
<i>Directeur</i>	Annie Magnan	(Pr), Université Lyon 2
<i>Directeur</i>	Rémy Versace	(Pr), Université Lyon 2
<i>Examineur</i>	Jean-Luc VELAY	(Dr de Recherches , CNRS), Aix-Marseille Université
<i>Examineur</i>	Edouard GENTAZ	(Pr), Université de Genève
<i>Examineur</i>	Hélène LABAT	(MCF), Université de Cergy -Pontoise

RÉSUMÉ

Nous sommes, dans notre vie quotidienne entourés d'associations audio-visuelles : nous les percevons et les mémorisons tout au long de notre vie. Pourtant, les mécanismes impliqués dans leur apprentissage restent abscons. En particulier, les facteurs comme la motricité permettant de favoriser de tels apprentissages, sont rarement étudiés d'un point de vue mnésique.

Ainsi, les objectifs généraux de cette thèse visent à : i) étudier les mécanismes cognitifs à la base de l'apprentissage d'associations audio-visuelles, ii) mieux comprendre l'impact de la motricité dans l'efficacité de ses mécanismes, et iii) proposer des méthodologies originales susceptibles d'augmenter l'efficacité de ces mécanismes et/ou de compenser d'éventuels déficits.

Plus précisément, ce travail de thèse s'intéresse au bénéfice de la motricité dans l'apprentissage des correspondances grapho-phonémiques (CGP). En plus de l'intérêt purement théorique que suscite l'étude de cet apprentissage, l'importance de cette acquisition chez les jeunes enfants pré-lecteurs ajoute une portée pratique et pédagogique à ce travail.

L'originalité de ce travail de thèse est de vouloir rapprocher deux grands domaines d'études, celui de l'apprentissage de la lecture/écriture et celui de la mémoire. Bien que les deux domaines traitent d'apprentissage et donc de mémoire, il n'y a jamais eu de véritable tentative d'application des modèles de la mémoire pour aider à la compréhension des mécanismes d'apprentissage de la lecture-écriture de mots, et inversement, les travaux sur la mémoire ont rarement regardé du côté des recherches sur l'apprentissage de la lecture-écriture pour valider leurs hypothèses. Or, l'un des intérêts du modèle Act-In servant de support à cette thèse est justement de proposer une approche intégrée du fonctionnement cognitif et pas seulement de la mémoire.

ABSTRACT

In our daily lives, we are surrounded by audiovisual associations : we perceive and memorize them throughout our lives. However, the mechanisms involved in their learning are not fully understood. In particular, factors such as motor skills that promote such learning are rarely studied from a memory point of view.

Thus, the general objectives of this thesis are to : i) study the cognitive mechanisms underlying the learning of audio-visual associations, ii) better understand the impact of motor skills on the effectiveness of its mechanisms, and iii) propose original methodologies likely to increase the effectiveness of these mechanisms and/or compensate for possible deficits.

More precisely, this thesis work focuses on the benefit of motor exploration in learning grapho-phonemic correspondences (GPC). In addition to the purely theoretical interest in studying this learning, the importance of this acquisition for young pre-readers adds a practical and pedagogical dimension to this work.

What stands out from this thesis is that two areas of study, the one of learning to read and the one of memory are combined. Though both of them deal with learning hence memory, there has never been a real attempt to apply memory models to help understand the mechanisms of learning word reading and writing, and conversely, memory research has rarely looked to research on learning to read and write to validate their assumptions. However, one of the interests of the Act-In model used to support this thesis is precisely to propose an integrated approach to cognitive functioning and not only to memory.

FINANCEMENTS ET LABORATOIRE DE RATTACHEMENT

Cette thèse a été financée par le LabEx CORTEX de l'Université de Lyon. Elle a été réalisée au sein du laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs (EA 3083) et de l'Ecole Doctorale Neurosciences et Cognition (NSCo).

REMERCIEMENTS

Lors de l'une de mes premières journées en tant que thésard, j'ai assisté dans la salle commune du laboratoire à la discussion entre une doctorante en fin de thèse et une post-doctorante fraîchement diplômée. La première indiquait avoir fini toute sa rédaction, à part les remerciements. Cependant elle n'en pouvait plus de rédiger et ne trouvait pas la motivation pour écrire ces dernières lignes. La post-doctorante était alors étonnée car pour elle, la rédaction des remerciements avait sonné comme une délivrance.

Parfois, certaines conversations anodines restent gravées, c'est le cas de cette conversation. Ainsi je me suis toujours promis de réserver mes dernières frappes de clavier à la rédaction de cette section qui de façon symbolique représente le clap de fin de ma rédaction. C'est donc avec une certaine émotion que j'écris ces dernières lignes dédiées à celles et ceux qui d'une façon ou d'une autre ont contribué à l'élaboration de ce document.

Tout d'abord je tiens à remercier mes directeurs de thèse, Annie Magnan et Rémy Versace, pour m'avoir accompagné durant la réalisation de cette thèse. Dans ma vie personnelle et étudiante, j'ai toujours aimé avoir une certaine autonomie. Vous m'avez fait suffisamment confiance pour me laisser une juste part d'autonomie tout en m'encadrant et en m'accompagnant tout au long de la thèse. En particulier, lors des derniers mois de rush, vous avez su me stimuler et me motiver. Je remercie également Jean Ecalte avec qui j'ai pu collaboré lors de l'élaboration d'une des études de ma thèse. Je remercie sincèrement Hélène Labat qui est à l'origine de ce projet et qui de façon bienveillante, a toujours été disponible pour m'aider. Enfin je remercie amicalement Alexandra Elbakyan qui m'a fréquemment aidé à trouver des articles scientifiques auxquels je n'avais pas accès.

Je remercie également les membres du jury de thèse, Denis Brouillet, Nathalie Marec-Breton, Jean-Luc Velay, Edouard Gentaz et Hélène Labat qui ont accepté d'évaluer ce travail. J'attends vos retours avec curiosité et espère que vous apprécierez la lecture de ce document.

Je tiens à remercier les étudiants de Master, Emilie, Chloé, N'Deye, Claire, Murielle, Léa, Darlène, Marc-Antoine, Maximilien, Laura, Roxane, Lucille et enfin Astrid, pour leur travail. J'espère que nos collaborations vous ont autant apporté qu'elles m'ont apporté et je vous souhaite bonne chance dans la suite de vos études ou de votre vie professionnelle.

Je remercie chaleureusement l'ensemble des membres du laboratoire EMC. Pendant ces trois années, mon environnement de travail a été stimulant et c'est grâce à vous. La bonne humeur et l'entre-aide qui y règne m'ont permis d'apprécier venir chaque jour travailler au laboratoire. Tout particulièrement, je remercie Pauline, ma collègue de bureau. Le hasard a fait que nous soyons dans le même bureau, le hasard doit probablement avoir le même sens de l'humour que nous.

Pour finir, je remercie ma famille et mes amis du fond du coeur. À vos côtés j'ai pu m'amuser, m'évader et m'épanouir en dehors de ma thèse. Enfin merci à Tess de m'avoir accompagné jusqu'aux dernières secondes de cette thèse. Ton soutien et ta présence ont été inestimables.

TABLE DES MATIÈRES

LE CADRE THÉORIQUE

INTRODUCTION.....	3
CHAPITRE 1 - COGNITION INCARNÉE ET MODÈLE ACT-IN	5
1.1 LE STRUCTURALISME.....	5
1.2 VERS UNE COGNITION SITUÉE ET INCARNÉE	7
1.2.1 Le connexionnisme.....	8
1.2.2 L'énactivisme	8
1.2.3 La cognition incarnée	9
1.3 LE MODÈLE ACT-IN.....	19
1.3.1 Le mécanisme d'Activation interactive.....	20
1.3.2 Le mécanisme d'Intégration	21
CHAPITRE 2 - LE MÉCANISME D'INTÉGRATION.....	23
2.1 L'INTÉGRATION, UN PROCESSUS AUX MULTIPLES IDENTITÉS	23
2.1.1 Le binding	24
2.1.2 L'unitization	25
2.2 LE MÉCANISME D'INTÉGRATION D'APRÈS LE MODÈLE ACT-IN	26
2.3 L'INTÉGRATION D'UN POINT DE VUE BIOLOGIQUE.....	29
2.4 LES FACTEURS FAVORISANT L'INTÉGRATION	30
2.4.1 Délai et sommeil.....	30

2.4.2	La synchronicité spatio-temporelle	32
2.4.3	Multimodalité, richesse et distinctivité des traces	32
2.4.4	Le rôle de la motricité dans l'intégration	36
CHAPITRE 3 - BÉNÉFICE DE LA MOTRICITÉ DANS L'APPRENTISSAGE DES CORRESPONDANCES GRAPHO-PHONÉMIQUES		41
3.1	LE PRINCIPE ALPHABÉTIQUE ET L'IMPORTANCE DE LA CONNAISSANCE DES LETTRES	41
3.2	LE BÉNÉFICE DES ENTRAÎNEMENTS MULTISENSORIELS SUR LA LECTURE ET L'ÉCRITURE	43
3.2.1	Des travaux princeps : la pédagogie Montessori	43
3.2.2	L'exploration haptique pour apprendre à lire	45
3.2.3	L'exploration graphomotrice pour apprendre à lire	49
3.2.4	L'exploration kinesthésique pour apprendre à lire et à écrire	53
3.3	EFFET BÉNÉFIQUE DES EXPLORATIONS KINESTHÉSIQUES ET INTÉGRATION : UNE APPROCHE INCARNÉE	54
3.3.1	Mouvements d'écriture et neuroimagerie : des preuves décisives	54
3.3.2	Des implications pédagogiques	58
3.3.3	Des implications théoriques : le rôle de l'intégration	59
OBJECTIFS ET PROBLÉMATIQUE		63

PARTIE EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE 4 - BÉNÉFICE DE LA MOTRICITÉ DANS L'APPRENTISSAGE D'ASSOCIATIONS AUDIO-VISUELLES CHEZ L'ENFANT		69
4.1	ÉTUDE 1 : EFFET BÉNÉFIQUE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION MOTRICE SUR L'APPRENTISSAGE DES CGP CHEZ DES ENFANTS DE 5 ANS	69
4.1.1	Principe et objectifs de l'étude	69
4.1.2	Méthode	70
4.1.3	Hypothèses opérationnelles	75
4.1.4	Résultats	76
4.1.5	Discussion	81

4.2	ÉTUDE 2 : EFFET BÉNÉFIQUE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION MOTRICE SUR L'APPRENTISSAGE DES CGP CHEZ DES ENFANTS AVEC DÉFICIENCE INTELLECTUELLE...	84
4.2.1	Principe et objectifs de l'étude.....	85
4.2.2	Méthode.....	86
4.2.3	Résultats	88
4.2.4	Discussion	90
CHAPITRE 5 - INFLUENCE DE LA MOTRICITÉ DANS L'APPRENTISSAGE D'ASSOCIATIONS VISUELLES CHEZ L'ADULTE		93
5.1	ÉTUDE 3A : INFLUENCE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION MOTRICE SUR L'APPRENTISSAGE D'ASSOCIATIONS AUDIO-VISUELLES CHEZ L'ADULTE.....	93
5.1.1	Principe et objectifs de l'étude.....	93
5.1.2	Méthode.....	95
5.1.3	Hypothèses opérationnelles	97
5.1.4	Résultats	98
5.1.5	Discussion	101
5.2	ÉTUDE 3B : INFLUENCE DE LA CO-LOCALISATION SUR LE BÉNÉFICE DE LA MOTRICITÉ	105
5.2.1	Principe et objectifs de l'étude.....	105
5.2.2	Méthode.....	105
5.2.3	Hypothèses opérationnelles	108
5.2.4	Résultats	108
5.2.5	Discussion	109
5.3	ÉTUDE 4A	110
5.3.1	Principe et objectifs de l'étude.....	110
5.3.2	Méthode.....	111
5.3.3	Résultats	112
5.3.4	Discussion	113
5.4	ÉTUDE 4B	114
5.4.1	Principe et objectifs de l'étude.....	114
5.4.2	Méthode.....	114

5.4.3	Résultats	115
5.4.4	Discussion	116
CHAPITRE 6 - LES TABLETTES TACTILES : UN SUPPORT FAVORISANT LA MULTI-SENSORIALITÉ.....		121
6.1	L'APPORT DES TABLETTES TACTILES	121
6.1.1	Les écrans, pour le pire et pour le meilleur.....	121
6.1.2	Les tablettes tactiles, un outil pédagogique attrayant	122
6.2	ÉTUDE 5 : INFLUENCE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION TACTILO-KINESTHÉSIQUE SUR L'APPRENTISSAGE D'ASSOCIATIONS AUDIO-VISUELLES CHEZ L'ADULTE.....	124
6.2.1	Principe et objectifs de l'étude.....	124
6.2.2	Méthode.....	125
6.2.3	Résultats	129
6.2.4	Discussion	132
6.3	ÉTUDE 6 : INFLUENCE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION TACTILO-KINESTHÉSIQUE SUR L'APPRENTISSAGE DES CGP CHEZ DES ENFANTS DE 5 ANS	135
6.3.1	Principe et objectifs de l'étude.....	135
6.3.2	Méthode.....	136
6.3.3	Résultats	140
6.3.4	Discussion	145
6.4	ÉTUDE 7 : MOTRICITÉ, VISUEL, AUDITIF, UN TRIO DE MODALITÉS AUX LIENS COMPLEXES. 148	
6.4.1	Principe et objectifs de l'étude.....	148
6.4.2	Méthode.....	149
6.4.3	Résultats	152
6.4.4	Discussion	152
CHAPITRE 7 - LA SONIFICATION, UN PROCÉDÉ PERMETTANT DE FAVORISER L'INTÉGRATION		155
7.1	LE PRINCIPE DE LA SONIFICATION.....	155
7.2	ÉTUDE 8 : INFLUENCE DE LA SONIFICATION DANS L'APPRENTISSAGE D'ASSOCIATIONS AUDIO-VISUELLES CHEZ L'ADULTE.....	157
7.2.1	Principe et objectifs de l'étude.....	157

7.2.2	Méthode.....	158
7.2.3	Résultats	160
7.2.4	Discussion	161
7.3	ÉTUDE 9 : EFFET BÉNÉFIQUE DE LA SONIFICATION DANS L'APPRENTISSAGE DES CGP CHEZ LES ENFANTS DE 5 ANS	163
7.3.1	Principe et objectifs de l'étude.....	163
7.3.2	Méthode.....	164
7.3.3	Résultats	167
7.3.4	Discussion	173
CHAPITRE 8	- DISCUSSION GÉNÉRALE	179
8.1	SYNTHÈSE DE L'ENSEMBLE DES RÉSULTATS	179
8.2	DES MÉCANISMES DIFFÉRENTS CHEZ LES ADULTES ET LES ENFANTS ?	180
8.2.1	Des biais attentionnels et motivationnels	181
8.2.2	Des entraînements intensifs et du sommeil	182
8.3	LA MOTRICITÉ, UN FACTEUR FAVORISANT L'INTÉGRATION ?	183
8.3.1	L'effet bénéfique de la motricité dans le contexte du modèle Act-In	183
8.3.2	La sonification du point de vue d'Act-In.....	184
8.4	VERS DES SITUATIONS D'APPRENTISSAGE ENCORE PLUS OPTIMALES.....	185
	CONCLUSION	187
	RÉFÉRENCES.....	188
	ANNEXE A-	207
	ANNEXE B-	209

TABLE DES FIGURES

1.1	Organisation hiérarchique de la MLT selon Tulving (1995). Illustration provenant de l'article de Martins, Guillery-Girard, et Eustache (2006)	7
1.2	Illustration issue de Proffitt (2006) du paradigme de jugement de pente . . .	11
1.3	Illustration du matériel utilisé par Zwaan, Stanfield, et Yaxley (2002). L'œuf peut être visualisé sous deux formes différentes.	13
1.4	Exemple de masque visuel utilisé dans l'expérience	15
1.5	Moyennes et erreurs standards des temps de réactions selon les 3 conditions.	15
1.6	Illustration du paradigme de Rey (2014) avec a) une phase d'étude et b) une phase de test.	17
1.7	Illustration du modèle Minerva II (Hintzman, 1986).	18
1.8	Illustration du modèle Act-in (Versace et al., 2014).	21
2.1	Illustration des théories de la Gestalt. Le tout est supérieur à la somme de ses parties.	25
2.2	Illustration du paradigme de l'Expérience 1 de Brunel, Labeye, Lesourd, et Versace (2009) avec une phase d'apprentissage (a) et une phase d'amorçage (b).28	
2.3	L'hypothèse de système actif de consolidation selon Frankland et Bontempi (2005).	30
2.4	Pourcentage de rappel dans la tâche de rappel libre en fonction de la Distinctivité et de l'Isolation.	35
2.5	Illustration du protocole expérimentale de Camus, Brouillet, et Brunel (2016).37	
2.6	Moyenne des temps de réaction moyens dans l'étude de Camus et al. (2016). 38	

2.7	Matrice de 16 carrés utilisée pour présenter les images durant l'apprentissage et le rappel.	39
2.8	Pourcentage de réponses correctes pour les 3 conditions de rappel.	39
3.1	Exemple de matériel Montessori.	44
3.2	Pourcentages de gain pour les lettres entraînées (TL) et non-entraînées (unTL) en fonction du niveau (faible ou élevé) dans les quatre groupes de formation (Contrôle - C, Visuel - V, Visuo-Haptique - VH et Visuo-Graphomoteur - VG) en dictée de pseudo-mots.	48
3.3	Scores moyens de connaissance des sons de lettres en fonction de la période, du groupe d'entraînement et du type de lettre (entraînées vs. non entraînées).	52
3.4	Vue globale et schématique du poste de travail Télémaque (Palluel-Germain et al., 2007).	54
3.5	Deux ensembles de 10 stimuli utilisés pour l'apprentissage.	57
3.6	Moyenne des taux de réponse corrects pour les caractères dactylographiés et manuscrits, pour les 3 tests de reconnaissance.	57
3.7	Deux exemples de configurations visuelles affichées sur l'écran de l'ordinateur durant le test de reconnaissance de l'étude de Longcamp, Zerbato-Poudou, et Velay (2005).	60
4.1	Procédure de la tâche de jugement de CGP	72
4.2	Schématisme de l'animation utilisée lors de l'apprentissage. Un curseur rouge parcourt la lettre dans le sens conventionnel de l'écriture.	74
4.3	Exemple de stimulus utilisé lors de l'apprentissage. Contrairement à cette illustration, l'avancée du curseur était fluide et parcourait la lettre en 10s.	75
4.4	Proportion de hits en fonction de la proportion de fausses alarmes pour chaque sujet selon le groupe et le moment du test dans la tâche de jugement de CGP.	79
4.5	Indice de sensibilité d' et écarts types en fonction du Groupe. Notes : * $p < .05$	79
4.6	Moyennes des scores au décodage de pseudomots et erreurs standards en fonction du groupe et du type de syllabe (Entraînées, E ou Non-Entraînées, NE).	80

4.7	Performance des 8 sujets aux tests standardisés. MTC : Matrices Raven Standard; CL : Connaissance des lettres; CFG : Copie de figures-général (NEPSY II); PVM : Précision visuo-motrice (NEPSY II); FRC : Les Flèches (NEPSY II); FRE : Les cubes (WISC IV); NBC : Les Cloches (NEPSY II); EED : empan de chiffres endroit (ODEDYS II); EEV : empan de chiffres envers(ODEDYS II); SPI : Suppression de phonème initial (ODEDYS II); FP : Fusion de phonèmes (ODEDYS II).	89
4.8	Courbes ROC des performances au pré-test et au post-test chaque participant pour la tâche jugement de GCP.	90
4.9	Pourcentage de pseudo-mots décodés de chaque participant pour la tâche de décodage de PM selon le contexte et le groupe.	91
5.1	Miniatures des 8 stimuli visuels utilisés dans l'Étude 1	95
5.2	Taux de bonnes réponses et erreurs standards en fonction du groupe et du type d'item.	99
5.3	Indice d' et écarts types en fonction du groupe.	100
5.4	Distribution des temps de réponse en fonction du groupe. Notes : * $p < .05$	101
5.5	Symboles permettant d'indiquer la condition de tracé (Desk vs. Screen) lors de l'étude 3b.	107
5.6	Procédure de la phase test de l'étude 3b.	108
5.7	Indice d' et erreurs standards en fonction de la condition de tracé.	109
5.8	Temps de réaction moyens, Scores et d' selon le groupe (VA vs. VAM). Les barres d'erreurs correspondent aux erreurs standards.	112
5.9	Temps de réaction moyens, Scores et d' selon le groupe (VA vs. VAM). Les barres d'erreurs correspondent aux erreurs standards.	116
6.1	Schématisation du déroulé du dispositif expérimental pour un participant. Notes : CM : Ordre de présentation des Conditions d'Apprentissage de type "Contrôle" puis "Motricité"; C.A. : Condition d'Apprentissage; R.I. : Rappel Immédiat; R.D. : Rappel Différé; MC : Ordre de présentation des Apprentissages de type "Motricité" puis "Contrôle".	127
6.2	Illustration de la phase d'apprentissage en condition motricité de l'étude 5.	127
6.3	Illustration de la phase d'appariement. Les 12 formes présentées en bas de l'écran doivent être appariées avec les 12 sons présentés en haut de l'écran.	129
6.4	Scores moyens et erreurs standards en rappel immédiat au test d'appariement immédiat selon la Condition d'Apprentissage (Contrôle vs. Motricité).	131

6.5	Scores moyens et erreurs-standards aux tests d'appariement selon la Condition d'Apprentissage(Contrôle vs Motricité) et le Temps (Immédiat vs. Différé).	131
6.6	Scores moyens et erreurs standards au test de Dessin selon la Condition d'Apprentissage (Contrôle vs. Motricité).	132
6.7	Illustration des différentes coordonnées calculées concernant la lettre b. Chaque point rouge représente le barycentre de l'un des segments de la lettre.	137
6.8	Illustration des deux types d'entraînements (VAM vs. VA) de l'étude 6.	140
6.9	Pourcentage de lettres reconnues en fonction des facteurs Temps et Apprentissage.	143
6.10	Qualité du rendu final (a), de la fluidité (b) et du ductus (c) en fonction des facteurs Temps et Apprentissage.	143
6.11	Temps de crayon en l'air (a), nombre de moments statiques (b), durée totale des moments statiques (c), durée totale (d), vitesse moyenne (e), nombre de traits (f) et longueur totale (g) en fonction des facteurs Temps et Apprentissage.	145
6.12	Schématisation du déroulé du dispositif expérimental pour un participant avec deux étapes d'apprentissage et 4 tâches de test.	150
6.13	Performances des sujets dans les 4 tâches selon la condition d'apprentissage.	153
7.1	Schéma illustrant la séquence d'évènements en fonction du groupe lors de la présentation d'une association.	160
7.2	Performances des sujets dans les trois tests selon la condition d'apprentissage.	161
7.3	Illustration de la tâche de copie de lettres.	166
7.4	Schéma illustrant la séquence d'évènements en fonction du groupe lors de la présentation d'une lettre durant les entraînements.	167
7.5	Ecran de notation utilisé pour évaluer le rendu final des lettres tracées par les enfants.	168
7.6	Moyennes et erreurs standards de la progression obtenue entre le pré-test et le post-test en fonction des groupes et du type de lettres (i.e., Lettres Entraînées, LE vs. Lettres Non-Entraînées, LNE) pour les tâches 1 (Reconnaissance de phonèmes), 2 (Décodage de PM) et 3 (Dictée de PM).	171
7.7	Gain moyen de temps de réaction entre le pré- et le post-test au test 4 de reconnaissance des lettres pour les trois groupes.	171
7.8	Moyennes et erreurs standards de la progression obtenue entre le pré- et le post-test aux mesures du rendu final des lettres en fonction des groupes et du type de lettres (i.e., Lettres Entraînées / Non Entraînées) pour la tâche de copie de lettres.	172

7.9	Moyennes et erreurs standards de la progression obtenue entre le pré- et le post-test aux mesures du ductus du tracé des lettres en fonction des groupes et du type de lettres (i.e., Lettres Entraînées / Non Entraînées) pour la tâche de copie de lettres.	173
7.10	Ductus de la lettre g.	175
8.1	La forme bieup utilisée lors de l'étude 3a.	181
A.1	Associations utilisées lors de l'étude 4a.	208
B.1	Illustration de l'apparition progressive d'une forme en condition contrôle. . .	210

LISTE DES TABLEAUX

4.1	Procédure complète de l'Étude 2. Chaque séance d'apprentissage était individuelle et durait 10 à 15mn.	71
4.2	Caractéristiques des stimuli phonologiques (syllabes)	72
4.3	Caractéristiques des stimuli (i.e., lettres) en fonction du trait de voisement. . .	73
4.4	Temps de parcours en secondes du curseur rouge en fonction de la lettre. . .	74
4.5	Indices d' et données statistiques du test de Jugement de CGP.	89
5.1	Moyenne des TR (ms), Scores (%) et Indices d' en fonction du groupe et du type d'item. Les erreurs standard sont notées entre parenthèses.	99
5.2	Moyenne des TR (ms), Scores (%) et Indices d' en fonction du groupe dans les études 4a et 4b. Les erreurs standards sont notées entre parenthèses. . . .	116
6.1	Mots de contexte issus de la base de donnée Lexique 3.8 (New, Pallier, Ferrand, & Matos, 2001) utilisés lors de l'apprentissage. Les fréquences lexicales sont données entre parenthèses.	137
6.2	Procédure générale de l'étude 6.	138
7.1	Mots de contexte issus de la base de donnée Lexique 3.8 (New et al., 2001) utilisés lors de l'apprentissage.	164

LISTE DES ENCARTS

Encart 1 : The Perceptual Nature of the Cross-Modal Priming Effect (Experiment 1, Vallet, Brunel, & Versace, 2010), *page 15*

Encart 2 : Memory and consciousness : Trace distinctiveness in memory retrievals (Brunel, Oker, Riou, & Versace, 2010), *page 35*

Encart 3 : How does Action improve memory ? The importance of causality (Macri, Boisson, & Versace, soumis), *page 39*

Encart 4 : How can low-skilled 5-year-old children benefit from multisensory training on the acquisition of the alphabetic principle ? (Labat, Ecalle, Baldy, & Magnan, 2014), *page 48*

Encart 5 : Effet d'entraînements bimodaux à la connaissance des lettres. Étude transversale chez des enfants de trois et cinq ans (Labat, Ecalle, & Magnan, 2010), *page 52*

Encart 6 : Remembering the orientation of newly learned characters depends on the associated writing knowledge : A comparison between handwriting and typing (Longcamp, Boucard, Gilhodes, & Velay, 2006), *page 57*

Première partie

Le cadre théorique

INTRODUCTION

L'apprentissage est un mécanisme central du fonctionnement cognitif : nous apprenons tout au long de notre vie et ce dès nos premières heures d'existence. Apprendre... Ne serait-ce pas là l'une des capacités exceptionnelles qui rend le cerveau humain si unique et passionnant ? Ainsi nous connaissons plusieurs centaines de visages, plusieurs milliers d'objets et de mots. Ces trois exemples n'ont pas été choisis au hasard, pouvez-vous identifier leur point commun ? Ces trois exemples sont des associations audio-visuelles, mais elles ont également la particularité d'être totalement arbitraires. Il est ainsi impossible de deviner le prénom d'un visage inconnu ou encore le nom d'un objet nouveau. D'après Sébastien Martinez, champion de France de la mémoire, mémoriser consiste à créer du lien (Martinez, Wenger, & Raut, 2018). Dans ce cas, comment fait-on pour mémoriser des associations dépourvues de liens naturel ? Ainsi, le premier objectif de ce document sera théorique et visera à étudier les mécanismes cognitifs impliqués dans l'apprentissage d'associations audio-visuelles. Le second objectif quant à lui sera pratique : puisque la mémorisation d'associations de ce type est fondamentale, de nombreux praticiens ont cherché à élaborer des méthodes pour favoriser et optimiser les apprentissages. Par exemple, pour apprendre à lire et à écrire, les enfants doivent commencer par apprendre les correspondances grapho-phonémiques. Si beaucoup d'études ont été réalisées sur le sujet, il n'y a jamais eu de véritable tentative d'application des modèles de la mémoire pour aider à la compréhension des mécanismes d'apprentissage impliqués en lecture. Inversement, les travaux sur la mémoire ont rarement regardé du côté des recherches sur l'apprentissage

de la lecture-écriture pour valider leurs hypothèses. Or, un des intérêts du modèle de la mémoire servant de support à ce document est justement de proposer une approche intégrée du fonctionnement cognitif et pas seulement de la mémoire. Un des enjeux majeurs est donc de montrer que les mécanismes mnésiques de base décrits dans le modèle proposé interviennent dans toutes sortes d'activités cognitives. Ainsi, à partir de la compréhension de ces mécanismes mnésiques, nous tenterons d'étudier les facteurs favorisant la mémorisation d'associations audio-visuelles. Nous verrons par exemple que la motricité peut, dans certaines conditions, se révéler avoir un rôle bénéfique. Ces études seront réalisées chez l'adulte, mais également chez les enfants en prenant comme terrain d'étude l'apprentissage des correspondances grapho-phonémiques. Cette thèse se situe donc au carrefour de deux grands domaines, le domaine de la mémoire et celui de l'apprentissage de la lecture/écriture. Bien que ces deux domaines traitent d'apprentissage et donc de mémoire, ils sont pourtant rarement associés.

Dans le premier chapitre de cette thèse, nous poserons les bases théoriques concernant le fonctionnement mnésique sur lesquelles reposent l'ensemble des études. De plus en plus de travaux s'intéressant à la mémoire s'inscrivent dans une conception incarnée de la cognition (Barsalou, 2008; Glenberg, Witt, & Metcalfe, 2013) et défendent l'idée que la mémoire a pour fonction première de mettre en lien les stimuli qui proviennent de l'environnement et les expériences passées en vue de permettre aux personnes de maintenir leur adaptation au monde. Parler de la mémoire comme d'un mécanisme adaptatif permet de rendre compte de l'importance de l'activité du sujet, de ses attentes, du contexte au sens large dans lequel il se situe. C'est dans cette approche que se situe le modèle Act-in qui servira de support à cette thèse (Versace et al., 2014; Versace, Labeye, Badard, & Rose, 2009). Le mécanisme d'intégration, mécanisme central dans ce modèle pour l'efficacité de la mémoire, sera l'objet du second chapitre, tandis que le troisième chapitre fera état de la littérature scientifique concernant l'apprentissage des correspondances grapho-phonémiques et l'influence de facteurs bénéfiques tels que la motricité. Ces trois chapitres théoriques seront suivis de 4 chapitres expérimentaux dans lesquelles diverses situations d'apprentissages et hypothèses seront testées. Ces 4 chapitres mélangeront des études chez les adultes et chez les enfants en créant un parallèle systématique entre les études de ces deux populations. Pour finir, une discussion générale permettra de synthétiser et de faire le lien entre les diverses études.

COGNITION INCARNÉE ET MODÈLE ACT-IN

De nombreuses techniques d'apprentissage sont fondées sur la conception classique selon laquelle les connaissances conceptuelles sont indépendantes des situations dans lesquelles elles sont apprises et utilisées. Cependant cette vision classique de la cognition est contestée par un ensemble croissant d'études démontrant que la connaissance n'est pas indépendante de l'environnement. Dans cette approche explicative du fonctionnement cognitif, la cognition est alors dite « située » ou encore « incarnée ». Après une entrevue rapide de la vision structuraliste de la cognition, ce chapitre aura pour objectif de présenter dans un premier temps les grands principes de la cognition incarnée puis dans un second temps le modèle Act-In (Versace et al., 2009, 2014), modèle fonctionnel de mémoire à traces multiples s'inscrivant dans le cadre de la cognition incarnée.

1.1 LE STRUCTURALISME

Dans les années 60, les recherches sur les effets de récence et de primauté ont amené les chercheurs à considérer que la mémoire serait en réalité divisée en plusieurs systèmes mné-

siques bien distincts (Atkinson & Shiffrin, 1968; Waugh & Norman, 1965). Ainsi, selon Atkinson et Shiffrin (1968), l'effet de récence serait le reflet d'un système mnésique à court terme dont la capacité de stockage est temporaire et limitée tandis que l'effet de primauté s'expliquerait par la présence d'un système mnésique à long terme permettant de stocker de manière durable un nombre d'informations potentiellement illimité. Dans la lignée de ce modèle, de nombreux autres travaux ont tenté, en fonction d'observations phénoménologiques et d'études neuropsychologiques d'en déduire une organisation multi-systémique de la mémoire. Par exemple, Tulving (1972, 1995), propose de distinguer trois systèmes mnésiques distincts permettant de rendre compte de la nature phénoménologiquement diverse de nos connaissances (voir figure 1.1). Ainsi, le système sémantique permettrait de stocker des connaissances générales, décontextualisées et amodales comme par exemple le fait de savoir que Paris est la capitale de la France. Ensuite, le système épisodique serait associé aux événements vécus par l'individu dans un contexte spatio-temporel précis tel que le souvenir d'un événement marquant. Pour finir, la mémoire procédurale serait constituée de connexions apprises entre des stimuli et des réponses adaptées à l'environnement. Il s'agirait donc d'une mémoire des habiletés motrices telle que faire du vélo. Par la suite, un quatrième système sera ajouté par Tulving, le SRP. Ce système dédié aux représentations perceptives permet d'expliquer les effets d'amorçages perceptifs ainsi que de décrire les processus permettant l'abstraction, c'est à dire la transformation d'un percept en une représentation abstraite compréhensible par le système sémantique. Ce SRP serait lui-même divisé en un SRP de la forme visuelle des mots, un SRP de la forme auditive des mots et un SRP de la description structurale des objets. Ainsi, entre les années 1970 et 2000, les différentes évolutions du modèle (pour une description plus détaillée, voir Desgranges & Eustache, 2011) ont permis à Tulving d'affiner la description des systèmes ou encore de préciser la hiérarchisation entre ces différents systèmes (voir figure 1.1). Ces travaux sont emblématiques du structuralisme. Les caractéristiques essentielles de cette vision classique du fonctionnement cognitif sont le caractère modulaire (Fodor, 1985), hiérarchique et séquentiel des traitements ainsi que la nature symbolique des représentations impliquées. Les connaissances sont stockées dans un système sémantique séparé des systèmes cérébraux modaux impliqués dans la perception, l'action ou encore les émotions. Ainsi les représentations dans les systèmes modaux sont transformées en symboles amodaux représentant la connaissance. Cette connaissance est totalement décontextualisée, indé-

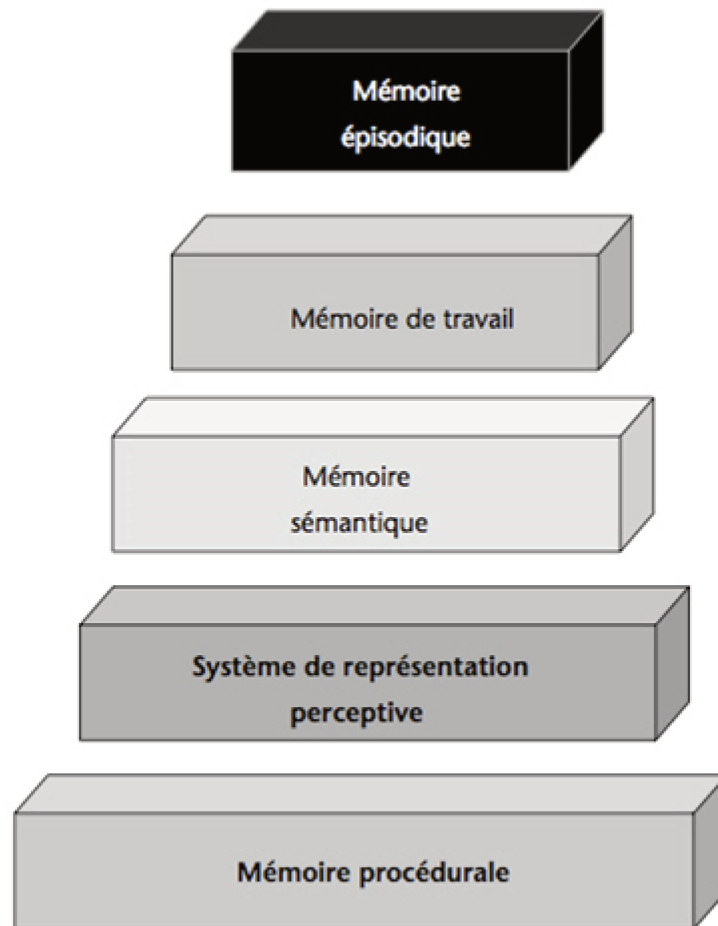


Figure 1.1. Organisation hiérarchique de la MLT selon Tulving (1995). Illustration provenant de l'article de Martins et al. (2006)

pendante de l'environnement dans laquelle elle a été apprise. En parallèle et en opposition à cette conception de la cognition s'est développée une autre vision du fonctionnement cognitif dans laquelle la connaissance est intrinsèquement liée à l'environnement du sujet. Dans cette approche explicative du fonctionnement cognitif, la cognition est alors dite « située » ou encore « incarnée ».

1.2 VERS UNE COGNITION SITUÉE ET INCARNÉE

Le champ théorique de la cognition incarnée et située n'a pas un lieu de naissance précis ni un « père » unique. Ce courant a émergé lentement depuis la fin du 20^{ème} siècle et continue toujours à l'heure actuelle son expansion (voir [Versace, Brouillet, & Vallet, 2018](#), pour une évocation des travaux de ce domaine). Parmi les travaux précurseurs, on

peut citer deux courants majeurs de la seconde moitié du 20^{ème} siècle, le connexionnisme et l'énactivisme.

1.2.1 Le connexionnisme

Le connexionnisme est une approche de modélisation du fonctionnement cognitif (pour une revue, voir [Medler, 1998](#)) s'opposant à une vision computationnaliste dans laquelle l'esprit est un système de traitement de l'information semblable à un ordinateur hautement modularisé et basé sur l'application de règles logiques (i.e., algorithmes). Au contraire, le connexionnisme permet de modéliser la cognition en s'inspirant du fonctionnement biologique du cerveau. Cette modélisation se construit à partir d'un réseau d'unités simples interconnectées dont les patterns d'activations vont engendrer une auto-organisation du réseau. Ces travaux reposent sur les recherches de Hebb ([1949](#)) qui explique l'apprentissage chez l'animal comme le résultat d'une dynamique entre les connexions synaptiques des neurones. Lorsque deux neurones sont excités conjointement, un lien se crée ou se renforce. Au contraire, si ces deux neurones ne sont plus activés conjointement, le poids de leur connexion diminue. L'activation d'un neurone entraînera automatiquement une diffusion d'activation vers les neurones ainsi connectés. Par conséquent, les unités simples du réseau sont des unités subsymboliques dont les interactions contribuent à l'émergence de symboles et donc d'états mentaux et de comportements. Cette approche s'oppose donc à la vision structuraliste concernant la nature des connaissances. Ces connaissances ne seraient pas modales et symboliques et ne refléterait pas la réalité objective mais seraient le fruit d'une émergence. La grande qualité du connexionnisme est de concevoir les activités cognitives d'une manière biologiquement plausible avec comme unité de base le neurone et comme principe une auto-organisation du système.

1.2.2 L'énactivisme

D'une manière différente, l'auto-organisation est également évoquée dans le courant énéactiviste qui se caractérise par une auto-organisation de l'organisme en interaction avec l'environnement. Ce courant prend sa source dans les travaux de J. J. Gibson ([1950, 1966](#)) ; [J. Gibson \(1979\)](#) qui envisage dans sa « théorie écologiste » que la cognition n'est

pas seulement une construction du cerveau à partir d'informations sensorielles mais plus généralement une construction à partir de l'interaction entre le sujet et son environnement. Cette notion capitale sera davantage développée par Varela, Thompson, et Rosch (1991) dans leur ouvrage intitulé « The Embodied Mind ». Ces auteurs introduisent le concept d'énaction et défendent l'idée que la cognition est « incarnée » c'est à dire ancrée dans le corps et qu'elle émerge dans ses interactions avec le monde environnant. Ainsi la pensée ne serait pas déconnectée du corps, elle serait plutôt une activité fortement influencée par le corps et résulterait de l'interaction entre le cerveau et son environnement (Glenberg et al., 2013).

1.2.3 La cognition incarnée

Ces différents auteurs et courants de pensée sont à l'origine de l'émergence de la cognition incarnée. Dans cette conception, la cognition est qualifiée d'incarnée, de située ou encore d'enracinée (« grounded » en anglais). Barsalou (2008) choisit d'employer le terme « grounded cognition » plutôt que « embodied cognition » afin de ne pas laisser penser que les états internes du corps sont systématiquement nécessaires à la cognition. Il indique également que l'adjectif « incarnée » dans « cognition incarnée » pourrait finir par disparaître laissant simplement la place à « cognition ». Cette remarque traduit l'ambition de ce courant de pensée d'expliquer l'ensemble du fonctionnement cognitif et non pas certains aspects seulement.

Ainsi, la cognition incarnée a pour ambition de redéfinir la cognition humaine. Naturellement, cette redéfinition n'est pas strictement unitaire : de nombreux penseurs y contribuent et différentes conceptions peuvent émerger (notamment sur la notion de représentations, voir Versace et al., 2018). Cependant, l'ensemble de ces contributeurs s'accordent sur deux grands principes caractérisant ce cadre théorique : (a) la cognition est incarnée et située c'est-à-dire qu'elle doit être envisagée en accordant un rôle fondamental au corps et à l'interaction de l'individu avec son environnement et (b) les connaissances ne sont pas représentées par des symboles amodaux mais sont bien au contraire modales et situées.

Une cognition incarnée et située

La cognition est qualifiée d'incarnée et de située : elle n'a plus pour simple rôle de traiter les informations de l'environnement, elle permet plus généralement l'adaptation de l'individu à la situation présente. Cet aspect s'illustre parfaitement par la série d'expérience de Proffitt et collaborateurs (Proffitt, 2006 ; Proffitt & Linkenauger, 2013) dans laquelle un paradigme original de jugement de pente était utilisé. Comme l'illustre la figure 1.2, les participants avaient pour tâche de juger, de façon verbale, visuelle ou haptique, l'inclinaison d'une pente. Afin d'influencer ce jugement, plusieurs conditions expérimentales ont été élaborées. Dans une première étude, Bhalla et Proffitt (1999) ont lesté les participants avec un sac à dos lourd. Les résultats ont montré que ce sac à dos entraînait une sur-estimation de l'inclinaison de la pente lorsque la réponse était donnée de façon verbale ou visuelle. En revanche, les estimations étaient très précises lorsqu'elles étaient effectuées via un dispositif haptique (pour une illustration de ce dispositif, voir figure 1.2). Pour les auteurs, le jugement haptique nécessite une réponse motrice qui implique des mécanismes différents que ceux engagés dans les jugements verbaux et visuels. Ces auteurs ont également observé que les sujets fatigués, âgés ou malades percevaient la pente comme plus abrupte. En ré-utilisant ce même paradigme, Schnall, Zadra, et Proffitt (2010) ont manipulé le taux de glucose dans le sang des participants. Ces derniers, avant de juger de l'inclinaison de la pente, devaient boire une boisson énergisante fortement calorique (environ 30 grammes de sucre pour 250 ml) ou un placebo visuellement identique mais peu calorique (1.3 grammes de sucre pour 250 ml). Les résultats indiquent que les participants ayant bu la boisson calorique percevaient la pente comme moins inclinée que ceux ayant bu le placebo. Dans la continuité de ces études, (Riener, Stefanucci, Proffitt, & Clore, 2011) ont tenté de manipuler l'état émotionnel des sujets. Afin d'induire un état émotionnel triste ou joyeux, les sujets ont soit écouté une musique typiquement joyeuse ou triste (Expérience 1), soit relaté un souvenir personnel joyeux ou triste. Les résultats ont indiqué que les participants ayant été induit dans une humeur triste ont perçu la pente comme plus raide que ceux induit dans une humeur joyeuse.

Ces résultats témoignent que ce que l'on perçoit est non seulement influencé par l'information visuelle, mais aussi par nos objectifs, notre état physiologique et nos émotions. Les perceptions sont incarnées, elles relient le corps et les objectifs aux possibilités et aux



Figure 1.2. Illustration issue de Proffitt (2006) du paradigme de jugement de pente

coûts d’agir dans l’environnement (Proffitt, 2006). Ces données prouvent que les mécanismes perceptifs ne devraient pas être considérés comme des algorithmes qui traitent l’information de manière déconnectée du corps. Au contraire, le corps, la situation présente et notamment l’action que réalise le sujet sont des éléments fondamentaux pour permettre une compréhension du monde environnant. Cette représentation particulière du monde pose d’ailleurs la question cruciale du support de la cognition et de la nature des représentations.

Des représentations modales

Dans sa conception la plus radicale, la cognition incarnée va jusqu’à nier l’existence même de représentations (pour une discussion, voir Versace et al., 2018), cependant quels que soit les courants de pensée, tous les auteurs s’accordent sur le fait que le support de la cognition doit : a) servir à l’adaptation de l’individu dans son interaction avec l’environnement et b) être biologiquement compatibles avec le système dans lequel il est implanté, le cerveau. En s’inspirant des modèles connexionnistes, l’approche incarnée et située de la cognition considère que les connaissances sont modales et distribuées sur l’ensemble

du cerveau. Afin de démontrer expérimentalement le caractère modal des connaissances, Vallet et al. (2010) ont élaboré un paradigme d’amorçage intermodal (pour plus de détails, voir encart 1). L’expérience se déroulait en 2 phases, une phase d’étude (ou d’apprentissage) et une phase test. Dans la phase d’étude, les participants ont dû catégoriser des amorces auditives comme « animaux » ou « objets ». Ces amorces étaient présentées avec ou sans un masque perceptif visuel. Dans la phase d’essai, ils devaient effectuer la même tâche de catégorisation avec des cibles visuelles qui correspondaient ou non aux anciens stimuli. Les résultats ont montré que le masque visuel associés à certains stimuli auditifs en phase d’étude a interféré avec le traitement des cibles visuelles en phase test. Ces résultats sont des preuves solides de la nature sensorielle des représentations mnésiques et semblent incompatibles avec une approche structurelle de la mémoire dans laquelle les connaissances sont amodales.

Dans cette même optique, de nombreuses études expérimentales ont été réalisées dans les domaines du langage (i.e., perception et production de la parole) et de la langue écrite (i.e., lecture et écriture). Ces champs sont particulièrement pertinents à étudier car ils constituent l’un des principaux arguments en faveur d’une conception classique de la cognition. En effet, il paraît tout à fait intuitif de penser que le langage est le produit de la manipulation de concepts abstraits totalement indépendants du corps et des régions cérébrales liées à la perception ou à l’action. Dans cette perspective, le langage est modulaire tel que le concevait Fodor (1985) et les concepts manipulés sont abstraits, amodaux et représentés de manière indépendante au sein du cerveau. En opposition à cela, il est cependant possible d’imaginer un fonctionnement purement incarné à la base de nos capacités langagières. Selon Gallese † et Lakoff (2005), les mêmes circuits qui structurent la perception et l’action structurent également les pensées abstraites. En compréhension du langage, Zwaan et al. (2002) ont demandé à leurs participants de lire des phrases évoquant un objet ou un animal dans une certaine position (e.g., un aigle en vol ou perché dans son nid ou encore un œuf dans une boîte ou dans une poêle). Après chaque phrase, le dessin d’un objet/animal était présenté (voir figure 1.3) et les participants devaient soit indiquer si oui ou non cet objet/animal était mentionné dans la phrase (Expérience 1), soit nommer l’objet/animal (Expérience 2). Dans les deux expériences les participants ont été plus rapides lorsque la forme de l’objet/animal était congruente avec sa représentation imagée. Selon ces auteurs, ces résultats supportent l’idée qu’il y aurait une activation de symboles



Figure 1.3. Illustration du matériel utilisé par Zwaan et al. (2002). L'œuf peut être visualisé sous deux formes différentes.

perceptifs des référents durant le processus de compréhension, et ce même si ces symboles perceptifs ne sont pas explicitement exposés. La lecture d'une phrase mentionnant un œuf dans une poêle aurait automatiquement entraîné une simulation, dans les systèmes sensori-moteurs dédiés à la perception, de la vision de cet œuf. Cette pré-activation aurait ainsi facilité le traitement visuel de la cible lors de la tâche de reconnaissance.

Ces données suggèrent que les systèmes sensori-moteurs seraient donc directement impliqués dans les mécanismes de compréhension du langage ce qui a été brillamment démontré par Hauk, Johnsrude, et Pulvermüller (2004) dans une étude en neuroimagerie. Ces auteurs ont montré que lorsque l'on entend un mot tel que « cueillir », les zones du cortex moteur liées à la motricité manuelle étaient activées tandis que lorsque l'on entend un verbe tel que « donner un coup de pied », les zones du cortex moteur liées à la motricité des jambes sont activées. Le pattern d'activation engendré par un mot refléterait donc la représentation corticale de l'action auquel ce mot réfère. Selon ces chercheurs ces résultats vont à l'encontre d'un système sémantique au sein du cerveau et tendraient à supporter l'idée que les mots oraux sont traités dans des systèmes neuronaux distribués au travers de l'ensemble du cerveau avec des liens cortico-corticaux entre les différentes zones sensori-motrices du cerveau. La cognition incarnée permet donc de concevoir le langage d'une façon biologiquement et théoriquement plausible avec des liens bidirectionnels entre langage et action : se préparer à bouger la main affecte la compréhension du langage à propos de mouvements de mains tandis que la compréhension du langage affecte la préparation motrice (Aravena et al., 2010).

La cognition incarnée rejette donc la conception jusqu'alors dominante dans les sciences

cognitives selon laquelle des symboles amodaux représenteraient les connaissances. Au contraire, les connaissances sont de nature sensorimotrice et émergent de l'interaction entre l'individu et la situation présente. Dans cette perspective, les mécanismes impliqués dans les activités perceptives et mnésiques ne peuvent plus être totalement dissociés.

Encart 1 : The Perceptual Nature of the Cross-Modal Priming Effect (Experiment 1, Vallet et al., 2010)

Objectif : Démontrer que l'effet d'amorçage intermodal est perceptif et donc cohérent avec l'idée que la connaissance est fondamentalement modale.

Participants : 24 participants adultes ont participé à l'expérience.

Matériel :

60 images et de 60 sons correspondants. La moitié des stimuli correspondait à des objets, l'autre moitié à des animaux (e.g., un sifflet et un chien).

Un masque visuel (voir figure 1.4)

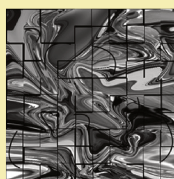


Figure 1.4. Exemple de masque visuel utilisé dans l'expérience

Procédure : L'expérience se déroulait en 2 phases, une phase d'étude et une phase de test. Lors de la phase d'étude, les participants entendaient 40 sons dont 20 étaient présentés avec le masque visuel. Les participants devaient juger si le son entendu correspondait à un objet ou à un animal.

Lors de la phase test, les participants voyaient 60 images et devaient les catégoriser (objet ou animal). Parmi ces 60 images, 20 correspondaient à stimuli totalement nouveaux (aucun son correspondant lors de la phase d'étude), 20 stimuli correspondaient à un son présenté avec le masque visuel, et enfin les 20 derniers stimuli correspondaient à un son présenté sans masque.

Résultats :

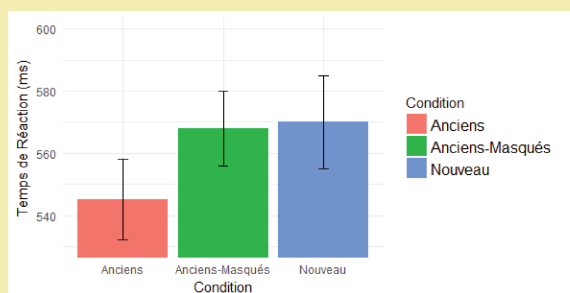


Figure 1.5. Moyennes et erreurs standards des temps de réactions selon les 3 conditions.

Un effet d'amorçage intermodal est observé : les participants ont été plus rapide à traiter les images dont ils avaient entendu le son en phase d'étude (voir figure 1.5). Cependant, cet effet de facilitation ne s'observe pas concernant les stimuli présentés avec un masque visuel en phase d'étude. Par conséquent, le masque visuel a interféré avec l'activation automatique de la représentation visuelle associée à l'amorce auditive en mémoire.

Perception et mémoire : vers des mécanismes communs

Afin d'illustrer les liens étroits qui existent entre les mécanismes perceptifs et mnésiques, Goldstone (1995) a réalisé une étude dans laquelle des sujets étaient dans un premier temps exposés à des associations simples entre une forme (e.g., un carré) et une couleur (e.g., rouge foncé). Dans un second temps, une forme colorée était présentée aux sujets (e.g., un carré rouge) qui devaient simplement reproduire sa couleur. Les résultats ont montré que les sujets avaient tendance à déformer la couleur vers la couleur prototypique initialement exposée. Ces résultats démontrent que les mécanismes mnésiques peuvent venir interférer et biaiser les mécanismes perceptifs. Pour aller plus loin dans l'étude de tels biais, Rey (2014) ont élaboré une expérience en deux phases (voir figure 1.6), une phase d'étude et une phase test. Dans la première phase, deux types de masques (i.e., masque visuel à forte réduction de visibilité ou masque contrôle) étaient associés via 30 répétitions à un son aigu ou grave. Dans la seconde phase, des stimuli visuels étaient présentés à l'écran de manière simultanée à un son aigu ou grave. Les participants avaient pour tâche de juger le plus rapidement possible si le stimulus était un animal ou un artefact. Les résultats ont montré que les participants étaient plus lents à juger les cibles lorsqu'elles étaient présentées avec le son associé au masque visuel. Lors de la présentation des stimuli, ce masque n'était pas présent, cela veut donc dire qu'il a été réactivé en mémoire en raison de son association avec le son. De plus, cette activation en mémoire est venue interférer avec les processus perceptifs mis en jeu pour catégoriser le stimulus. Selon ces auteurs, ces résultats démontrent que les processus perceptifs et mnésiques sont similaires, la principale différence serait l'absence (concernant la mémoire) ou la présence (concernant la perception) des propriétés sensorielles impliquées dans l'activité.

La cognition ne peut être incarnée que si elle est intrinsèquement mnésique. En effet dans ce cadre théorique, la mémoire n'a pas pour fonction de récupérer des connaissances diverses, elle permet plus largement l'adaptation de l'individu à la situation présente et à l'activité engagée. Les épisodes passés façonnent la cognition en émergeant sous forme de connaissances et de savoir-faire. La mémoire étant si cruciale, l'un des enjeux fondamentaux est donc de concevoir et modéliser le fonctionnement mnésique et les mécanismes qui le sous-tendent.

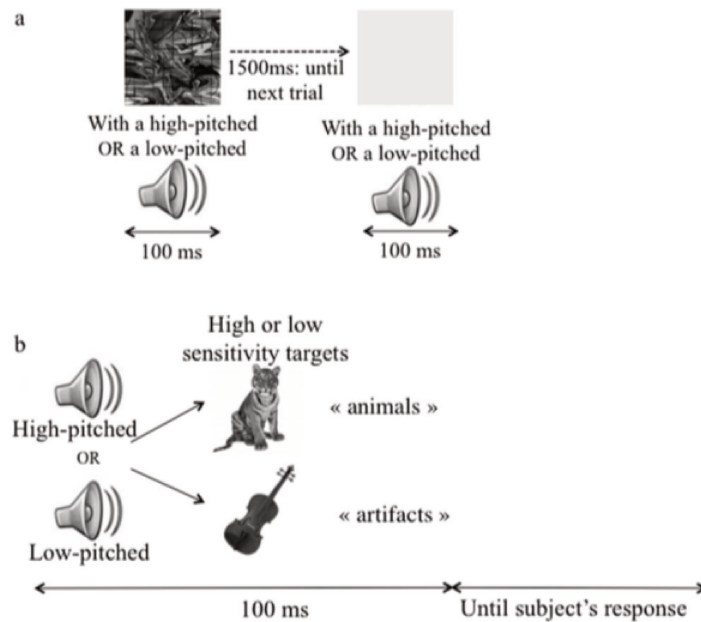


Figure 1.6. Illustration du paradigme de Rey (2014) avec a) une phase d'étude et b) une phase de test.

Les modélisations incarnées de la mémoire

Parmi les modélisations de la mémoire, les modèles à traces multiples (pour une revue, voir Versace, Nevers, & Padovan, 2002) sont sur de nombreux points proches de la vision incarnée de la cognition. Ces modèles conçoivent la mémoire comme un système unitaire qui conserve toutes les traces des expériences des individus. Ces traces mnésiques sont donc épisodiques et multisensorielles et reflètent les multiples propriétés sensorielles des expériences vécues. Par exemple, le modèle Minerva II (Hintzman, 1986, 1988) modélise la mémoire sous la forme d'une matrice dont les lignes représentent les traces mnésiques sous forme de vecteurs, et les colonnes les primitives, c'est à dire les composantes sensorielles des traces (voir figure 1.7). Dans ce modèle, la situation présente, appelée la « sonde » est également codée comme un vecteur et va avoir pour effet d'activer en parallèle les traces mnésiques. La réponse de la mémoire, appelé « écho » correspond à la somme des activations des traces mnésiques et reflète le degré de similarité entre la sonde et les traces en mémoire. Plutôt que d'une « récupération », il s'agit ici d'une émergence de connaissance.

Un second modèle fondamental, lié à la cognition incarnée est le modèle Perceptual Symbol Systems (PSS) de Barsalou (1999), un modèle de catégorisation qui possède de

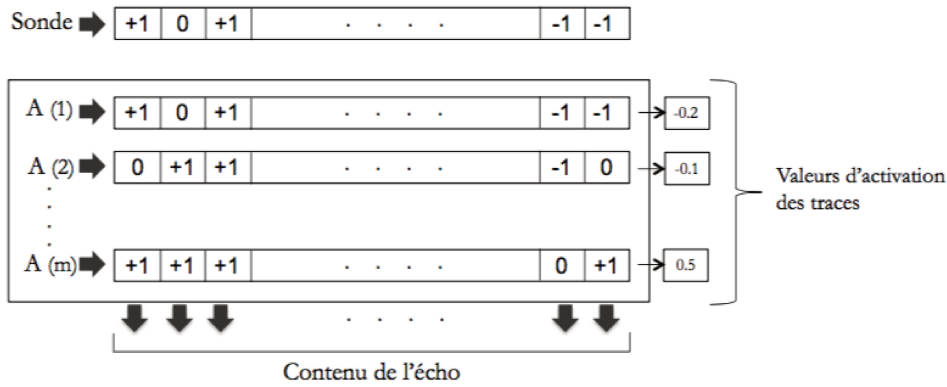


Figure 1.7. Illustration du modèle Minerva II (Hintzman, 1986).

nombreux aspects liés à la mémoire. Via ce modèle, Barsalou a souhaité montrer qu'il était possible de concevoir une théorie perceptuelle de la connaissance (i.e., n'étant pas basée sur des symboles amodaux) capable de mettre en œuvre un système conceptuel pleinement fonctionnel. Selon cette théorie, les connaissances émergent de la simulation des états sensoriels et moteurs d'expériences passées. Ainsi les connaissances ne sont pas figées en mémoire, elles sont construites à partir de la réactivation de symboles perceptifs lors de l'interaction entre l'individu et son environnement. Ces symboles sont définis comme des résumés des expériences, des schémas des principales caractéristiques perceptuelles des objets qui sont construits à la suite de la confrontation à différents exemplaires d'une même catégorie. La notion clé de ce modèle est la notion de simulation : les simulations d'expériences perceptives, motrices et introspectives sous-tendraient la représentation et le traitement des connaissances. Par exemple, pour se représenter le concept maison, on effectuerait une simulation multimodale des expériences liées à des maisons incluant des perceptions de maisons, des actions sur des maisons ou encore des introspections liées à des maisons comme des émotions ou des croyances (Wu & Barsalou, 2009). Dans cette perspective, les représentations sont envisagées comme le produit de (re) créations à partir d'états perceptifs passés. Ainsi, le mécanisme de simulation, via une ré-évoation d'expériences passées permet à l'individu de s'adapter à la situation présente. Wu et Barsalou (2009) ont illustré ce mécanisme via un paradigme de « feature listing » dans lequel les participants devaient lister des propriétés en rapport à un mot donné (e.g., pour le mot requin, les propriétés dents, poisson, mer, dangereux). Via plusieurs observations sur les caractéristiques des propriétés listées ainsi que plusieurs manipulations expérimentales, les auteurs ont déterminé que les sujets procédaient naturellement à des simulations mentales.

Par exemple, ils ont remarqué que les propriétés non-occluses étaient moins souvent générées que les propriétés visuellement occluses. De plus, le groupe de participants n'ayant reçu aucune consigne particulière a produit les mêmes distributions de propriétés que les participants à qui l'on avait demandé explicitement de réaliser de l'imagerie mentale pour réaliser la tâche. Cette notion de simulation permet de concevoir l'émergence des connaissances d'une façon élégante et incarnée, elle est ainsi, sous une forme ou sous une autre, massivement influencée par la plupart des modélisations dites incarnées de la cognition.

En conclusion, tout comme les modèles fonctionnels de la mémoire (Hintzman, 1984; Whittlesea, 1987), les modèles issus du cadre de la cognition incarnée et située s'opposent à la vision structuraliste selon laquelle : a) la perception et la mémoire seraient liés par une suite de traitements séquentiels et hiérarchisés, b) les connaissances ainsi transformées seraient amodales. Au carrefour de ces deux champs de recherche, le modèle Act-In (Versace et al., 2009, 2014) propose de décrire les mécanismes impliqués dans la formation des traces mnésiques ainsi que dans l'émergence des connaissances.

1.3 LE MODÈLE ACT-IN

Issu des modèles à traces multiples et inséré dans la perspective de la cognition incarnée et située, le modèle Act-In (Versace et al., 2009, 2014) vise à décrire les mécanismes mnésiques impliqués dans l'émergence des connaissances. Il se base sur quatre hypothèses principales : a) Les traces en mémoire reflètent tous les composants des expériences passées et, en particulier, leurs propriétés sensorielles ainsi que les actions exécutées sur les objets de l'environnement. Les traces en mémoire sont donc distribuées sur plusieurs systèmes neuronaux qui codent les multiples composants des expériences. b) La connaissance est émergente et est le produit du couplage entre l'expérience présente et les expériences passées. c) Le cerveau est un système de catégorisation qui se développe en accumulant des expériences et qui, par défaut, produit de la connaissance catégorielle. d) L'émergence d'une connaissance spécifique (souvenirs ou connaissance épisodique) demande des mécanismes très simples qui opèrent durant l'apprentissage et/ou la récupération (i.e., activation interactive et intégration). Ce modèle s'attache à décrire les mécanismes d'activation interactive et d'intégration : la dynamique entre ces deux mécanismes serait à

l'origine de l'émergence des connaissances.

1.3.1 Le mécanisme d'Activation interactive

En la présence d'un indice, il y a une diffusion de l'activation entre les propriétés de l'indice et les propriétés des traces (i.e., diffusion inter-traces) mais aussi une diffusion de l'activation entre les propriétés activées par l'indice et les autres propriétés au sein des traces (i.e., diffusion intra-traces). Le résultat obtenu donnera ce que Hintzman appelle l'écho (Hintzman, 1984). Ces deux types de diffusion d'activation dépendent de la nature de l'indice, interviennent en parallèle et sont en compétition pour déterminer le contenu de la récupération. Ils sont dissociables au niveau de l'émergence produite : la diffusion inter-traces est associée à des traitements de type catégoriel via l'activation d'un grand nombre de traces tandis que la diffusion intra-traces serait liée à des traitements de type discriminant via l'activation de traces moins nombreuses mais plus distinctes. De ce fait des effets de généralisation, de typicalité, de familiarité et des erreurs de type faux souvenirs seront associés à la diffusion inter-traces tandis que la diffusion intra-traces sera associée à des effets de discrimination, de distinctivité, de recollection ainsi que des erreurs de type mauvaises recombinaisons (Brunel, 2010).

La figure 1.8 permet d'illustrer l'organisation des traces et le rôle des deux mécanismes principaux du modèle Act-In. Ainsi, imaginez voir une pomme devant vous. La pomme perçue, qui représente la « situation présente » possède principalement des propriétés visuelles. Le processus de diffusion inter-traces va alors permettre d'activer en mémoire les traces mnésiques possédant le plus de similarités avec ce percept. Ainsi, toutes vos précédentes visions de pommes seront réactivées. En parallèle, le processus de diffusion intra-traces va permettre une activation des propriétés des traces sélectionnées. Lors de vos précédentes interactions avec des pommes, il est probable que vous ayez entendu le mot « pomme », goûté à ce fruit ou encore agi sur ce fruit en le saisissant ou en le croquant. Ces diverses propriétés des traces mnésiques activées seront donc également activées même si elles ne sont pas perceptiblement présentes. La dynamique entre ces deux types d'activation résultera en une émergence de connaissances et de comportements adaptés à la situation. Vous saurez alors qu'il s'agit d'une « pomme » et que vous pouvez potentiellement la saisir et la manger.

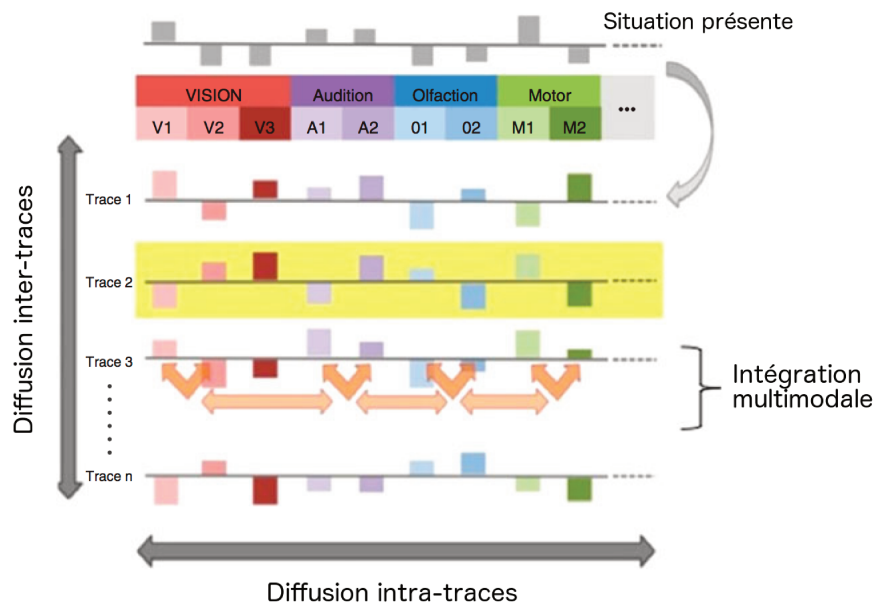


Figure 1.8. Illustration du modèle Act-in (Versace et al., 2014).

1.3.2 Le mécanisme d'Intégration

L'intégration multimodale est le second mécanisme fondamental du modèle Act-In. D'une manière générale, l'intégration détermine le poids avec lequel les propriétés des traces mnésiques sont reliées au sein d'une trace mnésique cohérente. Ce mécanisme étant l'un des objets d'étude fondamental de cette thèse, le chapitre 2 lui est entièrement consacré. L'intégration multimodale est le sujet de nombreux travaux dans la littérature, ce chapitre aura pour objectif de faire un tour d'horizon de ces travaux afin de décrire son rôle au sein de la cognition mais également de déterminer les facteurs qui ont une influence sur son fonctionnement.

LE MÉCANISME D'INTÉGRATION

2.1 L'INTÉGRATION, UN PROCESSUS AUX MULTIPLES IDENTITÉS

Le mécanisme d'intégration décrit dans le modèle Act-In a également été évoqué dans de nombreux travaux, cependant le terme « intégration » n'apparaît pas systématiquement. La littérature scientifique en sciences cognitives fait souvent face à ce souci de terminologie qui opère à double sens : un même terme est fréquemment utilisé par des auteurs différents pour parler de concepts intrinsèquement différents et à l'inverse, un même concept peut parfois posséder de nombreux noms en fonction des courants de pensée ou des auteurs. Il s'agit d'un phénomène bien naturel, les différents auteurs n'ont parfois pas connaissance de l'autre terminologie utilisée ou alors considèrent qu'il s'agit bel et bien de concepts différents.

Avant de présenter le mécanisme d'intégration tel que conçu dans le modèle Act-In, voici deux concepts présents dans la littérature qui sans être exactement la même chose peuvent être du moins apparentés au mécanisme d'intégration tel que décrit dans le modèle Act-In : le binding et l'unitization. Il ne serait pas approprié de regrouper ces termes

et de drastiquement les assimiler au mécanisme d'intégration. Cependant, ces concepts sont souvent pertinents lorsqu'il s'agit de discuter d'intégration et peuvent dans certains cas aider à refléter les différentes caractéristiques de ce mécanisme ainsi que de le contextualiser.

2.1.1 Le binding

D'après Allen (2015), le binding correspond au processus qui permet de rassembler et d'intégrer les informations provenant de différentes sources environnementales et des zones neurales responsables de leur traitement initial. D'après cet auteur, ce terme est utilisé comme terme général pour désigner des situations dans lesquelles différentes formes d'informations sont intégrées ensemble.

Deux types de binding sont distingués dans la littérature, un binding intrinsèque et un binding extrinsèque (Ecker, Maybery, & Zimmer, 2013). Le binding intrinsèque correspond à un binding unifié des caractéristiques élémentaires intrinsèques d'un objet par exemple sa couleur tandis que le binding extrinsèque correspond au binding de l'information contextuelle, par exemple la couleur d'un second objet présent à côté de la cible. Le premier type de binding serait relativement automatique et nécessiterait peu de ressources attentionnelles (Allen, Baddeley, & Hitch, 2006 ; Baddeley, Allen, & Hitch, 2011) tandis que le binding extrinsèque pourrait nécessiter des processus supplémentaires afin de connecter en mémoire les différentes caractéristiques. Afin d'investiguer la nature automatique de ces deux types de binding, Ecker et al. (2013) ont conduit une série d'expériences concernant le binding de la forme et de la couleur. Dans ces expériences, la couleur était manipulée afin d'être soit une caractéristique intrinsèque de la forme, soit une caractéristique extrinsèque de l'arrière-plan. Les résultats ont montré que la couleur influençait la reconnaissance des formes uniquement lorsqu'elle était une caractéristique intrinsèque, et ce même lorsque son traitement n'était pas pertinent pour réaliser la tâche. Ces données suggèrent que seul le binding intrinsèque est automatique et incontournable.

2.1.2 L'unitization

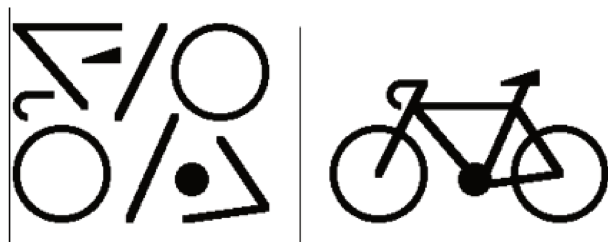


Figure 2.1. Illustration des théories de la Gestalt. Le tout est supérieur à la somme de ses parties.

Selon Graf et Schacter (1989), l'unitization correspond à la représentation d'éléments auparavant séparés comme une seule unité (voir également Goldstone, 2000). Ainsi, lorsque plusieurs caractéristiques sont perçues comme un même tout, on peut parler de unitization, les différentes caractéristiques sont unifiées (i.e., unitized) en un tout. Ainsi, ce concept est fortement lié au « binding problem » énoncé par Treisman (1996) qui correspond à la façon dont le cerveau sépare les différents éléments du champ visuel et effectue certains regroupements afin d'aboutir à la perception de différents objets. Les théories de la Gestalt du début du 20^{ème} siècle ont permis aux chercheurs de se rendre compte de la complexité de la construction et de l'organisation de la perception des objets. Comme l'illustre la figure 2.1, le tout est différent de la simple somme de ses parties, un vélo ne sera pas perçu comme le simple assemblage de cercles et de droites mais comme un tout cohérent. Par exemple, Weisstein et Harris (1974) ont observé que la présentation par flash de segments étaient mieux perçus lorsque ces segments faisaient partie d'un objet unitaire. Selon eux, ces données démontrent une sorte de supériorité de l'objet qui serait perçu avant les différentes caractéristiques qui le composent.

Les définitions de ces deux concepts, ainsi que du concept d'intégration sont relativement proches. D'ailleurs, Versace et al. (2009, 2014) précisent dans leurs travaux que le terme intégration pourrait s'utiliser au pluriel afin de rendre compte des divers niveaux de fonctionnement.

2.2 LE MÉCANISME D'INTÉGRATION D'APRÈS LE MO- DÈLE ACT-IN

Dans le modèle Act-in, deux formes d'intégration peuvent se distinguer. Une première forme intervenant au moment de l'émergence des connaissances qui désigne les mécanismes permettant l'activation et la liaison de divers composants afin d'accéder à des connaissances élaborées et unitaires et une seconde forme, qui nous intéresse tout particulièrement, qui qualifie le mécanisme responsable de la force du lien entre les différents composants d'une trace mnésique. La première forme d'intégration est un mécanisme inspiré des travaux de Treisman et Gelade (1980). Selon ces auteurs, deux étapes sont impliquées dans l'identification visuelle d'un objet, l'étape initiale consiste en une analyse très rapide et parallèle des caractéristiques élémentaires de l'objet, c'est-à-dire sa forme, sa couleur, son orientation, sa taille, etc. Lors de cette étape, les différentes caractéristiques sont analysées séparément. La seconde étape consiste alors à intégrer toutes ces caractéristiques élémentaires pour former un objet unitaire. L'intégration, telle que conçue par Treisman est un mécanisme perceptif permettant l'élaboration d'un percept unifié et cohérent. Dans leur modèle, Versace et collaborateurs s'inspirent de cette définition mais conçoivent ce mécanisme comme un mécanisme à la fois perceptif et mnésique. L'intégration est selon eux un mécanisme permettant le traitement des multiples dimensions relatives à un objet ou à un événement mais permet également, d'un point de vue mnésique, l'organisation et l'émergence de connaissances de plus en plus élaborées et de plus en plus unitaires. Le modèle Act-In s'inscrit dans une perspective dans laquelle les mécanismes mnésiques et perceptifs sont similaires (pour une revue détaillée du sujet, voir [Rey, 2014](#)). L'intégration intervient donc à la fois lors de la perception et de l'émergence de connaissances. Lors de l'interaction entre l'individu et son environnement, l'intégration détermine le poids avec lequel les propriétés de l'épisode sont reliées au sein d'une trace mnésique unitaire et cohérente : elle permet donc la formation de traces mnésiques multidimensionnelles. D'un point de vue perceptif, le mécanisme d'intégration peut s'illustrer via l'effet McGurk ([McGurk & Macdonald, 1976](#)). Ces auteurs ont montré que le son « ba » était perçu « da » s'il était associé à l'image de lèvres prononçant le son « ga ». Ce phénomène illusoire serait alors dû à l'intégration en une perception unie, perception biaisée par des informations modales contradictoires. Ces résultats montrent que lorsque les sujets sont confrontés à une expérience multi-sensorielle, ils forment des traces mnésiques qui reflètent le contenu et le caractère multimodal de ces expériences. La trace mnésique serait alors la résultante d'une intégration de propriétés multimodales issues de la perception.

Le paradigme imaginé par Brunel et al. (2009) permet d'illustrer le phénomène d'intégration multisensorielle. Ces auteurs ont conduit 3 expériences dans lesquelles la procédure était systématiquement composée de deux phases, une phase d'apprentissage et une phase d'amorçage. Dans la phase d'apprentissage de l'Expérience 1 illustrée par la figure 2.2, les participants étaient exposés à la présentation (80 essais) d'une forme (i.e., un cercle ou un carré) et avait pour tâche de juger le plus rapidement possible si la forme était un cercle ou un carré. Pour la moitié des participants, le carré était accompagné d'un bruit blanc d'une durée de 500ms et le cercle était présenté seul, pour l'autre moitié des participants la situation était inversée. La seconde phase était une phase d'amorçage : lors de chaque essai, l'une des formes de la phase d'apprentissage était utilisée comme amorce et présentée pendant 100 ou 500ms (i.e., le SOA) suivie immédiatement par la présentation d'un son aigu ou grave. La tâche des participants était de catégoriser le son entre aigu ou grave en répondant le plus rapidement possible au clavier. Les Expériences 2 et 3 reprennent le même paradigme mais en modifiant la durée de présentation du bruit blanc (Expérience 2) et de la forme (Expérience 3) afin d'investiguer plus en profondeur l'importance de la temporalité et de la simultanéité de présentation des informations perceptives. Les résultats de l'Expérience 1 ont montré que lorsque le SOA était de 100ms, un effet d'interférence de l'amorce était observé correspondant à une allonge des temps de réaction. En revanche, avec un SOA de 500ms, le pattern inverse est observé avec un effet facilitateur de l'amorce. Ces résultats s'expliquent par l'activation en mémoire du son blanc précédemment associé à la forme bien qu'il ne soit pas perceptiblement présent. La phase d'apprentissage semble avoir permis de créer une association audio-visuelle en mémoire, par la suite, la simple présentation du stimulus visuel permet d'activer automatiquement le stimulus auditif. Avec un SOA de 100ms, l'effet interférent observé démontre le caractère modal de la connaissance. La perception de la cible et la réactivation en mémoire du bruit blanc semblent recruter les mêmes zones corticales ce qui crée une interférence à cause du chevauchement temporel dû à un SOA trop court. En revanche, avec un SOA de 500ms, un effet facilitateur est observé qui s'explique par une pré-activation des zones corticales nécessaires au traitement perceptif de la cible. En plus d'apporter des preuves du caractère modal des représentations mnésiques, cette étude illustre le mécanisme d'intégration multisensorielle et soutient l'idée que toutes les composantes perceptuelles d'une expérience codée en mémoire peuvent être réactivées, y compris des composantes absentes d'un point de vue

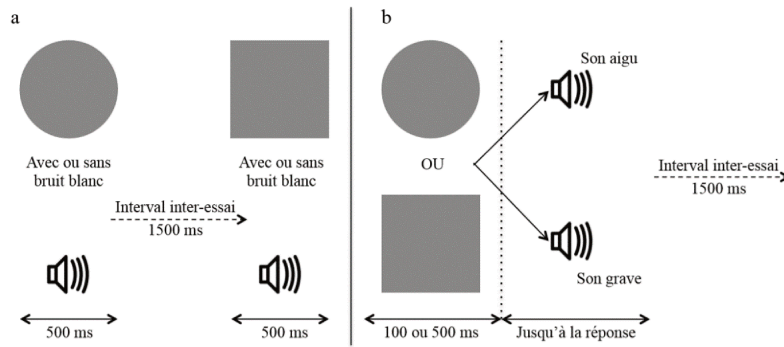


Figure 2.2. Illustration du paradigme de l'Expérience 1 de Brunel et al. (2009) avec une phase d'apprentissage (a) et une phase d'amorçage (b).

perceptif mais qui avaient été précédemment intégrée dans une trace mnésique multisensorielle. Ces résultats attestent également l'importance de la temporalité et notamment de la simultanéité de présentation des différents composants. Cette synchronisation est la suggestion que les neurones représentant des caractéristiques particulières parviennent à se lier en se déclenchant en synchronie temporelle (Vogel, Woodman, & Luck, 2001). Hommel et Colzato (2009) suggèrent d'ailleurs que la synchronisation est plus importante pour les conjonctions arbitraires (e.g., carré rouge).

Pour reprendre l'exemple évoqué dans la section X, de la vision d'une pomme : si dans votre passé vous avez entendu des dizaines, des centaines voire des milliers de fois le mot « pomme » lorsque vous aviez une pomme sous les yeux alors très vraisemblablement de nombreuses traces mnésiques ont été formées possédant une propriété visuelle (i.e., la perception visuelle de la pomme) et une propriété auditive (i.e., la perception auditive du mot « pomme ») fortement intégrées. Ainsi, la simple vision d'une pomme active la forme auditive, le mot « pomme », et inversement. Ce phénomène a été élégamment illustré par une étude en neuroimagerie (Keizer et al., 2008) dans laquelle les auteurs ont jonglé entre deux types de stimuli, des maisons et des visages et ont analysé les activations de deux zones cérébrales, la PPA (i.e., parahippocampal place area) et la FFA (i.e., fusiform face area) connues pour être respectivement impliqués dans le traitement spécifique de ces stimuli. En manipulant certaines caractéristiques visuelles telles que la direction du mouvement de ces stimuli, ces auteurs ont apporté une preuve neurale que les caractéristiques d'un objet sont liées ensemble et que l'exposition à l'une des caractéristiques réactive toutes les

caractéristiques de l'objet. Ces preuves expérimentales en neuroimagerie apportent une légitimité biologique importante. En effet, l'un des objectifs du modèle Act-in est de fournir une modélisation du système cognitif biologiquement plausible. Dans cette perspective, il semble donc cohérent de chercher à étudier le penchant neurobiologique et cellulaire des différents mécanismes décrits.

2.3 L'INTÉGRATION D'UN POINT DE VUE BIOLOGIQUE

En se basant sur des données en neuroimagerie (Ungerleider, 1995), ainsi que des données cliniques de patients cérébrolésés (Bechara et al., 1995 ; Bechara, Tranel, Damasio, & Damasio, 1996), Versace et al. (2009) indiquent que le cortex préfrontal et la région hippocampique semblent jouer un rôle dans l'intégration multimodale. Ces études révèlent que l'hippocampe serait davantage impliqué dans la création d'un lien entre les différentes caractéristiques sensorielles tandis que le cortex préfrontal permettrait le maintien et le renforcement de ce lien.

Ces données sont confirmées par l'hypothèse d'un système actif de consolidation de Frankland et Bontempi (2005). Ces auteurs détaillent les différentes étapes qui sous-tendent les apprentissages d'un point de vue biologique. Comme l'illustre la figure 2.3, dans un premier temps, l'interaction avec l'environnement engendre un codage de l'information perceptuelle, motrice et cognitive dans les cortex primaires et associatifs spécialisés. Ces différents modules corticaux vont ensuite activer l'hippocampe qui va alors agir comme un système d'indexage et va permettre de créer du lien en intégrant les informations de ces modules corticaux distribués qui représentent les différentes caractéristiques d'une expérience. Par ce biais, l'hippocampe va ainsi fusionner rapidement ces caractéristiques dans une trace mnésique cohérente. L'hippocampe est sollicité au moment de l'apprentissage puis se désengage petit à petit au moment où l'apprentissage est consolidé. Ce rôle de consolidation intégratif ultérieur est assumé par le cortex préfrontal via des connexions réciproques avec les cortex sensoriels, moteurs et limbiques. Le renforcement progressif des connexions cortico-corticales permet à terme aux nouvelles traces mnésiques de devenir indépendantes de l'hippocampe et d'être progressivement intégrées aux traces mnésiques préexistantes. Une fois que l'apprentissage est fait il n'y a donc plus besoin de solliciter

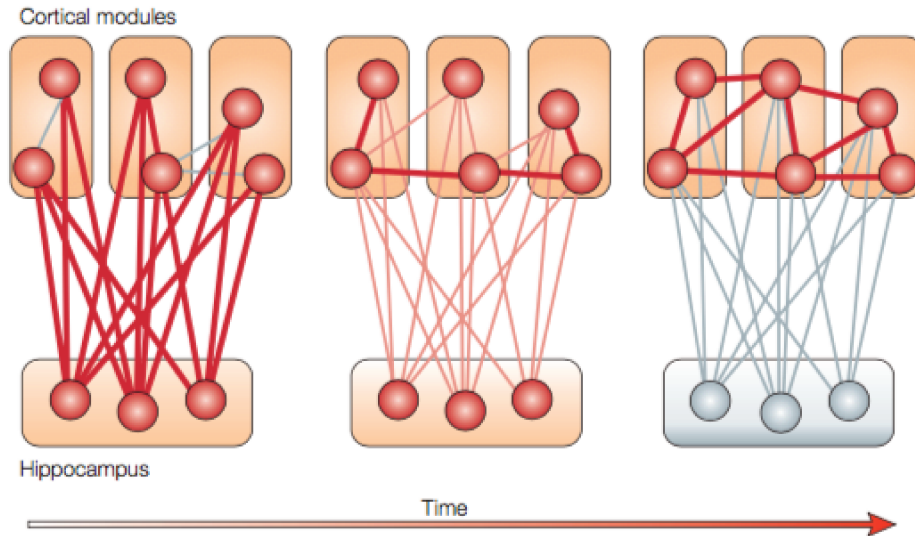


Figure 2.3. L'hypothèse de système actif de consolidation selon Frankland et Bontempi (2005).

l'hippocampe, un souvenir stabilisé est donc indépendant de l'hippocampe.

Ces travaux apportent des informations fondamentales sur le versant biologique du mécanisme d'intégration et donc sur son fonctionnement. Ils permettent notamment de mettre en lumière l'importance du temps : une caractéristique importante du mécanisme d'intégration est qu'il n'est pas immédiat mais au contraire progressif. Les conditions qui déterminent et favorisent l'intégration sont fondamentales à étudier puisque Versace et al. (2014) postulent que l'efficacité de la réémergence des traces, et donc plus généralement l'efficacité de la mémoire, dépendent du niveau d'intégration des composants de la trace. La section suivante s'attachera donc à étudier les facteurs nécessaires ou a minima favorables à l'intégration.

2.4 LES FACTEURS FAVORISANT L'INTÉGRATION

2.4.1 Délai et sommeil

L'hypothèse de système actif de consolidation de Frankland et Bontempi (2005) suppose que l'intégration est progressive : les connexions cortico-corticales se renforcent au cours du temps. Cette hypothèse est cohérente avec des données expérimentales qui in-

diquent qu'un délai semble primordial pour que l'intégration puisse être effective. Par exemple, Versace et Nevers (2003) ont investigué expérimentalement les conditions nécessaires à l'apparition d'un amorçage de répétition et ses interactions avec l'effet de fréquence dans une tâche de décision lexicale. Pour ce faire, ces auteurs ont manipulé la durée de l'amorce (50 ou 700ms) et l'intervalle inter-stimulus (ISI, 1500 ou 3000ms) entre l'amorce et la cible. Leurs résultats ont montré que dans le cas d'amorces présentées pendant 50 ms, l'amorçage de répétition était comparable quelle que soit la fréquence des mots avec un ISI de 1500ms et totalement absent avec un ISI de 3000ms. En revanche, dans le cas des amorces présentées pendant 700 ms, l'amorçage de répétition était systématiquement plus important avec les mots rares qu'avec les mots fréquents et demeurait significatif à un ISI de 3000 ms. Ces résultats suggèrent que lorsque le temps disponible pour traiter les amorces augmente, l'intégration des composantes perceptuelles semble permettre l'émergence d'effets de fréquence sur l'amorçage et que cet amorçage semble persister sur le long terme. Labeye, Oker, Badard, et Versace (2008) ont également démontré l'aspect progressif de l'intégration via un paradigme d'amorçage et une tâche de catégorisation impliquant des outils et des ustensiles de cuisine. Le SOA (100 ou 300ms) ainsi que les liens entre amorces et cibles (i.e., catégorie similaire ou différente, geste similaire ou différent) étaient manipulés. Les résultats révèlent des effets d'amorçage différents selon le SOA. Ces auteurs interprètent ces résultats comme le reflet, lors de la présentation de l'amorce, de l'activation des dimensions sensorimotrices de l'objet qui sont ensuite graduellement intégrées en une connaissance plus élaborée et plus unitaire.

D'autres études mettent en lumière le caractère progressif de l'intégration et de la consolidation des connaissances en mémoire, notamment des études portant sur l'importance du sommeil (pour une étude sur les effets du sommeil dans le cadre du modèle Act-in, voir Cherdieu, Versace, Rey, Vallet, & Mazza, 2018). En effet, de nombreuses études ont montré le rôle primordial du sommeil dans la mémorisation (voir Diekelmann & Born, 2010, pour une revue). Il semblerait qu'une période de sommeil de quelques heures après un apprentissage améliore les performances de rappel et permette notamment de réduire la sensibilité aux interférences (Ellenbogen, Hulbert, Stickgold, Dinges, & Thompson-Schill, 2006). Il a été démontré que même une période très courte de sommeil (e.g., six minutes) est suffisante pour améliorer les performances de mémoire (Lahl, Wispel, Willigens, & Pietrowsky, 2008). Or, dans leur hypothèse d'un système actif de

consolidation, Frankland et Bontempi (2005) précisent que l'activité de réactivation des épisodes par l'hippocampe se déroule principalement pendant le sommeil. L'effet bénéfique du sommeil sur la mémorisation pourrait donc en partie s'expliquer en termes d'efficience des mécanismes d'intégration.

2.4.2 La synchronicité spatio-temporelle

Si le délai semble être un facteur important, il n'est pas le seul facteur temporel influençant l'intégration. De nombreuses études ont notamment souligné l'importance de la synchronicité spatio-temporelle (Zmigrod & Hommel, 2013). Des études sur la perception multimodale ont montré l'existence d'une « fenêtre de synchronisation temporelle intersensorielle » (Lewkowicz, 1996) où les caractéristiques présentées dans une fenêtre temporelle allant jusqu'à environ 100 ms (Lewald, Ehrenstein, & Guski, 2001) ou même 200 ms (van Wassenhove, Grant, & Poeppel, 2007) sont toujours considérées comme appartenant au même événement. Cette probabilité diminue à mesure que l'intervalle temporel entre les caractéristiques augmente (Zmigrod & Hommel, 2011). D'un point de vue spatial, van Dam et Hommel (2010) ont également démontré que nous pouvons créer spontanément des liens entre des éléments appartenant à différents objets (e.g., la forme d'un objet avec la couleur d'un autre), pourvu que ces objets se chevauchent dans l'espace.

Ces études suggèrent que l'intégration multimodale nécessite que les activations soient synchrones d'un point de vue spatio-temporel (Brunel et al., 2009; King, 2005). Cela signifie que les différents composants de l'expérience doivent intervenir non seulement simultanément mais également à une position spatiale proche pour que ceux-ci soient perçus comme associés. Ainsi, si l'illusion de McGurk fonctionne, c'est que la perception visuelle des lèvres et le son provenant de ces lèvres sont synchrones et donc intégrés ensemble.

2.4.3 Multimodalité, richesse et distinctivité des traces

D'après Versace et al. (2009, 2014), l'encodage multimodal d'un item serait bénéfique car en augmentant la richesse de la trace et en maximisant le liage entre les propriétés au sein d'une trace (i.e., l'intégration), on augmenterait la probabilité que cette trace

soit dissociée des autres traces et récupérée de manière spécifique. De nombreuses études ont montré l'efficacité et l'importance d'un encodage multimodal. Par exemple, d'après la théorie du double codage de Paivio (1990), les mots concrets seront plus enclins à évoquer une image mentale que les mots abstraits. De ce fait, dans une tâche de rappel, les mots concrets seront mieux restitués. Cette supériorité serait due au double codage (i.e., verbal et imagé) lors de l'encodage de ces mots. La multimodalité permettrait donc d'enrichir les traces mnésiques et ainsi de faciliter leur intégration. A son tour, cette intégration permettrait aux traces mnésiques une meilleure distinctivité. D'après le modèle Act-In, la probabilité qu'une trace spécifique soit réactivée (e.g., qu'un mot soit restitué dans une tâche de rappel), dépend fortement de la distinctivité de la trace mnésique en mémoire. Cette notion de distinctivité est illustrée par l'étude de Brunel et al. (2010), détaillée dans l'encart 2. Ces auteurs ont manipulé la distinctivité des mots en plaçant de manière minoritaire des noms d'animaux parmi des noms d'objets (distinctivité globale) ou des mots typiquement sonores parmi des mots typiquement silencieux (distinctivité partielle). Les résultats indiquent que les mots ainsi isolés ont été mieux rappelés uniquement concernant la condition « distinctivité globale ». Ces résultats suggèrent que la distinctivité des traces mnésiques aurait une influence directe sur la nature plus ou moins recollective des connaissances émergentes. Ainsi, plus le liage entre les propriétés est fort, plus un indice à la récupération a une forte probabilité d'activer une trace unique (ou faible quantité de trace). D'après Brunel (2010), ceci peut être mis en lien avec la distinction que font certains auteurs entre des processus de recollection et de familiarité (Jacoby, 1991). La distinction entre ces deux types de processus est illustrée par l'expérience commune de rencontrer une personne dans la rue et d'avoir le sentiment de connaître cette personne sans pour autant être capable de retrouver qui est cette personne ni où vous l'avez déjà rencontrée. Vous éprouvez alors un sentiment de familiarité, mais si soudain vous vous souvenez qui est cette personne et dans quel contexte vous l'avez rencontrée, alors vous éprouvez une sensation de type recollective. Ainsi, selon Brunel (2010), plus le liage entre les propriétés de la trace est fort, plus la récupération de cette trace à partir d'un indice aura la probabilité d'être associée à une expérience de type recollective (i.e., récupération de propriétés contextuelles).

L'intégration multimodale, s'avèrerait donc essentielle pour la formation d'une trace plus distincte. Cette intégration pourrait être favorisée par la multimodalité via un enri-

chissement de la trace. Cependant, n'importe quel ajout d'une modalité suffit-il à favoriser l'intégration ? Le simple ajout d'une composante sensorielle, émotionnelle ou motrice suffit-il à favoriser l'intégration ? Des expérimentations sur l'ajout d'une composante émotionnelle (Macri, Pavard, & Versace, 2018) ou motrice (pour une revue, voir Camus, 2016) semblent indiquer que le simple ajout d'une modalité ne suffit pas.

Encart 2 : Memory and consciousness : Trace distinctiveness in memory retrievals (Brunel et al., 2010)

Objectif : Etudier l'influence de la distinctivité des traces mnésiques sur l'émergence des connaissances

Participants : 96 participants adultes ont participé à l'expérience.

Matériel :

Le matériel était composé de 128 mots sélectionnés selon 2 facteurs :

- Leur nature : « Artefact » vs. « Vivant » (e.g., chien et sifflet)
- Leur sonorité : « Sonore » vs. « Silencieux » (e.g, médaille et sifflet)

De plus, 32 pseudomots ont été utilisés comme distracteurs.

Procédure : L'expérience se déroulait en 2 phases, une phase d'apprentissage et une phase de test. Lors de la phase d'apprentissage, les sujets étaient répartis en 2 groupes :

- Le groupe « Distinctivité Partielle » (DP)
- Le groupe « Distinctivité Globale » (DG)

Une série de 32 mots étaient présentés au sujet qui avait pour tâche de juger de la familiarité de l'image mentale du mot affiché à l'écran.

Concernant le groupe DP, la série était constituée de 24 mots « sonores » et 8 mots « silencieux » (ou l'inverse, via un contrebalancement) cependant cette liste était homogène en termes de nature avec 16 mots « artefacts » et 16 mots « vivants ». A l'inverse, pour le groupe DG, la série de mots était homogène en termes de sonorité (16 et 16) mais déséquilibrée (8 et 24) en termes de nature. La distinctivité des 8 mots isolés était ainsi manipulée. Cette distinctivité était modérée dans le groupe DP mais forte dans le groupe DG.

La phase de test était constituée de 3 tâches (inter-sujets), une tâche de décision lexicale, une tâche de reconnaissance et une tâche de rappel libre

Résultats :

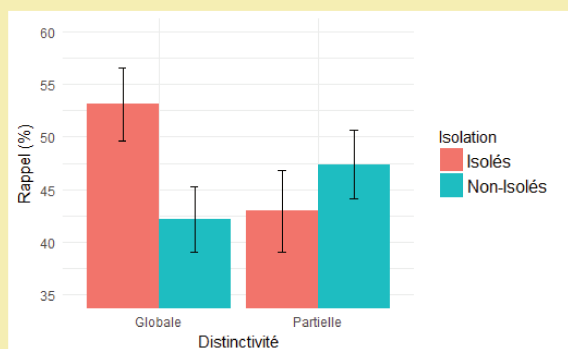


Figure 2.4. Pourcentage de rappel dans la tâche de rappel libre en fonction de la Distinctivité et de l'Isolation.

Les résultats, illustrés par la figure 2.4, indiquent que les mots isolés ont été mieux rappelés uniquement dans la condition de Distinctivité Globale c'est-à-dire lorsque le caractère distinctif était fort (Artefact vs. Vivant). Ces résultats suggèrent que la distinctivité des traces mnésiques aurait une influence directe sur la nature plus ou moins recollective des connaissances émergentes.

2.4.4 Le rôle de la motricité dans l'intégration

Afin d'étudier l'influence de la motricité sur le mécanisme d'intégration, Camus et al. (2016) ont élaboré 3 expériences basées sur un paradigme d'amorçage (voir figure 2.5). Dans ces 3 expériences, la procédure se déroulait en deux phases, une phase d'apprentissage et une phase test. Le matériel était constitué de deux différentes formes ressemblant à des tâches, et de deux sons blancs, un son aigu (312 Hz) et un son grave (256 Hz). La phase test était identique pour les trois expériences, une amorce visuelle (i.e., l'une des deux formes présentées en phase d'apprentissage) était présentée pendant 100 ou 500ms (variable inter-sujets) immédiatement suivi d'un son. Les sujets avaient pour consigne de simplement catégoriser le son (aigu ou grave) à l'aide d'un clavier. Dans l'expérience 1, la phase d'apprentissage consistait en une tâche de catégorisation. Le participant était informé que chacune des deux formes était associée à une touche de clavier. Chaque essai consistait en la présentation de l'une des deux formes, l'une des deux formes étant systématiquement présentée avec un bruit blanc de 500ms alors que l'autre non. Le participant avait pour consigne de catégoriser la forme en utilisant la touche de clavier appropriée. Dans l'expérience 2, l'ensemble de la procédure était identique excepté que dans la phase d'apprentissage, les deux formes étaient associées à un bruit blanc. De plus, les sujets devaient effectuer une tâche de Go/NoGo, c'est-à-dire qu'une seule des deux formes nécessitait une réponse motrice. Dans l'Expérience 3, une forme était associée à un son et l'autre non (comme dans l'Expérience 1), cependant les sujets devaient effectuer une tâche de Go/NoGo (comme dans l'Expérience 2) et ne répondre qu'à la forme silencieuse.

Les résultats des trois expériences sont illustrés dans la figure 2.6. Dans l'Expérience 1, un effet facilitateur de l'amorce a été observé pour le SOA de 500ms mais un effet interférent pour celui de 100ms répliquant ainsi les résultats obtenus par Brunel et al. (2009). L'Expérience 2 indique que les participants étaient plus rapides lorsque l'association avait été apprise avec une réponse motrice plutôt que sans. Si la réalisation d'une réponse motrice aide mais n'est pas nécessaire pour intégrer le son et la forme, les auteurs auraient dû observer les mêmes patterns de résultats dans l'Expérience 3 que dans les deux premières. Or, aucune différence n'a été observée sur le traitement des cibles (i.e., pas d'effet facilitateur ni interférent) ce qui suggère que l'exécution d'une réponse motrice pendant l'apprentissage multisensoriel serait une condition nécessaire pour que les parti-

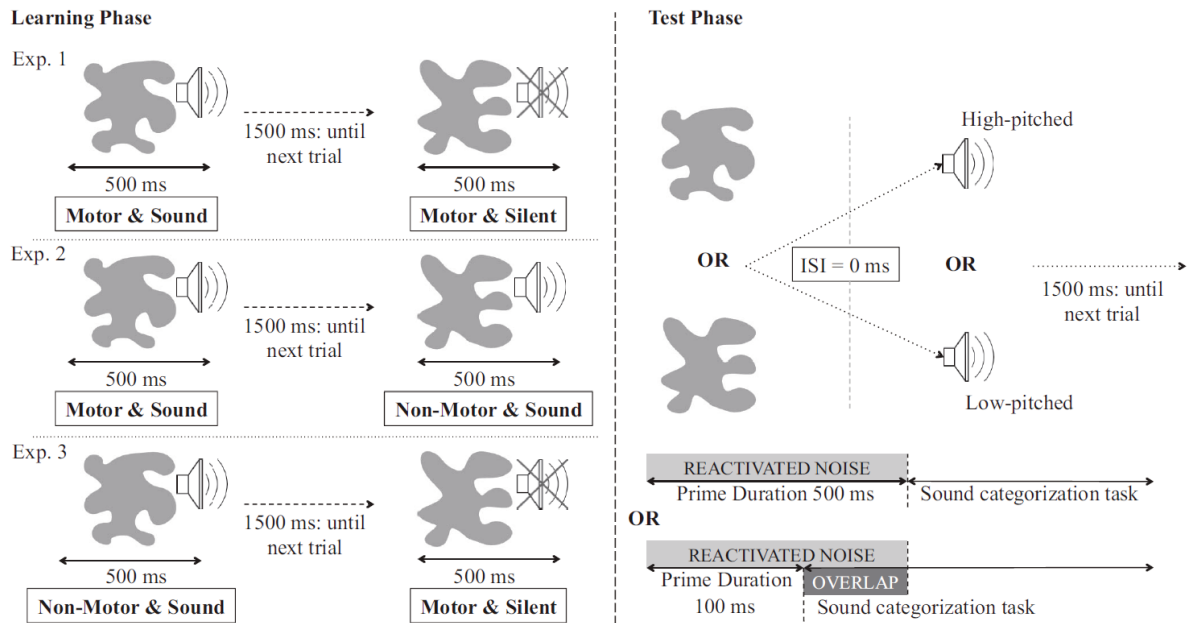


Figure 2.5. Illustration du protocole expérimental de Camus et al. (2016).

cipants puissent créer une trace mnésique intégrée de l'association audio-visuelle entre la forme et le son.

Les résultats de cette étude sont étayés par les données d'une expérience que nous avons effectuée dans l'équipe de Rémy Versace afin d'étudier l'influence de l'action et notamment de la causalité sur l'intégration (Macri et al., soumis). L'encart 3 permet d'illustrer de façon détaillée l'étude. Le protocole, inspiré du paradigme de Tardif (2014) permet d'efficacement évaluer les performances d'intégration en comparant trois types de réponses motrices. Les sujets avaient pour tâche de mémoriser la position de 6 images dans une matrice possédant 16 emplacements. Le type de réponse motrice était manipulé lors de la présentation des différentes images. Les sujets devaient soit cliquer directement sur l'image en question, soit cliquer en bas de l'écran soit ne pas cliquer du tout. Les résultats ont montré un effet bénéfique de l'action, mais pas de n'importe quelle action. C'est la condition dans laquelle les sujets devaient cliquer directement sur l'item qui a permis les meilleures performances de mémorisation de l'item et de sa position sur l'écran. Une seconde expérience a permis de mettre en lumière l'importance de la causalité. En manipulant le moment du clic (i.e., avant ou après l'apparition de l'image), nous avons pu déterminer que le caractère causal de l'action est primordial. C'est lorsque l'action provoquait l'apparition de l'image (i.e., clic avant) que les performances étaient les plus

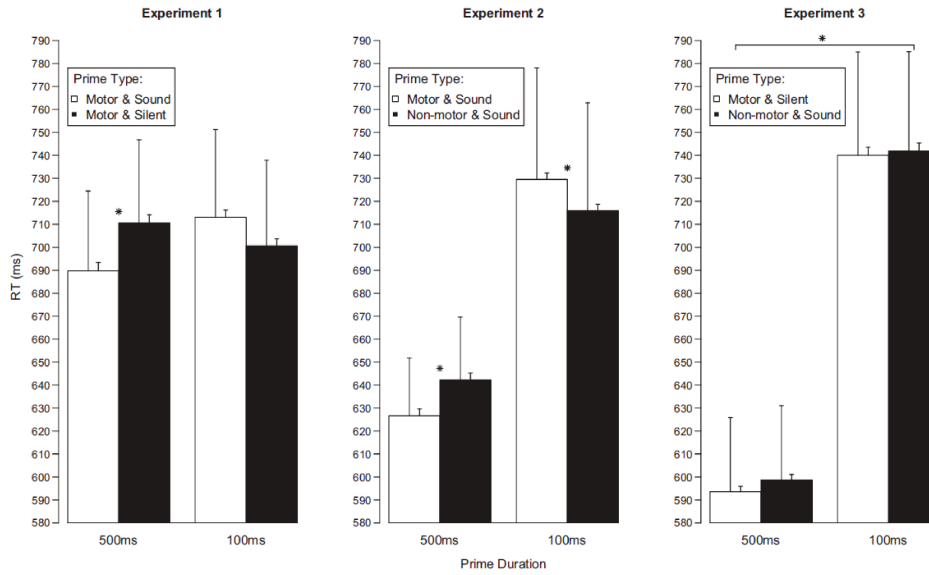


Figure 2.6. Moyenne des temps de réaction moyens dans l'étude de Camus et al. (2016).

optimales.

Ces deux études permettent de suggérer que la motricité pourrait jouer un rôle fonctionnel dans la mémorisation d'associations en permettant notamment de favoriser l'intégration des différentes dimensions. Cette hypothèse trouve un écho tout particulier dans le domaine du langage, et notamment dans celui de l'apprentissage des représentations grapho-phonémiques. En effet, de nombreux chercheurs ont remarqué que des entraînements possédant une exploration motrice permettaient de grandement favoriser cet apprentissage. Cependant, les raisons exactes de ce bénéfice restent floues et les mécanismes sous-jacents sont rarement décrits. Le cadre théorique que nous avons présenté dans ces deux premiers chapitres pourrait non seulement aider à apporter de la lumière sur ces effets, mais également permettre de concevoir de nouvelles situations d'apprentissages les plus optimales possibles. Le chapitre 3 fera donc état de la littérature scientifique concernant l'apprentissage des correspondances grapho-phonémiques et s'intéressera plus spécifiquement aux effets bénéfiques des explorations motrices.

Encart 3 : How does Action improve memory ? The importance of causality (Macri et al., soumis)

Objectif : Étudier l'influence de l'action et de la causalité sur l'intégration

Participants et Matériel : 24 participants adultes ont participé aux 2 expériences (48 participants au total) Le matériel était constitué de 216 images issues de la base de données de Snodgrass et Vanderwart (1980) ainsi que d'une matrice de 16 carrés (illustrée dans la figure 2.7) issue du paradigme de Tardif (2014).

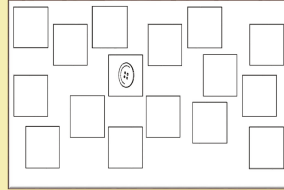


Figure 2.7. Matrice de 16 carrés utilisée pour présenter les images durant l'apprentissage et le rappel.

Procédure : Lors de chaque essai, 6 images consécutives étaient présentées à l'écran de manière aléatoire dans l'un des 16 carrés de la matrice selon 3 conditions expérimentales. Dans la condition « SquareClick », un carré rouge couvrant l'image apparaissait dans l'un des carrés, le sujet devait déplacer la souris et cliquer dessus afin de révéler l'image tandis que dans la condition « BottomClick », le sujet devait cliquer en bas de l'écran pour faire apparaître chaque image. Enfin, dans la condition « NoClick », le sujet n'avait aucune action à réaliser, les images apparaissaient d'elles-mêmes. Après chaque essai, un test de rappel était effectué dans lequel le sujet devait replacer les 6 images aux bons emplacements.

Dans l'Expérience 2, la procédure était strictement identique excepté que dans la condition « SquareClick », le sujet devait cliquer dans le carré après l'apparition de l'image. Son clic ne provoquait donc plus l'apparition de l'image (notion de causalité) mais servait simplement à passer à l'image suivante.

Résultats :

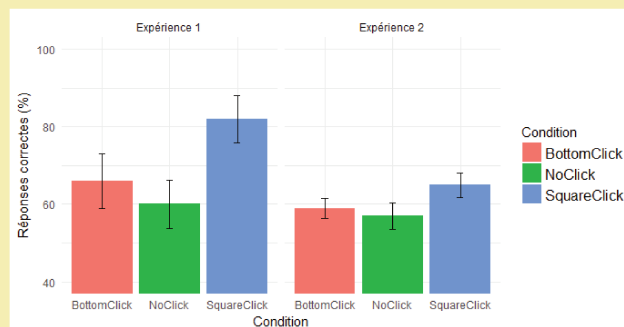


Figure 2.8. Pourcentage de réponses correctes pour les 3 conditions de rappel.

Les résultats indiquent que les sujets ont mieux mémorisé les items ainsi que leur position dans l'espace lorsqu'ils ont réalisé une action sur ces items. Plus précisément, c'est lorsque l'action était la cause de l'apparition des items que les performances ont été optimales et que l'intégration de l'item et de sa position a été favorisée.

BÉNÉFICE DE LA MOTRICITÉ DANS
L'APPRENTISSAGE DES
CORRESPONDANCES
GRAPHO-PHONÉMIQUES

**3.1 LE PRINCIPE ALPHABÉTIQUE ET L'IMPORTANCE DE
LA CONNAISSANCE DES LETTRES**

L'apprentissage de la lecture et de l'écriture se fonde sur la compréhension et la maîtrise du principe alphabétique. Ce terme fait référence à l'idée relativement simple que les lettres qui composent la langue écrite représentent les sons individuels qui composent le langage parlé (Byrne, 2014). Pour apprendre à lire et à écrire, l'enfant doit ainsi comprendre que les représentations des sons du langage oral (i.e., les phonèmes) correspondent à des lettres ou à des suites de lettres du langage écrit (i.e., les graphèmes). Cependant cette prise de conscience des correspondances graphèmes-phonèmes pour lire et phonèmes-

graphèmes pour écrire ne relève pas d'un processus développemental mais doit faire l'objet d'un apprentissage explicite (Lieberman, Shankweiler, & Liberman, 1989).

A l'oral, les lettres possèdent deux caractéristiques principales : leur nom et leur son (valeur phonémique). L'instruction à la connaissance des lettres débute généralement en grande section maternelle et se prolonge au début de l'école primaire. Des études longitudinales ont montré que la connaissance des lettres était un puissant prédicteur de la réussite ultérieure en lecture (Ecalte, Biot-Chevrier, & Magnan, 2008 ; Evans, Bell, Shaw, Moretti, & Page, 2006 ; Foulin, 2007 ; Puolakanaho et al., 2007 ; Schatschneider, Fletcher, Francis, Carlson, & Foorman, 2004). La connaissance du nom des lettres influencerait le développement de la sensibilité phonémique ainsi que l'apprentissage implicite des relations lettre-phonème. Parce qu'il fournit une identité phonologique aux lettres, le nom des lettres favorise la manipulation et la conceptualisation de l'écriture alphabétique (Biot-Chevrier, Ecalte, & Magnan, 2008). Les connaissances précoces sur les noms des lettres pourraient servir à établir des associations entre ces noms et les lettres pour écrire les mots - par exemple le prénom « Hervé » est écrit RV (Treiman & Rodriguez, 1999). Comme la plupart des noms de lettres contiennent des indices sur le son correspondant, leur connaissance constitue un premier ancrage pour faire l'association entre le nom de la lettre et le son associé (D. Share, 2004). Dans une méta-analyse quantitative évaluant les effets de l'enseignement de la conscience phonémique (CP) sur l'apprentissage de la lecture, Ehri et al. (2001) ont analysé les données de 52 études publiées dans des revues à comité de lecture. Leur analyse a démontré que l'effet bénéfique de l'instruction de la CP était fort et statistiquement significatif. Cependant, leur analyse a révélé que cette instruction était bien plus efficace lorsqu'elle était réalisée avec des lettres que sans. Les auteurs en déduisent que pour s'assurer que l'enseignement de la CP est efficace, l'enseignement doit impérativement inclure des exercices sur les relations entre des graphèmes et des phonèmes et ne pas se situer dans une approche « speech only ».

L'apprentissage des correspondances graphèmes-phonèmes (CGP) est une acquisition fondamentale et nécessaire au développement des habiletés en lecture (pour une synthèse voir Ecalte & Magnan, 2015) ce qui suggère l'importance de l'apprentissage des lettres au cours de la période pré-scolaire. Dans cette optique, de nombreuses études ont cherché à imaginer, concevoir et tester des dispositifs d'apprentissage ciblant cette acquisition. De

3.2. LE BÉNÉFICE DES ENTRAÎNEMENTS MULTISENSORIELS SUR LA LECTURE ET L'ÉCRITURE

nombreux entraînements phonologiques associés à l'apprentissage des lettres et des associations lettres-sons ont été proposés. Ces entraînements visent la construction d'unités ortho-phonologiques. Toutefois, ces entraînements audio-visuels se sont avérés inefficaces pour certains enfants, de fortes variabilités individuelles dans la réponse à l'entraînement ont été mises en évidence (Ecalte, Magnan, & Calmus, 2009; Ecalte, Kleinsz, & Magnan, 2013; Kleinsz, Potocki, Ecalte, & Magnan, 2017; Magnan & Ecalte, 2006; Magnan, Ecalte, Veuillet, & Collet, 2004; Veuillet, Magnan, & Ecalte, 2004). Ce constat a alors donné lieu à la mise au point d'entraînements multisensoriels. De tels entraînements poursuivent l'objectif de développer simultanément les représentations visuelle, auditive et motrice des lettres en sollicitant les différentes modalités sensorielles mises en œuvre lors de la lecture et de l'écriture.

3.2 LE BÉNÉFICE DES ENTRAÎNEMENTS MULTISENSORIELS SUR LA LECTURE ET L'ÉCRITURE

3.2.1 Des travaux princeps : la pédagogie Montessori

Les premiers écrits sur une approche multisensorielle dans les apprentissages scolaires remontent aux travaux de Maria Montessori (1915). Diplômée en médecine, Montessori a débuté sa carrière dans une clinique en étudiant le comportement et le développement de jeunes enfants. Elle s'est progressivement rendu compte que ces enfants apprenaient beaucoup mieux lorsqu'ils utilisaient plusieurs de leurs sens. A partir de ce constat, Maria Montessori a commencé à élaborer du matériel ainsi que des principes pédagogiques permettant de favoriser les apprentissages. Ses méthodes sont fondées sur la multisensorialité et l'autonomie de l'enfant dans ses apprentissages. Selon elle, l'adulte doit simplement accompagner l'enfant dans sa curiosité et la découverte de son environnement. Cette découverte de l'environnement est facilitée par du matériel spécifique permettant de stimuler les sens de l'enfant en faisant varier les couleurs, les textures, les sons, les odeurs etc (e.g., figure 3.1). L'apprentissage des lettres est par exemple effectué grâce à la manipulation de lettres rugueuses en papier de verre ou au tracé de ces lettres avec le doigt dans le



Figure 3.1. Exemple de matériel Montessori.

sable. Aujourd'hui encore, des milliers d'écoles dans le monde appliquent la pédagogie Montessori. Le terme n'est pas protégé et peut donc être utilisé librement ce qui explique les variantes dans les écoles dites « Montessori ». Cette variabilité dans la fidélité de l'implémentation de cette pédagogie rend l'évaluation scientifique de ces méthodes difficiles et inconsistantes. Pour pallier ce problème, Lillard (2012) a contrôlé cette variabilité en comparant trois types de programmes scolaires : un programme Montessori à haute fidélité, un programme Montessori à faible fidélité ainsi qu'un programme conventionnel. Les résultats ont démontré que ce sont les enfants inscrits au programme Montessori à haute fidélité qui ont obtenu les meilleurs progrès en ce qui concerne les fonctions exécutives, la lecture, les mathématiques, le vocabulaire et la résolution de problèmes sociaux. Ces résultats indiquent que Maria Montessori a une formidable intuition concernant le développement des apprentissages chez les jeunes enfants. Cependant, si cette méthode dans son ensemble semble être pertinente, les mécanismes sous-jacents restent largement inexpliqués et les effets rapportés par les enseignants n'ont pas ou très peu été validés scientifiquement. La multisensorialité est-elle à l'origine des résultats bénéfiques observés ? Comment cela s'explique-t-il d'un point de vue cognitif ?

Afin d'investiguer l'apport de la multisensorialité ainsi que l'efficacité d'entraînements multisensoriels, de nombreuses études expérimentales ont cherché à élaborer des entraînements basés sur une exploration motrice (i.e., haptique ou graphomotrice) favorisant la lecture et l'écriture.

3.2.2 L'exploration haptique pour apprendre à lire

La modalité haptique correspond à la fois à la perception tactile transmise par la peau et à la perception kinesthésique transmise par les muscles, les tendons et les articulations (Sigrist, Rauter, Riener, & Wolf, 2013). L'exploration haptique lie intimement la perception et l'action : grâce à ses mains, l'enfant peut explorer le monde afin d'obtenir des indices complémentaires sur les objets qui l'entoure (Hatwell, Streri, & Gentaz, 2000). Ainsi, cette modalité favorise la construction de représentations plus connectées et significatives du monde environnant (Minogue & Jones, 2006).

Gentaz, Colé, et Bara (2003) ont étudié les effets de l'ajout de la modalité haptique dans des entraînements destinés à favoriser l'acquisition du principe alphabétique auprès d'enfants de GSM. Pour cela, ces auteurs ont comparé deux entraînements : un entraînement VAM (Visuel-Auditif-Métaphonologique) et un entraînement HVAM dans lequel la modalité haptique était ajoutée. Dans chacun des deux groupes, les enfants effectuaient des exercices sur les lettres dans lesquels ils devaient retrouver une lettre cible parmi des lettres distractrices. Dans le groupe VAM, les enfants se basaient simplement sur la vision pour explorer et distinguer les lettres tandis que dans le groupe HVAM les enfants effectuaient également l'exercice de manière haptique via un dispositif permettant de manipuler les lettres sans les voir. Les progrès des enfants ont été mesurés via deux tâches, une tâche de lecture de pseudo-mots et une tâche de connaissance des lettres, avant et après l'entraînement. Les résultats de l'étude démontrent un bénéfice de l'ajout de la modalité haptique : les enfants ayant suivi un entraînement HVAM ont progressé de manière significativement plus forte que ceux ayant suivi un entraînement VAM. Selon les auteurs, l'effet positif de l'exploration haptique pourrait s'expliquer en termes de spécificités fonctionnelles des différents modes d'exploration. Par sa simultanéité, la vision nécessite un traitement global des stimuli tandis que l'audition nécessite un traitement analytique et séquentiel puisque les stimuli auditifs sont temporels. Cette différence fonctionnelle pourrait expliquer les difficultés à « travailler » sur des stimuli visuo-auditifs tels ceux à traiter lors de la mise en correspondance graphèmes-phonèmes. Or, la modalité haptique partage des caractéristiques à la fois avec la modalité visuelle et auditive. Son fonctionnement est naturellement séquentiel toutefois son caractère spatial et non linéaire implique également un traitement de type global. En effet, deux procédures exploratoires peuvent

être identifiées dans l'exploration haptique d'objets (Lederman & Klatzky, 1987) : La procédure d'enveloppement via la paume et les doigts qui permet d'extraire des informations sur la forme de l'objet nécessite un traitement global tandis que le suivi de contour entraîne un traitement séquentiel et analytique. La modalité haptique partage donc des caractéristiques fonctionnelles avec à la fois les modalités visuelle et auditive ce qui pourrait favoriser le traitement des CGP. Afin de davantage investiguer cette question, Bara, Gentaz, Colé, et Sprenger-Charolles (2004) ont comparé trois types d'entraînements à l'acquisition du principe alphabétique. Les deux premiers entraînements, HVAM et VAM étaient directement inspirés de l'étude de Gentaz et al. (2003). Le troisième entraînement, nommé « VAM-seq » permettait de tester le rôle de la séquentialité de l'exploration. Dans cet entraînement, les enfants exploraient visuellement les lettres qui apparaissaient de façon progressive sur un écran d'ordinateur (voir également Hillairet de Boisferon, Bara, Gentaz, & Colé, 2007). Les résultats ont montré une meilleure efficacité de l'entraînement HVAM comparé aux deux autres entraînements (qui ne différaient pas). Ces résultats confirment dans un premier temps le rôle bénéfique de l'haptique mais viennent également prouver que le caractère séquentiel de l'exploration ne permet pas à lui seul d'expliquer ce bénéfice (voir également Labat, Vallet, Magnan, & Ecalle, 2015). Dans la continuité de ces études, Bara, Fredembach, et Gentaz (2010) ont comparé deux entraînements visuo-haptiques dont le type de matériel différait. Dans le premier groupe, des lettres en creux étaient utilisées impliquant une procédure exploratoire de type « suivi de contour » tandis que dans le second groupe, les enfants manipulaient des lettres en relief engendrant des procédures exploratoires de type « enveloppement global » et « suivi de contour ». Lors du post-test de reconnaissance des lettres, les enfants ayant manipulé des lettres en relief ont statistiquement mieux performé que ceux ayant travaillé avec des lettres en creux. Le choix du matériel semble donc primordial. De manière plus théorique, le type de traitement semblerait jouer un rôle majeur et pourrait expliquer le bénéfice des explorations haptiques. Ces interprétations seront discutées ultérieurement dans le document.

L'ensemble de ces études a mis en évidence l'efficacité des entraînements visuo-haptiques sur l'acquisition du principe alphabétique chez des enfants de GSM tout-venants, ces résultats bénéfiques ont également pu être répliqués auprès d'enfants issus de familles de statut socio-économique faible (Bara, Gentaz, & Colé, 2007), d'enfants en difficultés d'ap-

3.2. LE BÉNÉFICE DES ENTRAÎNEMENTS MULTISENSORIELS SUR LA LECTURE ET L'ÉCRITURE

prentissages (voir encart 4, Labat et al., 2014 ; Labat, Magnan, & Écalle, 2011) ou encore d'un enfant atteint de trisomie 21 (Labat, Ecalle, & Magnan, 2013). Cependant, l'haptique n'est pas l'unique moyen de solliciter la motricité des enfants : d'autres pistes ont été explorées telles que l'utilisation du corps entier, en marchant sur des lettres tracées au sol (Bara, Lannuzel, Pronost, & Calvarin, 2013), ou encore l'exploration graphomotrice.

Encart 4 : How can low-skilled 5-year-old children benefit from multisensory training on the acquisition of the alphabetic principle? (Labat et al., 2014)

Objectif : Evaluer l'effet de trois types d'entraînement (Audio-Visuel, Audio-Visuel-Haptique et Audio-Visuel-Graphomoteur) sur la connaissance et l'écriture de lettres chez les enfants de 5 ans en fonction de leurs performances individuelles.

Méthode : 72 enfants (âge moyen : 5.6 ans) assignés aléatoirement dans 4 groupes, Contrôle (C), Visuel (V), Visuo-Haptique (VH) et Visuo-Graphomoteur (VG).

Procédure classique pré-tests – entraînement – post-tests

Deux profils, "low-skilled" (LS) vs. "high-skilled" (HS) sont formés à l'issue des pré-tests reflétant ainsi le niveau initial des enfants.

Tâches : Une tâche de reconnaissance de lettre, une tâche de connaissance du son des lettres et une tâche de dictée de pseudo-mots.

Entraînements : Groupe C : activités ludiques non liées aux lettres ; Groupes V, VH, VG : exercices phonologiques et sensorimoteurs. Les groupes différaient selon le type d'exploration sensorimotrice.

Matériel : Deux types de lettres, entraînées (TL) ou non-entraînées (unTL)

Hypothèses : Par rapport aux enfants HS, les enfants LS bénéficieront davantage : (a) des entraînements V, VH et VG pour les tâches de connaissance des lettres et (b) de l'entraînement VG pour la tâche de dictée de pseudo-mots.

Résultats :

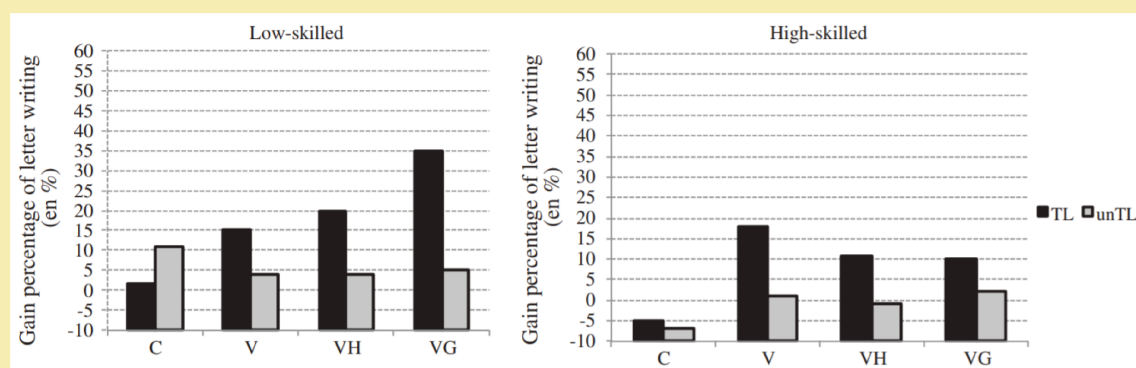


Figure 3.2. Pourcentages de gain pour les lettres entraînées (TL) et non-entraînées (unTL) en fonction du niveau (faible ou élevé) dans les quatre groupes de formation (Contrôle - C, Visuel - V, Visuo-Haptique - VH et Visuo-Graphomoteur - VG) en dictée de pseudo-mots.

Dans la tâche de connaissance du son des lettres, de meilleurs gains de performances ont été observés dans les groupes C, VH et VG mais ces gains ne différaient pas selon le profil des enfants. Dans la tâche de dictée de pseudo-mots (voir figure 3.2), l'entraînement VG s'est révélé le plus efficace et ce tout particulièrement pour les enfants à faible niveau initial. Cette étude réplique les effets bénéfiques de l'apprentissage des lettres par exploration kinesthésique et permet de souligner la pertinence de cette méthode d'enseignement auprès d'enfants en difficultés d'apprentissage.

3.2.3 L'exploration graphomotrice pour apprendre à lire

L'acte d'écrire à la main peut être défini comme une habileté perceptuelle motrice complexe qui dépend de la maturation et de l'intégration d'un certain nombre d'habiletés cognitives, perceptuelles et motrices (Palmis, Danna, Velay, & Longcamp, 2017; van Galen, 1991). L'acquisition de l'écriture résulte de l'interaction entre des processus centraux et des processus périphériques (Kandel & Perret, 2015). Les processus centraux sont engagés lors de la sélection et l'activation des représentations mnésiques visuelles et auditives des lettres tandis que les processus périphériques sont impliqués dans la sélection et l'activation des programmes moteurs permettant de tracer ces lettres. Les jeunes enfants doivent donc dans un premier temps acquérir des représentations audio-visuelles des lettres afin de guider leur production puis, progressivement, des représentations motrices afin d'automatiser leur geste. Cette automatisation s'effectue entre 5 et 10 ans et se caractérise par une transition en termes de mode de production. En effet, entre 5 et 7 ans les enfants appliquent généralement un mode de production principalement rétroactif dans lequel les informations visuelles et tactilo-kinesthésiques sont analysées pendant et après la production de segments afin de corriger les trajectoires en temps réel. Cependant ce système de feedback est lent et coûteux cognitivement. En conséquence, aux alentours de 7 ans les enfants vont progressivement effectuer un passage vers un mode de contrôle proactif basé sur des représentations motrices stables appelés également programmes moteurs. Ces programmes moteurs permettent la libération de ressources cognitives et l'automatisation du geste. Des travaux récents auprès d'enfants d'âge préscolaire suggèrent que les habiletés précoces en écriture peuvent contribuer aux fondements de l'apprentissage de la lecture et de l'écriture. L. Dinehart et Manfra (2013) ont examiné si la motricité fine de plus de 3 000 enfants d'âge préscolaire prédisait leur réussite scolaire en école primaire. L'étude visait à comparer la prédictibilité de deux types d'habiletés motrices, la manipulation fine d'objets et l'écriture, sur la réussite scolaire. Les résultats indiquent que même si toutes les habiletés de motricité fine au préscolaire permettaient de prédire la réussite scolaire, les habiletés de motricité fine en écriture au préscolaire étaient constamment des prédicteurs plus solides des performances en lecture et en mathématiques que les tâches de manipulation d'objets. Les entraînements graphomoteurs destinés aux enfants pré-lecteurs correspondent généralement à des exercices de surlignage ou de copie. Divers

supports peuvent être utilisés, principalement le papier et les supports numériques, ainsi que plusieurs outils d'écriture tels que le stylo, le pinceau, le stylet ou encore le doigt bien que dans ce cas précis, le terme « tactilo-kinesthésique » semble plus approprié que « graphomoteur ». L'une des premières études à tester l'effet d'un entraînement graphomoteur sur des capacités de lecture chez des enfants pré-lecteurs est celle de Longcamp et al. (2005). Ces auteurs ont comparé deux types d'entraînements auprès d'enfants dont l'âge s'étendait de 3 à 6 ans. Les enfants ont d'abord été répartis en 3 blocs selon leur âge (i.e., jeunes, moyens et âgés) puis chacun des 3 blocs ont été divisés en 2 groupes d'entraînement (i.e., dactylographie vs. graphomoteur) appariés en fonction d'une batterie de pré-tests formant ainsi 6 groupes au total. Lors des entraînements, les enfants devaient copier des mots lettre par lettre, le mode de copie dépendait de leur groupe d'entraînement : soit via un clavier d'ordinateur pour le groupe dactylographie, soit avec du papier et un crayon-feutre pour le groupe graphomoteur. Afin d'évaluer l'efficacité des entraînements, un test de reconnaissance de lettres était administré au pré-test, au post-test T1 immédiatement après l'entraînement puis au post-test T2 une semaine plus tard. L'analyse des résultats a révélé que seul le groupe d'enfants « graphomoteur-âgés » s'est significativement amélioré entre le pré-test et le post-test T1 et cette amélioration s'est maintenue au post-test T2. En revanche, l'entraînement basé sur de la dactylographie n'a été bénéfique pour aucun des trois groupes d'âge (voir également Kiefer et al., 2015). Les résultats de cette étude indiquent que, sous réserve qu'ils ne soient pas trop jeunes, un entraînement basé sur de l'écriture manuscrite serait pertinent pour aider les enfants à mémoriser la forme des lettres. Ces résultats sont étayés par l'étude de Labat et al. (2010) dans laquelle 3 types d'entraînements à la connaissance des lettres étaient comparés (i.e., visuel, haptique et graphomoteur) chez des enfants de 3 et 5 ans (pour une description détaillée, voir encart 5). Les résultats indiquent que chez les enfants de 5 ans, les entraînements haptique et graphomoteur ont été globalement les plus efficaces, tandis que pour les enfants âgés de 3 ans, seul l'entraînement haptique s'est révélé bénéfique. La sensibilité au type d'exploration, haptique ou graphomotrice semble donc dépendre de l'âge des enfants ce qui peut s'expliquer aisément en termes d'habiletés motrices. L'acquisition du geste graphique demande la construction et la consolidation de programmes moteurs en mémoire à long terme, ce processus est long et graduel (Palmis et al., 2017). Le geste graphomoteur requiert des compétences de motricité distale fine qui ne sont pas

3.2. LE BÉNÉFICE DES ENTRAÎNEMENTS MULTISENSORIELS SUR LA LECTURE ET L'ÉCRITURE

encore assez développées à l'âge de 3-4 ans. Au fur et à mesure que les enfants grandissent et que leur motricité fine se développe, ils deviennent plus aptes à manipuler adéquatement les objets avec leurs mains (L. H. Dinehart, 2015). Dans une approche comparative des différents types d'entraînements, (Labat et al., 2015) ont évalué l'effet d'entraînements unisensoriels et multisensoriels sur l'acquisition du principe alphabétique chez des enfants pré-lecteurs. Ainsi, les enfants ont été répartis dans 5 groupes dont trois unisensoriels, les groupes Visuel (V), Haptique (H) et Graphomoteur (G), et deux multisensoriels, les groupes Visuo-Haptique (VH) et Visuo-Graphomoteur (VG). La procédure générale était une procédure classique pré-test, entraînements, post-test. Les entraînements, étalés sur plusieurs jours, consistaient en des exercices phonologiques et sensorimoteurs. Les 5 groupes d'entraînement différaient uniquement sur les exercices sensorimoteurs dans lesquels les lettres étaient explorées selon différents modes. Par exemple, dans les groupes unisensoriels H et G, les enfants avaient un bandeau sur les yeux afin d'isoler la modalité kinesthésique souhaitée. Les auteurs de cette étude ont observé une supériorité globale des entraînements multisensoriels, le fait de toucher ou de surligner les lettres avec un stylo, le tout sous le contrôle de la vision semble être une excellente méthode permettant de promouvoir l'apprentissage du code alphabétique. Ces conclusions ont également pu être mis en évidence chez des enfants en difficulté d'apprentissage (Labat et al., 2014), ou atteints de pathologie de la lecture (Seki, Yajima, & Sugishita, 1995).

Encart 5 : Effet d'entraînements bimodaux à la connaissance des lettres. Étude transversale chez des enfants de trois et cinq ans (Labat et al., 2010)

Objectif : Evaluer l'effet d'entraînements bimodaux sur la connaissance des lettres, l'écriture et la lecture de pseudomots auprès d'enfants de 3 et 5 ans.

Méthode : 42 enfants dont 21 enfants de grande section maternelle ($M = 64$ mois) et 21 enfants de petite section ($M = 40$ mois) répartis dans 3 groupes, Auditif/Visuel (V), Auditif/Haptique (H) et Auditif/Graphomoteur (G)

Procédure classique pré-tests – entraînement – post-tests Tâches : Les enfants étaient évalués avant et après l'entraînement via 3 tâches : (a) Connaissance du nom et du son des lettres, (b) Lecture de pseudomots et (c) Écriture de pseudo-mots

Entraînements : Les enfants effectuaient 4 séances d'entraînements (+ une 5ème séance de révision), ciblant chacune l'acquisition d'une seule correspondance lettre-son. Chaque séance comportait des exercices phonologiques et sensorimoteurs sur les lettres. Concernant les exercices sensorimoteurs, la lettre était donnée auditivement à l'enfant tandis qu'il explorait la lettre selon différents modes :

Groupe G : L'expérimentateur plaçait un cache devant les yeux de l'enfant puis guidait son geste afin de surligner la lettre selon l'ordre conventionnel de l'écriture. Dans un exercice de reconnaissance, l'enfant devait ensuite discriminer la lettre cible via le même type d'exploration graphomotrice.

Groupe H : Le principe de l'entraînement H était similaire à l'entraînement G cependant les lettres utilisées étaient des lettres en relief en mousse que les enfants, guidés par l'expérimentateur, devaient explorer en suivant l'ordre conventionnel de l'écriture.

Groupe V : Les consignes d'explorations étaient données oralement, les enfants devaient explorer la lettre visuellement en respectant ces consignes.

Matériel : Deux types de lettres, entraînées (B, U, S et I) ou non-entraînées (V, D, O et A)

Résultats :

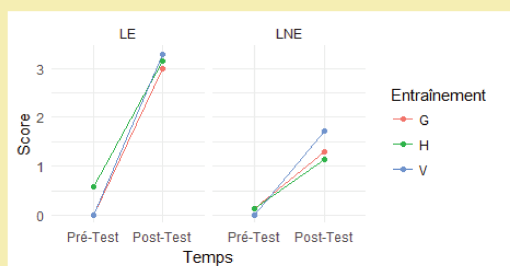


Figure 3.3. Scores moyens de connaissance des sons de lettres en fonction de la période, du groupe d'entraînement et du type de lettre (entraînées vs. non entraînées).

Les résultats indiquent que chez les enfants de 3 ans, concernant les tâches de connaissance du son des lettres et d'écriture de pseudomots, seul l'entraînement H a été efficace (tendanciellement significatif). En revanche chez les enfants de 5 ans (cf. figure 3.3), les performances des enfants des 3 groupes se sont significativement améliorés dans toutes les tâches. Dans la tâche de lecture de pseudomots, les enfants du groupe G ont obtenu la meilleure progression. Ces résultats suggèrent que l'exploration H serait particulièrement adaptée pour les enfants de 3 ans tandis qu'à partir de 5 ans, l'exploration G serait la plus pertinente.

3.2.4 L'exploration kinesthésique pour apprendre à lire et à écrire

L'ensemble des études citées dans les sous-parties 3.2.2 et 3.2.3 a pour originalité de mettre en avant des effets bénéfiques d'exploration kinesthésiques sur des habiletés en lecture. Il est pourtant loin d'être évident que ces explorations manuelles puissent favoriser la lecture dans laquelle la motricité, à part oculaire, ne semble a priori pas primordiale. En revanche, il paraît beaucoup plus intuitif d'imaginer que de tels entraînements puissent être favorables au développement de l'écriture. Cette intuition est largement validée par un corpus important d'études attestant des effets bénéfiques de tels entraînement sur l'acquisition de l'écriture. Il a ainsi été montré que des entraînements visuo-haptiques et/ou visuo-graphomoteurs favorisaient la production écrite (Kiefer et al., 2015 ; Labat et al., 2014, 2011 ; Patchan & Puranik, 2016) ainsi que la qualité intrinsèque de l'écriture (Bara et al., 2010 ; Bara & Gentaz, 2011 ; Jolly & Gentaz, 2013 ; Palluel-Germain et al., 2007). Selon les études, plusieurs variables ont été utilisées afin d'évaluer la qualité de la production écrite. Ces variables peuvent être regroupées en deux grandes catégories : les variables qualitatives, généralement évaluée par des juges, telles que la qualité finale de la production ou encore le ductus, c'est-à-dire le respect du sens conventionnel de l'écriture et de la séquence des traits composant la lettre, et les variables quantitatives (ou cinématiques), généralement enregistrées par un dispositif informatique, telles que la longueur, la vitesse, la pression, le nombre de traits, les temps de pause ou encore le nombre de pics de vitesse. Par exemple, Palluel-Germain et al. (2007) ont testé l'apport d'un dispositif visuo-haptique appelé « Télémaque » sur les performances en écriture manuscrite. Ce dispositif ergonomique, composé d'un bras mécanique et d'un stylo (voir figure 3.4), permettait de guider les enfants dans la production des lettres via un feedback moteur. Les lettres générées par l'interface visuo-haptique étaient affichées sur un écran d'ordinateur horizontal, les enfants devaient tenir un stylo attaché à un bras mécanique contrôlé par le logiciel Telemaque et se laisser guider dans la production de la lettre. L'analyse de la fluence des productions, via des variables cinématiques telles que la vitesse ou le nombre de pauses, ont montré qu'un tel dispositif pouvait se révéler pertinent pour aider des jeunes enfants à développer leurs habiletés en écriture.



Figure 3.4. Vue globale et schématique du poste de travail Télémaque (Palluel-Germain et al., 2007).

Au vu de l'ensemble de ces observations concernant les entraînements kinesthésiques à la connaissance des lettres, on ne peut que constater l'efficacité de ces entraînements et conclure à leur pertinence. Cependant le simple constat des effets bénéfiques ne suffit pas, le réel intérêt des études scientifiques est de comprendre ces effets après les avoir constatés. Dans cette optique, doit-on vraiment envisager les résultats obtenus sur la lecture et l'écriture de façon indépendante ? De plus en plus d'éléments tendent à laisser penser qu'au contraire, les habiletés en lecture et en écriture de lettres sont intimement liées parce que les représentations mnésiques des lettres seraient fondamentalement multimodales et incarnées.

3.3 EFFET BÉNÉFIQUE DES EXPLORATIONS KINESTHÉ- SIQUES ET INTÉGRATION : UNE APPROCHE INCARNÉE

3.3.1 Mouvements d'écriture et neuroimagerie : des preuves décisives


Après avoir comparé des entraînements basés sur de l'écriture manuscrite ou de la dactylographie chez des enfants Longcamp et al. (2006) ont eu l'idée de répliquer l'étude chez

des adultes avec un matériel basé sur un alphabet inconnu (pour une description détaillée, voir encart 6). Un effet bénéfique des mouvements d'écriture manuscrite a été observé, répliquant ainsi les résultats de la première étude. Afin d'approfondir ces résultats, cette équipe de chercheurs a mené une série d'étude en neuroimagerie cérébrale afin d'étudier le pattern d'activations neuronales lors de la perception de lettres (Longcamp, Anton, Roth, & Velay, 2003; Longcamp et al., 2008) : leurs résultats sont très intrigants, le simple fait de voir une lettre active une partie du cortex prémoteur gauche censée participer aux programmes moteurs nécessaires à la production de lettres. La lecture est généralement pensée comme une activité purement visuelle, pourtant, la simple perception de lettres semble activer les mêmes zones motrices activées lors de la production écrite de lettres. Ces résultats semblent suggérer que les mouvements d'écriture contribuent d'une certaine manière à la représentation mnésique des lettres. Ces données sont parfaitement en ligne avec une cognition incarnée telle que décrite dans les deux premiers chapitres. En mémoire, les lettres ne seraient pas des représentations uniquement visuelles, l'émergence de leur connaissance serait le reflet du contexte multisensoriel dans lequel elles ont été apprises.

Afin de confirmer cette hypothèse, Longcamp et al. (2008) ont élaboré un paradigme expérimental dans lequel les sujets devaient dans un premier temps apprendre à produire des nouveaux caractères via de la dactylographie ou de l'écriture manuscrite, puis dans un second temps réussir à les distinguer de leurs images miroir, le tout sous enregistrement en IRMf. Les résultats obtenus viennent confirmer les hypothèses : les activations cérébrales enregistrées lors de la perception des caractères diffèrent selon la manière dont ces caractères ont été appris. Une plus grande activité des régions du cerveau connues pour être impliquée dans l'écriture manuscrite est observée chez les sujets du groupe écriture manuelle. Cette constatation s'ajoute à la documentation de plus en plus abondante qui suggère que l'écriture manuelle est fondamentale pour l'établissement de réseaux neuronaux dédiés à la lecture dans le cerveau en développement (Kersey & James, 2013). Les mouvements d'écriture permettraient de créer des liens fonctionnels entre les régions visuelles et motrices du cerveau reflétant ainsi les différentes dimensions sensorielles des lettres (Vinci-Booher, James, & James, 2016). La représentation mnésique des lettres ne serait pas strictement visuelle mais plutôt soutenue par un réseau neuronal multidimensionnel impliquant des dimensions visuelles, motrices et auditives reflétant ainsi les

multiples façons dont les lettres ont été perçues. Ainsi, l'intégration de ces multiples composantes permettrait progressivement l'élaboration d'une connaissance stable et unifiée.

Ces hypothèses permettent d'expliquer de manière très élégante certaines observations réalisées par des cliniciens sur des patients alexiques (Bartolomeo, Bachoud-Lévi, Chokron, & Degos, 2002 ; Seki et al., 1995). Ces patients, incapable de reconnaître visuellement des lettres, améliorent considérablement leurs performances lorsqu'ils ont la possibilité de tracer la lettre avec le doigt. En passant par la dimension motrice de la lettre, ces patients accèdent ainsi à sa représentation auditive. Il a également été rapporté que la reconnaissance de lettres, présentées trait par trait, était plus rapide lorsque cette présentation était effectuée en respectant un ordre temporel cohérent avec l'écriture des lettres plutôt qu'un ordre de présentation des traits aléatoires (Parkinson, Dyson, & Khurana, 2010). Ces données expérimentales témoignent de l'importance d'une compréhension pointue des mécanismes sous-jacents à l'apprentissage des CGP. Une telle compréhension peut notamment avoir des répercussions pédagogiques très intéressantes.

 **Encart 6 : Remembering the orientation of newly learned characters depends on the associated writing knowledge : A comparison between handwriting and typing (Longcamp et al., 2006)**

Objectif : Investiguer les liens entre les mouvements d'écriture et la reconnaissance de caractères.

Méthode : 12 participants adultes droitiers répartis en 2 groupes

Matériel : Deux ensembles distincts de 10 stimuli (cf. figure 3.5)

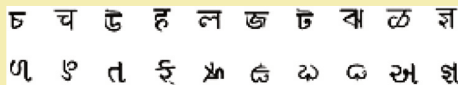


Figure 3.5. Deux ensembles de 10 stimuli utilisés pour l'apprentissage.

Procédure : La procédure se déroulait en 2 phases, une phase d'apprentissage et une phase de test. Lors de la phase d'apprentissage, la moitié des participants devaient apprendre le 1er ensemble de caractères en les écrivant et le 2nd ensemble en les tapant au clavier, la situation était inversée pour la seconde moitié des participants.

Apprentissage : L'apprentissage se déroulait sur 3 séances d'une heure (1 séance / semaine). Chaque caractère était affiché sur un écran d'ordinateur durant 5s (20 présentations / item), les participants devaient les reproduire. Les deux conditions d'apprentissage étaient exécutées séquentiellement dans une même session.

Condition Écriture manuscrite : Les participants devaient reproduire le caractère sur une feuille fixée à une tablette tactile. **Condition Dactylographie** : Les participants devaient trouver le caractère sur le clavier et le taper.

Test de Reconnaissance : Les caractères étaient présentés soit sous forme normale, soit sous forme inversée (i.e., en miroir), les participants devaient juger si le caractère était correctement orienté ou non. Ce test était administré 3 fois, immédiatement après la dernière session d'apprentissage (t0), une semaine après (t1) et 3 semaines après (t2).

Résultats :

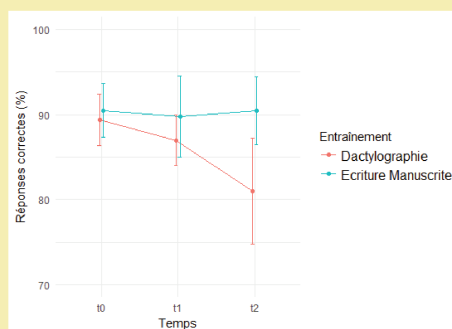


Figure 3.6. Moyenne des taux de réponse corrects pour les caractères dactylographiés et manuscrits, pour les 3 tests de reconnaissance.

L'apprentissage des caractères par l'écriture manuscrite a facilité leur reconnaissance ultérieure (cf. figure 3.6).

3.3.2 Des implications pédagogiques

Ces études en imagerie fournissent de nouvelles données permettant de tendre vers une vision incarnée des activités de lecture et d'écriture (Mangen & Schilhab, 2012). En s'appuyant sur cette nouvelle vision, il semble alors primordial de s'intéresser aux répercussions pédagogiques (Kiefer & Trumpp, 2012) et théoriques que cela entraîne. En effet, cette perspective permet d'apporter à la fois des éléments de réponse, mais également de nouvelles questions. Tout d'abord d'un point de vue pédagogique, les études en imagerie permettent de constater les interactions perceptivo-motrices en jeu lors de la lecture et de l'écriture et d'ainsi mettre en lumière les interactions entre ces deux activités. Cependant si ces études montrent que lors de la lecture, des zones cérébrales en rapport à l'écriture sont activées, elles ne prouvent pas pour autant que les gestes d'écriture favorisent les habiletés en lecture. On pourrait en effet imaginer que ces zones sont recrutées lors de la lecture mais que si elles ne l'étaient pas, les performances ne seraient pas impactées. Cependant, le fait de recouper les données en neuroimagerie cérébrale (Velay & Longcamp, 2013) avec les données cliniques (Bartolomeo et al., 2002 ; Seki et al., 1995) et comportementales sur les entraînements haptiques et graphomoteurs (Labat, Ecalle, & Magnan, 2017), permet de conclure sans équivoque à un apport bénéfique des gestes d'écriture sur les capacités de lecture.

En résumé, la maîtrise de la grapho-motricité a une influence sur la capacité des élèves à identifier les lettres de l'alphabet et ce tout particulièrement au début de l'apprentissage de la lecture. En effet les enfants qui écrivent mal les lettres sont ceux qui les reconnaissent le moins bien (Puolakanaho et al., 2007 ; Puranik, Lonigan, & Kim, 2011). Cette conclusion engendre des répercussions pédagogiques importantes. De nos jours, la plupart de nos activités d'écriture se font via des dispositifs numériques tels que des ordinateurs ou des smartphones (Mangen & Velay, 2010). Or, si l'écriture manuscrite disparaît progressivement, ne risque-t-on pas de faire face à une diminution des temps d'apprentissage de l'écriture manuscrite à l'école ? Une autre question soulevée par ces études est le type d'écriture à privilégier (Schwellnus, Cameron, & Carnahan, 2012 ; Velay, 2018) : l'abandon de l'enseignement de l'écriture cursive dans plusieurs états aux USA et plus récemment en Finlande a conduit à de nombreux débats. Quel type d'écriture faut-il enseigner manuscrite ou numérique, cursive (attachée) ou scripte (détachée) ? Quel est impact du geste

grapho-moteur sur la qualité d'écriture et de lecture ? Un argument fort en faveur de l'enseignement de l'écriture de type script concerne le lien entre la lecture et l'écriture. Les lettres scriptes devraient être mieux produites et reconnues que les lettres cursives parce qu'elles ressemblent davantage aux lettres présentes dans les livres et sur les écrans. Pourtant, une étude récente révèle que bien que l'écriture scripte soit plus rapide à produire, elle semble moins lisible que l'écriture cursive (Bara & Morin, 2013). Par ailleurs, ces auteurs remarquent que quel que soit le style d'écriture enseigné au départ, les enfants tendent vers un style d'écriture de plus en plus mixte. Cette évolution naturelle pourrait refléter une recherche d'efficacité et de fluidité et constituer un compromis pertinent. Dans le même esprit, les chercheurs ayant examiné le débat de la forme d'écriture à enseigner (manuscrite ou numérique) concluent globalement à la nécessité d'une coexistence des différents apprentissages (Stevenson & Just, 2014; Velay, 2018). La contribution des gestes d'écriture aux compétences en lecture et en écriture implique nécessairement que l'apprentissage de l'écriture manuscrite est indispensable et doit précéder celle de l'écriture dactylographique. Pour autant, l'enseignement de l'écriture dactylographique ne doit pas être négligé. Bien que cette forme d'écriture soit massivement utilisée à l'âge adulte, elle fait rarement l'objet d'une instruction encadrée. Après une revue de littérature, Stevenson et Just (2014) suggèrent qu'une solution optimale serait d'enseigner l'écriture dactylographique en fin d'école primaire en coexistence avec l'enseignement de l'écriture manuscrite.

3.3.3 Des implications théoriques : le rôle de l'intégration

En dehors de ces questions pédagogiques, des problématiques purement théoriques émergent. Jusque-là, nous avons précautionneusement décrit les résultats sans spécifiquement tenter d'expliquer les mécanismes sous-jacents. Pourtant, ce travail semble primordial : afin d'élaborer des situations d'apprentissage optimales, il est nécessaire d'identifier la source des effets bénéfiques et de comprendre le rôle des différents facteurs qui influent sur ces effets. Les données rapportées suggèrent que les activités de lecture et d'écriture sont fondamentalement incarnées. Le modèle Act-In semble tout à fait pertinent pour tenter d'expliquer les différents phénomènes mnésiques en jeu dans l'apprentissage des CGP.

Les données expérimentales que nous avons rapportées attestent d'un effet bénéfique

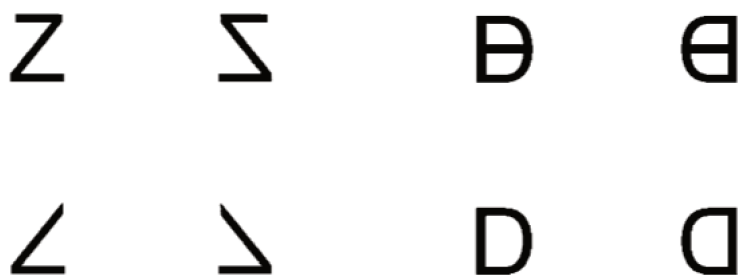


Figure 3.7. Deux exemples de configurations visuelles affichées sur l'écran de l'ordinateur durant le test de reconnaissance de l'étude de Longcamp et al. (2005).

des gestes d'écriture sur la reconnaissance visuelle de caractères (e.g., Longcamp et al., 2008, 2006, 2005). Dans ces études, la dimension auditive des lettres n'entre pas en jeu : en effet comme l'illustre la figure 3, les sujets avaient pour tâche de reconnaître la lettre cible parmi 3 lettres distractrices qui n'étaient pas des vraies lettres. Les sujets n'avaient donc pas besoin de connaître le nom ou le son des lettres cibles pour réussir la tâche. Les données expérimentales (Parkinson et al., 2010) et cliniques (Bartolomeo et al., 2002 ; Seki et al., 1995) offrent une piste d'explication à l'effet bénéfique observé dans ces études : les mouvements d'écriture permettent de produire la forme visuelle, ces mouvements permettent alors une accumulation de traces multimodales possédant des composantes visuelles et motrices fortement intégrées. L'intégration de ces différentes composantes permet alors l'élaboration de traces mnésiques cohérentes, unifiées mais également plus distinctes. Ces traces mnésiques multimodales vont permettre l'émergence ultérieure de représentations multimodales impliquant notamment des activations inter-modales. Cette distinctivité des traces va permettre lors de la tâche de reconnaissance visuelle, l'émergence de connaissances de type recollectives (Brunel et al., 2010).

Les données en neuroimagerie indiquent une activité des zones motrices du cerveau, cette activité pourrait être le reflet d'une simulation, au sens que lui porte Barsalou, des gestes moteurs nécessaires au tracé de la lettre. Ainsi, de la même manière que les patients alexiques semblent utiliser leurs connaissances motrices sur les lettres, les enfants ayant appris les lettres par l'écriture pourraient bénéficier de ces représentations motrices lors de la tâche de reconnaissance.

Lorsque la dimension auditive n'intervient pas, les effets bénéfiques semblent être assez simple à justifier théoriquement. Cependant comment expliquer l'effet bénéfique sur l'ac-

quisition des CGP ? Par nature, les CGP sont des associations visuo-auditive. Pourquoi un geste moteur favoriserait-il le lien entre les modalités visuelle et auditive ? D'après Bara et collaborateurs (Bara & Gentaz, 2011 ; Bara et al., 2004 ; Gentaz et al., 2003), les effets bénéfiques observés pourraient s'expliquer en terme de spécificités fonctionnelles des modes d'exploration (cf. sous-partie 3.2.2). Même si son fonctionnement est de nature séquentielle, la perception haptique est aussi une perception spatiale puisque l'exploration dans cette modalité n'est pas linéaire et sujette à une ordre fixe. La modalité haptique partage donc des caractéristiques fonctionnelles avec à la fois les modalités visuelle et auditive ce qui pourrait favoriser le traitement des CGP. Fredembach, Boisferon, et Gentaz (2009) parlent de « bond effect », la modalité haptique agirait ainsi en tant que liant, favorisant les connexions entre les dimensions visuelles et auditives de la lettre. Cependant, certaines données expérimentales sont à l'encontre de cette hypothèse du type de traitement comme unique explication du bénéfice des explorations kinesthésiques sur l'acquisition des CGP. En effet, dans leur étude, Labat et al. (2015) n'ont pas obtenu d'effet du type de traitement. Selon ces auteurs, les effets bénéfiques des explorations kinesthésiques s'expliquent par une meilleure intégration des représentations mnésiques des lettres. Cette meilleure intégration aurait comme conséquence d'accroître le caractère distinctif des traces en mémoire. La dimension motrice qu'apporte l'exploration haptique ou graphomotrice permettrait d'enrichir la trace mnésique et de solidifier les liens entre les différentes composantes. Plus il y aurait de composants associés à la trace, plus la trace serait distincte et donc plus la probabilité que la trace mnésique émerge serait forte (Brunel, Goldstone, Vallet, Riou, & Versace, 2013). L'écriture, pour être accomplie avec précision nécessite l'intégration d'informations visuelles, proprioceptives et tactiles (Fogassi & Gallesse, 2004) : l'implication de ces différentes modalités sensorielles pourrait susciter une meilleure intégration, c'est à dire des connexions neuronales plus fortes permettant une meilleure représentation des lettres et des mots.

Afin de bien comprendre ces effets, il convient de décrire les mécanismes impliqués d'un point de vue mnésique lors du traitement des CGP. Par exemple, lors d'une tâche de lecture de pseudo-mots, l'enfant perçoit visuellement des suites de lettres, et doit produire en retour un son. A l'inverse, lors d'une dictée de pseudo-mots, l'enfant perçoit un stimulus auditif (e.g., le son /poba/) et doit en réponse déterminer visuellement les lettres qui composent ce pseudo-mot. Dans ces deux tâches, qui possèdent une certaine symétrie,

l'enfant est confronté à l'une des dimensions de la lettre (i.e., visuelle ou auditive) et doit retrouver l'autre. Dans le cas de la lecture de pseudo-mots, la « situation présente » est le percept visuel du pseudo-mot. Pour réussir la tâche, il faut donc que ce percept, la représentation visuelle de la lettre, puisse activer en mémoire via une diffusion inter et intra-trace sa représentation auditive afin de permettre son émergence. Ainsi, plus les traces mnésiques des représentations visuelles et auditives seront fortement intégrées, plus la probabilité sera forte que la perception de la dimension visuelle de la lettre active et fasse ainsi émerger à la conscience sa dimension auditive. Au vu des effets bénéfiques des explorations motrices, celles-ci jouent donc nécessairement un rôle en termes d'intégration et de distinctivité des traces. Les données expérimentales (Camus et al., 2016; Macri et al., soumis), décrites page 36, sur l'influence de la motricité sur les capacités d'intégration permettent d'éclairer ces bénéfices. En effet ces études ont montré que l'action pouvait favoriser l'élaboration de traces mnésiques fortement intégrées, or, dans le cas d'associations audio-visuelles telles que les CGP, une telle intégration semble primordiale. De plus, ces études nous ont indiqué que n'importe quel type de motricité ne suffit pas à favoriser l'intégration, la causalité est une notion fondamentale. Dans le cas des mouvements d'écriture, la causalité semble justement parfaitement claire : les mouvements d'écriture sont à l'origine de la production de la forme visuelle. Dans cette perspective, il ne semble pas étonnant que de tels mouvements puissent faciliter l'apprentissage des CGP en favorisant l'élaboration de traces mnésiques multimodales fortement intégrées et donc plus distinctes.

OBJECTIFS ET PROBLÉMATIQUE

Nous sommes, dans notre vie quotidienne entourés d'associations audio-visuelles : nous les percevons et les mémorisons tout au long de notre vie. Pourtant, les mécanismes impliqués dans leur apprentissage restent abscons. En particulier, les facteurs et conditions permettant de favoriser de tels apprentissages sont rarement étudiés d'un point de vue mnésique. Ceci constituera donc l'un des objectifs de ce document. Plus précisément, nous nous intéresserons au bénéfice de la motricité dans l'apprentissage des correspondances grapho-phonémiques (CGP). En plus de l'intérêt purement théorique que suscite l'étude de cet apprentissage, l'importance de cette acquisition chez les jeunes enfants pré-lecteurs ajoute une portée pratique et pédagogique à ce travail.

Le premier chapitre de cette thèse a introduit le concept de cognition incarnée. Ce cadre théorique est caractérisé par deux grands principes : (a) la cognition est incarnée et située c'est-à-dire qu'elle doit être envisagée en accordant un rôle fondamental au corps et à l'interaction de l'individu avec son environnement et (b) les connaissances ne sont pas représentées par des symboles amodaux mais sont bien au contraire modales et situées. Dans ce cadre théorique, les interactions sensorimotrices ont donc un rôle fondamental ce qui le rend particulièrement adapté à l'étude de notre thématique. Plus précisément, le modèle cognitif qui servira de support théorique tout au long de ce document est un modèle appelé Act-In. Issu des modèles à traces multiples et inséré dans la perspective de la cognition incarnée et située, le modèle Act-In vise à décrire les mécanismes mnésiques impliqués toutes sortes d'activités cognitives quotidiennes ([Versace et al., 2009, 2014](#)). Le

système mnésique unique ainsi que les deux principaux mécanismes décrits dans ce modèle, l'activation interactive et l'intégration, permettent par conséquent de rendre compte des apprentissages et de l'émergence des connaissances.

Le chapitre 2 est entièrement dédié ce mécanisme qui est responsable de la force du lien entre les différents composants d'une trace mnésique, et donc de la richesse et de la cohérence des connaissances qui émergent. Les données de la littérature indiquent que plusieurs facteurs pourraient favoriser l'intégration tels que la synchronicité spatio-temporelle, le sommeil, la richesse des traces ou encore la motricité. Ce dernier facteur nous intéresse tout particulièrement. En effet, les études présentées dans le chapitre 3 ont mis en évidence le rôle bénéfique des gestes d'écriture sur l'apprentissage des lettres. Toutefois, les mécanismes sous-jacents ne sont pas encore connus. Or le modèle Act-In, et plus largement une conception incarnée de la cognition, prédit tout à fait que les programmes moteurs et les expériences sensorielles associées à l'écriture doivent être activés durant la lecture, au même titre que les autres composants multimodaux associés en mémoire aux mots lus. Toutefois, notre objectif dans cette thèse sera de montrer que la motricité n'est pas simplement un autre composant de la trace associé aux lettres (avec notamment les composants graphémiques et phonémiques), mais qu'elle participe à la maîtrise du principe alphabétique en facilitant l'intégration des composants graphémiques et phonémiques. Ainsi, nous faisons l'hypothèse que le bénéfice de la motricité dans l'apprentissage des CGP est lié au mécanisme d'intégration.

Ce document de thèse sera donc centré sur le rôle de la motricité et de l'intégration multimodale dans l'apprentissage des correspondances grapho-phonémiques. Les objectifs généraux de ce document de thèse visent à : i) étudier les mécanismes cognitifs à la base de l'apprentissage d'associations audio-visuelles et notamment des CGP, ii) mieux comprendre l'impact de la motricité (i.e., des gestes d'écriture) dans l'efficacité de ses mécanismes, et iii) proposer des méthodologies originales susceptibles d'augmenter l'efficacité de ces mécanismes et/ou de compenser d'éventuels déficits.

Au-delà du cadre théorique sur lequel cette thèse s'appuie, l'autre originalité est de vouloir rapprocher deux grands domaines d'études, celui de l'apprentissage de la lecture/écriture et celui de la mémoire. Bien que les deux domaines traitent d'apprentissage et donc de mémoire, il n'y a jamais eu de véritable tentative d'application des modèles de

3.3. EFFET BÉNÉFIQUE DES EXPLORATIONS KINESTHÉSIQUES ET INTÉGRATION : UNE APPROCHE INCARNÉE

la mémoire pour aider à la compréhension des mécanismes d'apprentissage de la lecture-écriture de mots, et inversement, les travaux sur la mémoire ont rarement regardé du côté des recherches sur l'apprentissage de la lecture-écriture pour valider leurs hypothèses.

Afin de rapprocher ces deux grands domaines, les travaux réalisés comporteront des études sur deux types de population : des populations adultes et des enfants d'âge préscolaire. L'objectif est de réaliser un parallèle systématique en réalisant des protocoles similaires mais adaptés aux deux types de population. Chez les adultes, le matériel sera composé de couples arbitraires de formes et de sons tandis que les enfants seront testés sur les CGP de la langue française. Les études chez l'adulte offrent généralement une plus grande souplesse expérimentale facilitant ainsi l'étude théorique des mécanismes sous-jacents. En parallèle, les expérimentations chez l'enfant présentent une dimension pratique et pédagogique intéressante. Les points communs et les différences des mécanismes impliqués dans ces deux populations seront discutés lors de la dernière partie de ce document.

Deuxième partie

Partie expérimentale

**BÉNÉFICE DE LA MOTRICITÉ DANS
L'APPRENTISSAGE D'ASSOCIATIONS
AUDIO-VISUELLES CHEZ L'ENFANT**

**4.1 ÉTUDE 1 : EFFET BÉNÉFIQUE DE L'AJOUT D'UNE
EXPLORATION MOTRICE SUR L'APPRENTISSAGE DES CGP
CHEZ DES ENFANTS DE 5 ANS**

4.1.1 Principe et objectifs de l'étude

L'objectif de cette présente étude est double. Dans un premier temps cette étude vise à confirmer l'effet bénéfique de l'ajout de la motricité dans un apprentissage multi-sensoriel des correspondances grapho-phonémiques. Dans un second temps l'objectif est de proposer un exemple original d'apprentissage multi-sensoriel (i.e., visuo-auditif-moteur) pour des enfants de grande section maternelle. Cet apprentissage, ciblant la connaissance des correspondances graphèmes-phonèmes, est de type incident et informatisé. Pour répondre

à ces objectifs, une étude a été menée dans laquelle une procédure pré-test / apprentissage / post-test a été utilisée avec des enfants de grande section maternelle. En s'inspirant des études précédemment citées, un apprentissage informatisé était proposé aux enfants. Cet apprentissage était de type incident et concernait huit lettres de la langue française. Deux groupes différents ont été constitués, un groupe Visuo-Auditif (VA) et un groupe Visuo-Auditif-Moteur (VAM), en s'assurant de l'homogénéité de ces groupes vis à vis de l'âge des enfants et de leurs performances aux pré-tests. En comparaison au groupe VA, les enfants du groupe VAM avaient pour consigne d'effectuer le tracé des lettres présentées à l'écran. Dans ces deux études, l'ajout d'une condition motrice devrait favoriser l'intégration et en conséquence augmenter l'efficacité mnésique. Nous postulons que la motricité devrait permettre de renforcer les liens grapho-phonémiques des traces mnésiques servant en quelque sorte de média de l'intégration. De ce fait, nous nous attendions à observer un effet bénéfique de l'ajout de la motricité et à ainsi obtenir de meilleures performances en condition d'apprentissage VAM.

4.1.2 Méthode

Participants

36 enfants (18 garçons et 18 filles) ont pris part à cette étude avec un âge moyen de 5 ans et 11 mois (amplitude : 5;4 - 6;3 ans). Tous les enfants étaient de langue maternelle française et n'avaient pas encore reçu d'instruction spécifique de lecture.

Après les pré-tests, les enfants ont été assignés aléatoirement à un des deux groupes : Visuo-Auditif (VA) ou Visuo-Auditif-Moteur (VAM). La répartition s'est effectuée en respectant un appariement sur l'âge, $t(34) < 1$, sur le genre (9 garçons et 9 filles par groupe) ainsi que sur la performance à la tâche de jugement de CGP, $t(34) < 1$, et de décodage de pseudo-mots, $t(34) < 1$.

Matériel et procédure

Les tâches informatisées ont été conçues et gérées à l'aide du logiciel Psyscope (Cohen, MacWhinney, Flatt, & Provost, 1993) et l'ensemble des passations se sont déroulées sur un ordinateur Macbook Pro disposant d'un casque audio et d'une bouton-box. La procédure

4.1. ÉTUDE 1 : EFFET BÉNÉFIQUE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION MOTRICE SUR L'APPRENTISSAGE DES CGP CHEZ DES ENFANTS DE 5 ANS

se déroulait en 3 phases : a) une phase de pré-tests, b) une phase d'apprentissage, c) une phase de post-tests. L'ensemble de la procédure est décrit dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1. Procédure complète de l'Étude 2. Chaque séance d'apprentissage était individuelle et durait 10 à 15mn.

Temps	t0	t1				t2
Jour	J1	J1	J2	J3	J4	J5
Phase	Pré-tests		Apprentissage			Post-tests
Tâches	Décodage de PM Jugement de CGP	(b/p)	(t/d)	(f/v)	(k/g)	Décodage de PM Jugement de CGP

Pré-tests et post-tests

Les enfants ont été évalués individuellement avant et après leur entraînement via deux tâches : une tâche informatisée de jugement de correspondance graphèmes-phonèmes (CGP) et une tâche de décodage de pseudo-mots.

Jugement de CGP

La figure 4.1 illustre le paradigme utilisé dans cette tâche. Elle consistait en une tâche de jugement de correspondance graphèmes-phonèmes : les phonèmes étaient présentés dans le contexte d'une syllabe CV affichée à l'écran (e.g. "ba") alors qu'un son était simultanément joué dans le casque. Ce son pouvait soit correspondre à la syllabe (e.g. /ba/) ou bien ne pas correspondre (e.g. /pa/). L'enfant devait juger si oui ou non la correspondance était correcte en utilisant la button-box. Le matériel était constitué de 8 stimuli visuels et 8 stimuli auditifs créés et retravaillés par l'équipe de Labat et al. (2014). Les stimuli visuels étaient 8 syllabes en script cursif composées par l'association d'une consonne (i.e., b/p/t/d/f/v/k/g) et de la voyelle "a". Les stimuli auditifs, dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau 4.2, étaient des syllabes créées avec le logiciel Acapela et retravaillées avec le logiciel Praat 5.3 (Boersma & Weenink, 2011). Certains traitements ont été appliqués à ces stimuli phonologiques : l'intonation et la hauteur ont été normalisées ; les blancs sonores avant et après la prononciation ont été supprimés. Chaque item était présenté 4 fois en condition correcte, 4 fois en condition incorrecte et l'ordre de présentation était aléatorisée. Ainsi chaque enfant obtenait un sous-score de 32 correspondant au nombre de bonnes détections et un sous-score de 32

correspondant au nombre de rejets corrects. De la même manière que dans la première étude, ces scores ont été analysés selon les techniques de la théorie de la détection du signal.

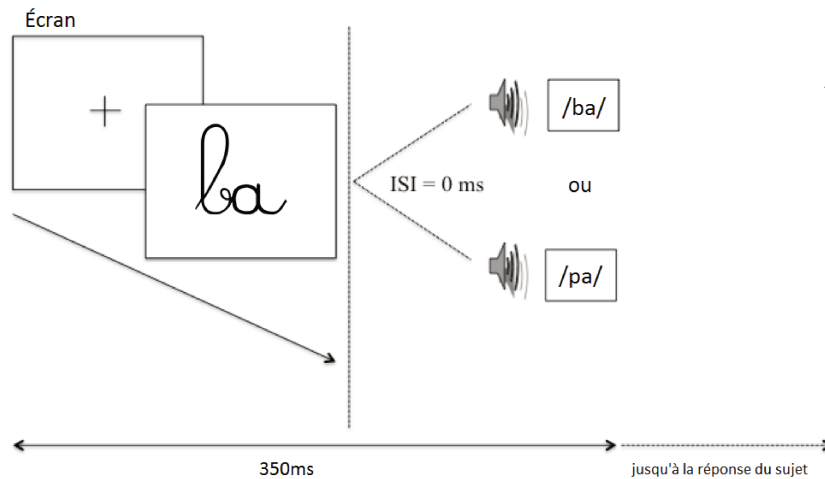


Figure 4.1. Procédure de la tâche de jugement de CGP

Tableau 4.2. Caractéristiques des stimuli phonologiques (syllabes)

Syllabes	Puissance moyenne du son (db)	Durée du son (ms)
/pa/	76	249
/ba/	79	307
/ta/	79	329
/da/	78	347
/ka/	80	308
/ga/	79	351
/fa/	78	325
/va/	77	335

Décodage de pseudo-mots

Cette tâche évalue la maîtrise des correspondances lettres-sons. Les enfants devaient lire 16 pseudo-mots bi-syllabiques de structure CVCV. Huit pseudo-mots finissaient par la voyelle "a" (e.g. pafa) et 8 pseudo-mots finissaient par la voyelle "i", "o" ou "u" (e.g. godi). La présentation des items était aléatorisée pour chaque enfant. Seule la prononciation des consonnes était évaluée et un point était accordé pour chaque correspondance lettre-son correcte. Ainsi un score sur un total de 32 était calculé pour chaque enfant, avec deux sous-scores sur 16 (i.e., pour les syllabes entraînées, E, et non entraînées, NE).

Apprentissage multisensoriel

Après les pré-tests, les enfants ont été assignés à un groupe (i.e., VA ou VAM) en respectant un appariement sur le genre, le sexe et les scores aux deux tâches de pré-tests. Les deux groupes d'enfants ont ensuite suivi un apprentissage s'étalant sur 4 jours consécutifs. Chaque jour un entraînement, d'une durée de quinze de minutes environ, avait pour objet l'apprentissage de la correspondance graphème-phonème d'une nouvelle paire de phonèmes (e.g., b/p). Au total, 8 phonèmes étaient entraînés correspondant aux 8 phonèmes décrits dans la tâche de jugement de CGP en pré-test. De la même manière que dans l'étude de Labat et al. (2014), ces 8 phonèmes ont été regroupés en 4 paires (i.e., b/p, t/d, k/g, f/v) sur la base de : a) leurs similitudes sur la forme visuelle et b) leurs similitudes phonologiques. Le tableau 4.3 provenant de l'étude de Labat et al. (2014) résume les caractéristiques des stimuli en se basant sur le modèle de l'échelle de sonorité de (Clements, 1990). Ce modèle propose deux sous classifications des types de son : une échelle universelle et une échelle applicable au système phonologique d'une langue donnée. Les paires sélectionnées sur la base de ces deux sous-classifications sont des consonnes constructives (pour la catégorie universelle) occlusives ou fricatives (pour la catégorie spécifique à la langue) et diffèrent sur le voisement (sourde ou non voisé et sonore ou voisé). En d'autres termes, les paires diffèrent sur le mode d'articulation dû au trait de voisement.

Tableau 4.3. Caractéristiques des stimuli (i.e., lettres) en fonction du trait de voisement.

Stimuli visuels	Catégories universelles	Catégories phonétiques de la langue
P	Constrictive	occlusive et sourde
B	Constrictive	occlusive et sonore
T	Constrictive	occlusive et sourde
D	Constrictive	occlusive et sonore
K	Constrictive	occlusive et sourde
G	Constrictive	occlusive et sonore
F	Constrictive	fricative et sourde
V	Constrictive	fricative et sonore

Comme lors du pré-test, ces phonèmes étaient présentés dans le contexte d'une syllabe formée par l'association d'une consonne et de la voyelle "a". Pour chaque stimulus, un curseur rouge a été ajouté à l'aide du logiciel Microsoft Powerpoint. Ce curseur parcourait

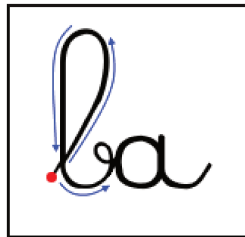


Figure 4.2. Schématisation de l'animation utilisée lors de l'apprentissage. Un curseur rouge parcourt la lettre dans le sens conventionnel de l'écriture.

la consonne (e.g., la lettre b pour le stimulus ba) en respectant le sens conventionnel d'écriture de cette consonne (voir figure 4.2). La vitesse du curseur était identique pour chacune des lettres, pour cela, la longueur des lettres a été estimée¹, puis le temps de présentation a été calculé pour chaque lettre en se basant une référence de 10 secondes pour la lettre b (voir le tableau 4.4). Les animations ainsi obtenues ont été converties en image GIF à l'aide du logiciel Camtasia. Un exemple de stimulus est illustré dans la figure 4.3. Le son de la lettre était présenté deux fois, une première fois à l'apparition de la lettre, une seconde fois 4 secondes plus tard. Les syllabes étaient présentées, dans un ordre aléatoire, 16 fois chacune.

Tableau 4.4. Temps de parcours en secondes du curseur rouge en fonction de la lettre.

Lettre	b	p	t	d	k	g	f	v
Temps	10	8.1	7.7	10.3	12.3	12	13.2	5

Lors de cet apprentissage, la consigne donnée à l'enfant différait selon le groupe : les enfants du groupe VA devaient simplement suivre des yeux le curseur tandis que les enfants du groupe VAM devaient effectuer le tracé de la lettre sur l'écran de l'ordinateur en suivant du doigt le curseur rouge. Ainsi la seule différence entre les deux groupes était l'acte moteur. Une autre alternative aurait été de présenter aux enfants du groupe VA les syllabes sans curseur. Cependant il a été montré que la présence d'instructions d'exploration, suivant les règles conventionnelles du code écrit, favorisait l'élaboration d'une trace mnésique (Labat et al., 2011), il semble donc important de laisser ce curseur afin d'étudier spécifiquement l'influence de l'ajout de la modalité motrice lors de l'apprentissage.

1. La longueur des lettres a été estimée en se basant sur le nombre de pixels de chacune des lettres.

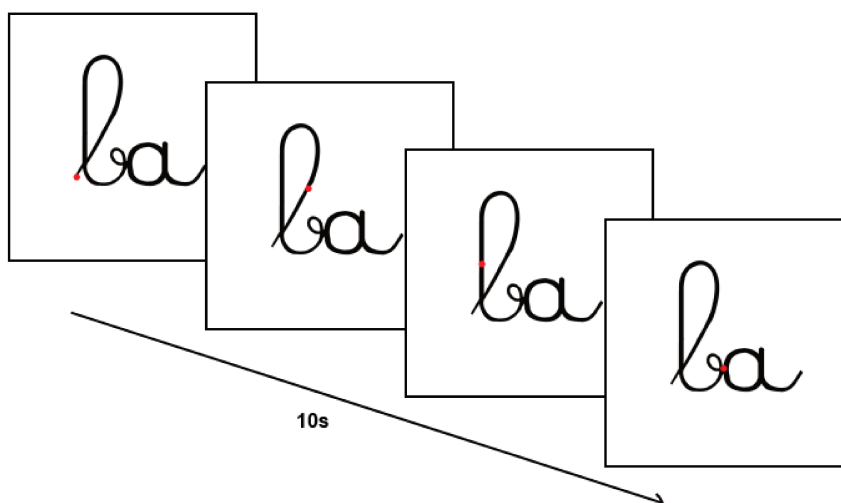


Figure 4.3. Exemple de stimulus utilisé lors de l'apprentissage. Contrairement à cette illustration, l'avancée du curseur était fluide et parcourait la lettre en 10s.

4.1.3 Hypothèses opérationnelles

Dans cette étude, nous nous attendions à observer un effet principal du temps indiquant une amélioration du pré-test au post-test dans les deux groupes. De plus, nous nous attendions à un effet bénéfique de l'exploration motrice. En ce sens une interaction test*groupe était attendue indiquant une plus forte amélioration du groupe VAM en comparaison au groupe VA. Ceci devrait se traduire au post-test par une supériorité pour le groupe VAM des indices d' dans la tâche de jugement de CGP et des scores totaux dans la tâche de décodage de pseudo-mots. Dans la tâche de décodage de pseudo-mots, nous nous attendions à une interaction temps*syllabes significative traduisant de meilleurs scores pour les syllabes entraînées que non-entraînées et ce particulièrement au post-test. Cependant, nous nous attendions également à ce que le score sur les syllabes non-entraînées s'améliore du pré-test au post-test. Ceci traduirait une généralisation du savoir acquis et témoignerait de l'efficacité des apprentissages mis en place.

4.1.4 Résultats

Traitement des données

Le design de cette étude était un design classique pré-test/post-test avec deux groupes indépendants (i.e., VA et VAM) et deux types de syllabes (i.e., E, Entraînées et NE, Non-Entraînées). Deux différentes variables dépendantes ont été analysées : l'indice de sensibilité d' pour la tâche de jugement de CGP et le score des sujets pour la tâche de décodage de pseudomots. Ces analyses ont visé à répondre aux questions suivantes : a) le score des sujets dans la tâche de jugement de CGP est-il au-dessus du seuil du hasard lors du pré-test et du post-test? b) les deux types d'entraînements ont-ils différentes efficacités?

Alors que le type d'analyse pour répondre à la première question semble peu enclin au débat, la deuxième question quant à elle nécessite de faire certains choix dans l'approche à adopter. Cette question peut également se formuler tel que : "les groupes diffèrent-ils dans le changement du pré-test au post-test?". Formulé de cette manière, l'analyse statistique la plus adéquate semble être une ANOVA avec le temps (pré-test/post-test) et le type de syllabes (E/NE) comme facteurs intra-sujets et le groupe (VA/VAM) comme facteur inter-sujets. L'étude de l'interaction entre les facteurs temps et groupe permet alors de répondre à la question théorique. Une seconde solution parfois utilisée dans la littérature serait de réaliser une ANOVA en prenant comme variable dépendante la différence entre les scores au post-test et pré-test et comme variable indépendante le groupe. Il existe également une troisième option qui est de réaliser une analyse de covariance (ANCOVA) sur le score du post-test en fonction du groupe en entrant le score du pré-test comme covariable. Cette approche répond à une question théorique légèrement différente qui peut s'énoncer comme suit : "les moyennes des scores au post-test, ajustées en fonction des scores au pré-test, sont elles statistiquement différentes?". Bien que ces questions soient différentes d'un point de vue conceptuel, dans un design aléatorisé pré-test/post-test elles sont en réalité équivalentes (voir [Rausch, Maxwell, & Kelley, 2003](#), pour une discussion). Cette équivalence provient du fait que l'assignation aléatoire à un groupe assure une homogénéité des moyennes des deux groupes au score du prétest. Ceci étant statué, d'après [Rausch et al. \(2003\)](#), une ANCOVA sur le score du post-test avec le score du pré-test comme covariable est la méthode la plus adaptée pour réaliser ce genre d'analyses car cette méthode permet une plus grande puissance statistique. Cependant

cette méthode ne permet pas de statuer si une amélioration globale a eu lieu entre le pré-test et le post-test. Elle ne permet pas non plus de tester l'effet d'interaction entre le type de syllabes et le temps. En conséquence, au prix d'une puissance statistique moindre, une ANOVA a été effectuée.

Dans la tâche de Jugement de CGP l'indice de sensibilité d' a été utilisé. Cet indice provient de la théorie de la détection du signal (Green & Swets, 1966) et permet de mesurer la capacité de discriminabilité des sujets. En d'autres termes cet indice va permettre de mesurer à quel point les sujets discriminent les bonnes associations des mauvaises. L'indice de sensibilité d' se calcule en utilisant la formule :

$$d' = \Phi^{-1}(H) - \Phi^{-1}(F) \quad (4.1)$$

Avec respectivement H le taux de détections correctes (i.e., hits), F le taux de rejets corrects et Φ^{-1} la fonction permettant de transformer les taux H et F en scores z . Cependant, comme souligné par Macmillan et Kaplan (1985), lorsque le but est de comparer les sensibilités de deux groupes de sujets et que le nombre de stimuli par sujet est relativement faible, il est fortement déconseillé de calculer un d' par sujet puis d'effectuer la moyenne de ces d' . En effet si le nombre de stimuli est faible, certains sujets risquent fortement d'obtenir des taux H ou F de 0 ou de 1 ce qui amènerait à un d' infini. Dans ce cas, Macmillan et Kaplan (1985) proposent de calculer un d' sommé basé sur la somme des détections correctes et fausses alarmes de tous les sujets d'un groupe. Ce d' , calculé selon la même formule que l'équation (4.1) possède une variance qui peut être obtenue avec la formule :

$$var(d') = \frac{H(1-H)}{N_H ord^2(H)} + \frac{F(1-F)}{N_F ord^2(F)} \quad (4.2)$$

Avec H et F les taux de bonnes détections et de fausses alarmes, N_H et N_F les nombres de stimuli sur lequel ces proportions se basent et $ord(p)$ la hauteur de la densité normale pour la valeur z correspondant à une proportion p . De cette manière, pour chaque groupe de sujets, il est possible d'obtenir un d' non biaisé et une variance associée. En revanche il n'est plus possible d'utiliser des tests paramétriques tels que le test de student ou l'ANOVA pour comparer les deux groupes. L'une des solutions est d'utiliser le test G

proposé par Gourevitch et Galanter (1967) via la formule :

$$G = \frac{d'_a - d'_b}{\sqrt{\text{var}(d'_a) + \text{var}(d'_b)}} \quad (4.3)$$

La statistique G résultante est approximativement normale (0, 1) et fournit un test de l'hypothèse nulle.

L'ensemble des analyses ont été réalisées sous R (R Core Team, 2013). En présence d'un effet significatif, la taille d'effet a été calculée en utilisant le eta carré (η^2) pour les ANOVAs et le d de Cohen pour les tests t .

Jugement de CGP

Scores des sujets et seuil de hasard.

La figure 4.4 permet d'illustrer les performances des sujets (i.e., indices d') dans la tâche de Jugement de CGP. La diagonale noire représente le seuil de la chance tandis que chaque point représente le score d' d'un sujet en fonction de sa proportion de fausses alarmes et de bonnes détections. Plus le point est éloigné à gauche de la diagonale, plus le score d' est élevé. Un score parfait correspond à une proportion nulle de fausses alarmes (FA) et à une proportion maximale de bonnes détections (Hits), son point se situe donc en haut à gauche du graphique.

Un test t a été effectué afin de vérifier si le score des sujets dépasse le seuil du hasard lors du pré-test et du post-test. Ici le score étudié est le taux de bonnes réponses (i.e., bonnes détections et rejets corrects), il est donc comparé à un taux de 50% qui représente le seuil du hasard. Ce test a révélé que ni les participants du groupe VA, $t(17) = 1.06$, $p = .31$, ni les participants du groupe VAM, $t(17) = 0.67$, $p = .51$, ne diffèrent statistiquement du seuil du hasard. Les performances du groupe VA ($M = 51.56\%$; $SE = 1.48$) et du groupe VAM ($M = 51.56\%$; $SE = 2.35$) lors du pré-test sont donc très faibles puisque les sujets semblent avoir répondu de manière aléatoire. En revanche, lors du post-test, les enfants du groupe VA ($M = 59.55\%$; $SE = 3.12$), $t(17) = 3.06$, $p < .01$, ainsi que les enfants du groupe VAM ($M = 65.45\%$; $SE = 3.44$), $t(17) = 4.49$, $p < .001$, ont répondu au-delà du seuil du hasard. Ces résultats suggèrent que les deux types d'entraînement ont été bénéfiques, mais ne permettent pas de comparer l'efficacité des deux groupes ce qui

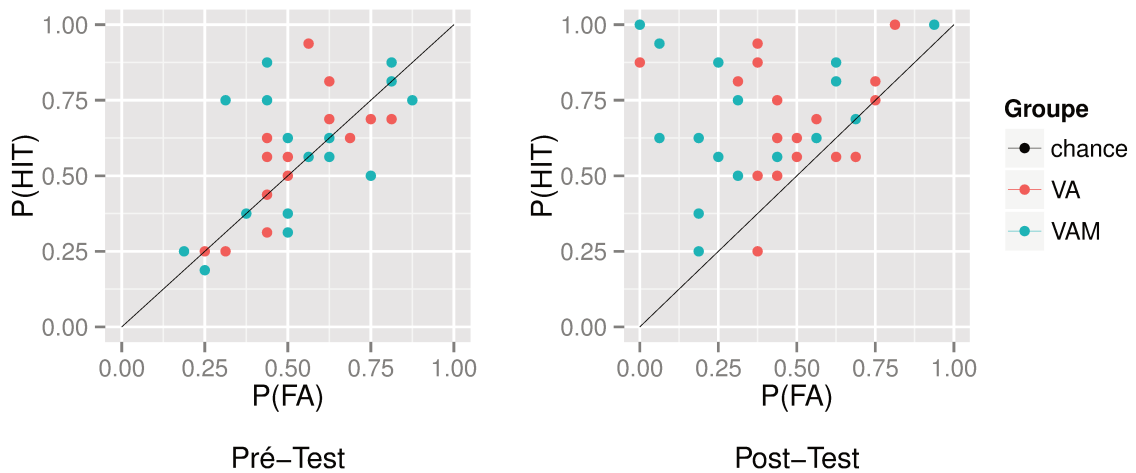


Figure 4.4. Proportion de hits en fonction de la proportion de fausses alarmes pour chaque sujet selon le groupe et le moment du test dans la tâche de jugement de CGP.

peut être réalisé via le test statistique G.

Indice d' et différence entre les groupes.

L'indice de sensibilité d' au post-test a été calculé pour chaque groupe en fonction du taux de bonnes détections et du taux de fausses alarmes (cf. figure 4.5). Le test G a révélé une différence significative entre les deux groupes, $G = 1.99$, $p < .05$. Les enfants du groupe VAM ont significativement mieux discriminer les stimuli ($d' = 0.80$; $SD = 0.11$) que les enfants du groupe VA ($d' = 0.50$; $SE = 0.11$).

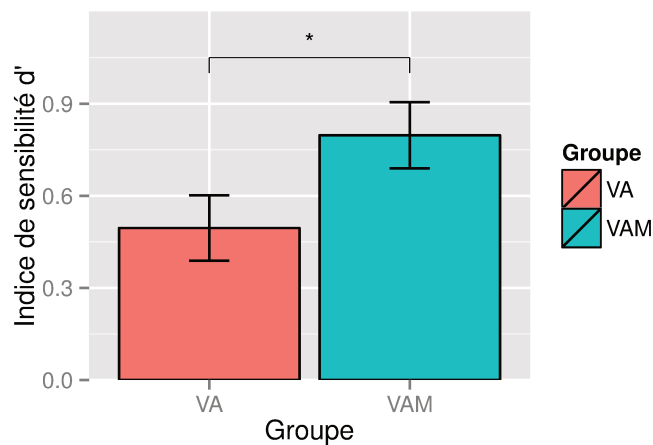


Figure 4.5. Indice de sensibilité d' et écarts types en fonction du Groupe. Notes : * $p < .05$

Décodage de pseudomots

ANOVA, Plan complet $S_{18} < G_2 > * T_2 * L_2$.

Afin d'analyser les scores en décodage de pseudomots, une ANOVA a été effectuée avec le groupe (i.e., VA/VAM) comme facteur inter-sujets, le temps (i.e., pré-test/post-test) et le type de syllabes (i.e., E, Entraînées / NE, Non-Entraînées) comme facteurs intra-sujets. L'ensemble des résultats de cette tâche est illustré par la figure 4.6.

L'analyse de variance a révélé un effet significatif du temps, $F(1,34) = 164.89$, $p < .001$, $\eta^2 = .17$, indiquant que les deux groupes d'enfants ont été significativement meilleurs au post-test ($M = 10.28$; $SE = 1.27$) qu'au pré-test ($M = 3.81$; $SE = 1.02$). L'interaction temps*groupe s'est révélée tendancielle, $F(1,34) = 3.72$, $p = .06$, $\eta^2 = .01$. L'amélioration du pré-test au post-test du groupe VAM ($M = +7.44$; $SE = 0.74$) n'a pas été statistiquement supérieure à celle du groupe VA ($M = +5.50$; $SE = 0.68$), bien que les différences approchent le seuil de significativité. Un effet du type de syllabes a été observé, $F(1,34) = 28.75$, $p < .001$, $\eta^2 = .03$, mais cet effet est modulé par une interaction syllabes*temps significative, $F(1,34) = 11.43$, $p < .01$, $\eta^2 = .01$. Ces effets indiquent que les syllabes entraînées ont été globalement mieux réussies, mais que cette différence est plus forte lors du post-test. Cet effet est vrai quel que soit le groupe puisque l'interaction double syllabes*temps*groupe n'est pas ressortie significative, $F < 1$.

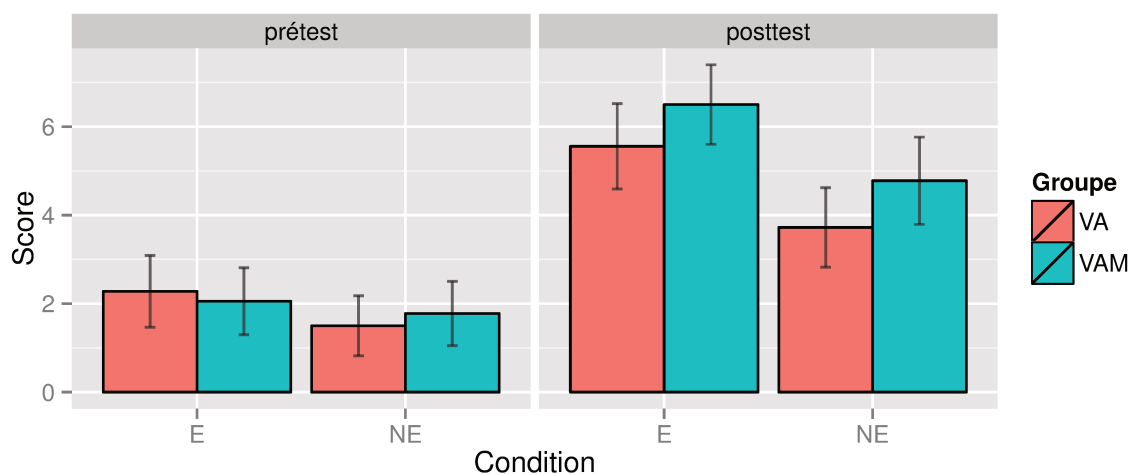


Figure 4.6. Moyennes des scores au décodage de pseudomots et erreurs standards en fonction du groupe et du type de syllabe (Entraînées, E ou Non-Entraînées, NE).

ANOVA, Plan partiel $S_{18} < G_2 > *T2$ avec uniquement les syllabes NE.

Conformément à nos hypothèses a priori, une analyse de variance a été effectuée en ne prenant en compte que les syllabes non entraînées. L'ANOVA a révélé un effet significatif du temps, $F(1,34) = 67.79$, $p < .001$, $\eta^2 = .13$. En revanche l'effet d'interaction temps*groupe n'était pas significatif. Ces effets révèlent que les deux groupes d'enfants VA et VAM se sont significativement améliorés dans le décodage de pseudomots possédant des syllabes qui n'avaient pas été entraînées. Il y a donc eu généralisation des connaissances acquises.

ANCOVA, Plan complet $S_{18} < G_2 > *L2$.

L'analyse de variance a révélé un effet tendanciel de l'interaction temps*groupe. Cette interaction étant l'objet principal de l'analyse, il semble légitime de vouloir approfondir l'analyse. Conformément à nos hypothèses a priori, et en accord avec les travaux démontrant une puissance statistique supérieure de l'ANCOVA (Rausch et al., 2003), une analyse de covariance a été effectuée sur le score au post-test en entrant le score au pré-test comme covariable. L'ANCOVA a révélé un effet significatif du groupe, $F(1,34) = 6.02$, $p < .05$, $\eta^2 = .10$, et du type de syllabes, $F(1,34) = 24.47$, $p < .001$, $\eta^2 = .19$. L'effet d'interaction groupe*syllabes n'était pas significatif, $F(1,34) < 1$. Sur le total des 32 syllabes en contexte de pseudomots, les enfants du groupe VAM ont donc identifié statistiquement plus de syllabes ($M = 11.28$; $SE = 1.83$) que les enfants du groupe VA ($M = 9.28$; $SE = 1.78$). De plus les syllabes non entraînées ont été globalement moins bien réussies ($M = 4.25$; $SE = 0.66$) que les syllabes entraînées ($M = 6.03$; $SE = 0.65$).

4.1.5 Discussion

Le but de cette première expérience était de proposer un exemple d'apprentissage multisensoriel pour des enfants de grande section maternelle. Cet apprentissage, ciblant l'apprentissage des correspondances graphèmes-phonèmes, était de type incident (i.e., les enfants étaient exposés aux lettres sans consigne particulière de mémorisation) et informatisé. L'efficacité de deux situations d'apprentissages était comparée : une situation dans laquelle les enfants exploraient les lettres de manière visuelle et auditive (i.e., groupe VA) et une situation dans laquelle les enfants exploraient les lettres de manière visuelle,

auditive et motrice (i.e., groupe VAM). Afin d'évaluer l'efficacité de ces entraînements, deux tâches étaient proposées : une tâche de jugement de CGP et une tâche de décodage de pseudo-mots. Nous nous attendions à ce que l'ajout de la modalité motrice favorise une meilleure intégration visuo-auditive et permette aux enfants effectuant cet apprentissage de mieux mémoriser les associations entre lettres et sons.

Jugement de CGP.

Les résultats ont montré que les deux groupes d'enfants (i.e., VA et VAM) se sont améliorés entre le pré-test et le post-test dans la tâche de jugement de CGP. Alors que les enfants répondaient au hasard lors du pré-test, les indices d' au post-test indiquent que les enfants ont répondu au delà du seuil du hasard lors du post-test. L'apprentissage de type incident que ces enfants ont suivi a donc aidé à l'apprentissage des CGP. Les différentes dimensions sensorielles des lettres, notamment leur forme visuelle ainsi que le son qui leur correspond, ont été intégrées dans une trace mnésique unique. Cette intégration a directement facilité l'acquisition des CGP. Cet apprentissage s'est fait de manière incidente, sans volonté de la part des enfants de mémoriser les associations. La simple présentation, à de multiples reprises, des associations lettres/sons a suffi à la formation de traces mnésiques suffisamment riches et stables pour pouvoir permettre aux enfants de discriminer les bonnes des mauvaises associations lors du post-test plusieurs jours après le début de l'apprentissage.

De plus, les résultats ont démontré une plus grande efficacité de l'apprentissage VAM par rapport à l'apprentissage VA. L'ajout de la composante motrice à l'association des perceptions visuelle et auditive permettrait, par un encodage multimodal, de former des représentations plus précises et plus riches des lettres en mémoire. Cette représentation multimodale permettrait d'effectuer plus facilement le lien entre la lettre et le son qui lui correspond. Ces résultats viennent confirmer les travaux expérimentaux (Longcamp et al., 2005, 2006) ainsi que les données en neuromagerie (Longcamp et al., 2008) indiquant une contribution de la motricité graphique dans la reconnaissance visuelle des lettres. Cette contribution serait dû aux liens étroits qui existent entre les lettres et les mouvements qui permettent de les former : les mouvements d'écriture. La connaissance des lettres, c'est à dire la connaissance du nom, du son et de la forme des lettres, a été identifié comme

l'un des prédicteurs les plus puissants de la réussite ultérieure en lecture (voir [Foulin, 2007](#), pour une revue), la conception d'entraînements favorisant cette acquisition est donc un enjeu intéressant à investiguer d'un point de vue éducatif. L'ensemble de ces études suggère qu'un apprentissage multisensoriel, avec notamment une exploration motrice des lettres, apparaît comme une méthode pédagogique intéressante à mettre en place avec des jeunes enfants pré-lecteurs. De plus cet apprentissage peut se faire de manière incidente par exposition systématique des associations lettres-sons combinées à l'exploration motrice (voir également [Labat et al., 2014](#)).

Décodage de pseudo-mots.

Le même pattern de résultats a été observé dans la tâche de décodage de pseudo-mots. Les enfants se sont significativement améliorés en décodage de pseudo-mots entre le pré-test et le post-test. Les deux types d'entraînement ont permis de renforcer les compétences de décodage des enfants. Ce résultat avait également été observé par [Gentaz et al. \(2003\)](#) ainsi que par [Bara et al. \(2004\)](#). Ces études, qui avaient pour objectif la comparaison de plusieurs types d'exploration des lettres, ont montré un effet bénéfique de ces explorations sur les compétences de décodage de mots. Au delà de la connaissance des lettres, ce sont les relations graphèmes-phonèmes qui ont été améliorées par la manipulation des lettres. L'habileté en décodage phonologique de mots est considérée comme critique dans l'acquisition de représentations orthographiques spécifiées ([D. L. Share, 1999](#)). D'après le modèle « self-teaching » ([Jorm & Share, 1983](#)), chaque réussite dans le décodage d'un nouveau mot au cours de la lecture permet l'acquisition d'informations orthographiques spécifiques concernant le mot en question. Relativement peu d'expositions semblent nécessaires aux enfants pour acquérir ces représentations orthographiques ([Ehri & Saltmarsh, 1995](#)). Les procédures de décodage phonologique permettraient donc aux enfants de développer de façon indépendante les représentations orthographiques des mots essentielles à l'expertise en lecture ([D. L. Share, 1999](#)).

Dans la présente étude, cette amélioration entre le pré-test et le post-test a également été observée concernant les syllabes non entraînées. Cet effet démontre que l'apprentissage effectué a permis une généralisation des connaissances acquises. Ce transfert de compétences avait également été observé dans l'étude de [Labat et al. \(2014\)](#) utilisant la

même tâche de décodage de pseudo-mots. Dans la même lignée, Labat et al. (2015), qui comparaient différents entraînements sur des lettres, ont observé une amélioration des performances sur les lettres non-entraînées. Ce transfert de compétences serait expliqué par le partage de caractéristiques communes entre les lettres entraînées et non-entraînées.

De la même manière que pour la tâche de jugement de CGP, l'amélioration entre le pré-test et le post-test dans la présente étude a été d'une plus grande ampleur pour les enfants ayant suivi l'apprentissage VAM. Ces résultats confirment les différents effets bénéfiques d'exploration visuo-motrice des lettres observés dans la littérature (e.g., Bara et al., 2004; Bara & Gentaz, 2011; Gentaz et al., 2003; Labat et al., 2010, 2015). Pris dans leur ensemble, ces résultats suggèrent que l'ajout d'une exploration motrice des lettres permettrait de favoriser l'intégration visuo-auditive. En d'autres termes, l'ajout de cette modalité permettrait de renforcer le lien entre les représentations orthographiques et phonologiques des lettres améliorant ainsi les compétences de décodage des enfants.

Décodage de pseudo-mots.

Cette première étude nous a permis de concevoir et tester un dispositif d'apprentissage comprenant une exploration motrice et ciblant l'acquisition du principe alphabétique chez des enfants pré-lecteurs. L'effet bénéfique de la motricité a ainsi pu être répliqué et confirmé auprès d'enfants typiques. Cependant, ce dispositif peut très certainement être bénéfique pour d'autres types de population, notamment des enfants en difficultés de lecture.

4.2 ÉTUDE 2 : EFFET BÉNÉFIQUE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION MOTRICE SUR L'APPRENTISSAGE DES CGP CHEZ DES ENFANTS AVEC DÉFICIENCE INTELLECTUELLE

4.2.1 Principe et objectifs de l'étude

4.2. ÉTUDE 2 : EFFET BÉNÉFIQUE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION MOTRICE SUR L'APPRENTISSAGE DES CGP CHEZ DES ENFANTS AVEC DÉFICIENCE INTELLECTUELLE

La première étude a permis de confirmer les effets bénéfiques, reportés dans la littérature (e.g., [Gentaz et al., 2003](#)), d'un entraînement multi-sensoriel et de montrer qu'un tel type de dispositif d'apprentissage implicite pouvait se montrer probant et permettait d'améliorer la compréhension du principe alphabétique chez les enfants typiques. Une étude exploratoire a pu montrer que les enfants porteurs d'une trisomie 21 étaient, tout comme les enfants typiques, sensibles aux entraînements haptiques à la connaissance des lettres ([Labat et al., 2013](#)). Ainsi, dans le même esprit que cette dernière étude de Labat et collaborateurs, l'étude 2 de ce document vise à transférer et tester le dispositif expérimental utilisé lors de l'étude 1 auprès d'une population en difficulté de lecture : les enfants avec déficience intellectuelle (DI). Les enfants atteints d'une DI manifestent de grandes difficultés dans l'acquisition de la langue écrite ([Ratz & Lenhard, 2013](#)), cependant plusieurs études ont montré que les entraînements aux différentes compétences prédictives de la lecture, démontrés efficaces chez les enfants typiques, semblent également l'être chez les personnes avec DI ([Allor, Mathes, Roberts, Jones, & Champlin, 2010](#) ; [Kennedy & Flynn, 2003](#)). Il est à noter que la plupart de ces études proposent un apprentissage explicite de la lecture alors que l'apprentissage implicite semble être une voie intéressante chez les enfants porteurs d'une DI ([Atwell, Conners, & Merrill, 2003](#) ; [Detable & Vinter, 2004](#)).

Par conséquent, l'objectif de l'étude 2 était de transférer le dispositif de l'étude 1 afin d'évaluer l'impact d'une exploration visuo-motrice au cours d'un apprentissage implicite (i.e., présentation incidente des correspondances grapho-phonémiques) sur l'acquisition du principe alphabétique d'adolescents aux aptitudes intellectuelles faibles. Comme dans l'étude 1, les participants étaient séparés en deux groupes, un groupe Visuo-Auditif-Moteur (VAM) et un groupe Visuo-Auditif (VA). L'hypothèse générale est que l'ajout d'une expérience manuelle à un apprentissage classique audio-visuel favoriserait l'acquisition du principe alphabétique chez des adolescents aux aptitudes intellectuelles faibles. Afin de prendre en compte l'hétérogénéité des troubles et des profils, l'évolution de chaque enfant sera remis en perspective en fonction de son profil cognitif via des études de cas uniques.

4.2.2 Méthode

Participants

Huit adolescents, 4 filles et 4 garçons (âge chronologique moyen : 13.3; Amplitude : [11.2-16]) aux aptitudes intellectuelles faibles (7/8 enfants : Matrices de Raven standards : Moyenne : 16.6/60; Écart-type : 3,05; Amplitude : [14; 22]; 1/8 enfant : Matrice de Raven Colorées : 21/36) ont pris part à cette étude. Tous étaient de langue maternelle française, avec un niveau pré-lecteur ou en grandes difficultés de lecture et ont été recrutés dans un institut médico-éducatif de la ville de Lyon. Les adolescents ont été répartis dans deux groupes d'entraînement : Visuo-Auditif (VA) vs. Visuo-Auditif-Moteur (VAM). Un profil cognitif a été établi à partir des tests standardisés afin de le mettre en perspective avec la sensibilité à l'apprentissage de chaque adolescent.

Matériel et Procédure

Le matériel de cette étude était constitué de 11 tests standardisés, d'une tâche permettant les entraînements et de deux tâches expérimentales permettant d'évaluer la progression des sujets. Les entraînements ainsi que les deux tâches expérimentales étaient centrés autour de 8 lettres cibles identiques à celles utilisées lors de l'étude 1 (i.e., les lettres b, p, t, d, k, g, f et v). La procédure générale était une procédure classique pré-tests, entraînements, post-tests.

Les tests standardisés

Dans un premier temps, les sujets ont passé l'ensemble des tests standardisés ainsi que les deux tâches expérimentales (4 séances de 2h environ ont été nécessaires). Les 11 tests standardisés ont permis d'évaluer les performances dans 5 grands domaines :

- l'intelligence non verbale était évaluée, selon l'âge des sujets, via les matrices progressives standards ou via les matrices progressives colorées
- la motricité était évaluée via les subtests de copie de figure et de précision visuo-motrice de la NEPSY II (Korkman, Kirk, & Kemp, 2007)
- le traitement visuo-spatial était évalué via les subtests des cloches et des flèches de la NEPSY II (Korkman et al., 2007)
- La mémoire était évaluée via les subtests d'empan de chiffres endroit et envers de l'ODEDYS II (Jacquier-Roux, Valdois, & Zorman, 2005)

- les habiletés méta-phonologiques étaient évaluées via les subtests de suppression de phonème initial et de fusion de phonèmes de l'ODEDYS II (Jacquier-Roux et al., 2005) et enfin
- la connaissance des lettres était évaluée via un test issu de l'étude de Labat et al. (2011)

Entraînements et tâches tests

Le matériel et la procédure utilisées concernant les entraînements et les deux tâches tests étaient strictement identiques à celui utilisé lors de l'étude 1. Pour une description plus détaillée de ces tâches, vous pouvez donc vous reporter à la page 70. Afin d'évaluer la progression des enfants, les deux tâches expérimentales ont été effectuées au pré-test et au post-test.

La tâche de jugement de CGP

L'objectif de ce test était d'évaluer le niveau de connaissance des CGP (pour une illustration, voir figure 4.1 page 72). La tâche consistait à juger si la syllabe orthographique présentée sur l'écran d'ordinateur (e.g., "ba") était congruente avec la syllabe phonologique entendue dans le casque (e.g., /ba/) ou non congruente (e.g., "va").

La tâche de décodage de pseudo-mots

Cette tâche permettait d'évaluer la maîtrise du principe alphabétique. Les enfants devaient lire 16 pseudo-mots bi-syllabiques formés à partir des 8 lettres cibles et d'une voyelle. La voyelle utilisée pouvait être le a (contexte similaire à l'apprentissage) ou une autre voyelle (contexte différent).

L'entraînement multisensoriel

L'entraînement était identique à celui de l'étude 1, ceux-ci ont été étalés sur 5 séances de 20mn à raison d'une séance par jour. Lors de chaque séance, deux lettres cibles s'opposant sur leur trait de voisement étaient ciblées (cf. tableau 4.3 page 73). La dernière séance était une séance de révision où toutes les lettres étaient présentées 4 fois. De la même manière que dans l'étude 1, l'entraînement différait selon le groupe (i.e., VA ou VAM) : les enfants du groupe VA devaient simplement suivre des yeux le curseur qui parcourait

la lettre tandis que ceux du groupe VAM devaient le suivre avec le doigt posé sur l'écran.

4.2.3 Résultats

Traitement des données

L'ensemble des données ont été traitées sous R (R Core Team, 2013). Au vu des faibles effectifs de chacun des groupes et de l'hétérogénéité des profils, des analyses de cas uniques ont été effectuées. Les données du test de jugement de CGP ont été traitées via le test G (pour plus de détails, voir page 76) qui permet de comparer statistiquement deux indices d' et d'ainsi souligner un potentiel progrès entre la performance du pré-test et celle du post-test. Dans la tâche de Décodage de pseudo-mots, deux facteurs étaient manipulés : le Temps (pré-test vs. post-test) et le Contexte (similaire vs. différent). Ces données ont été traitées via le test Q' , un test spécifique à l'analyse de cas uniques (Michael, 2007) qui permet le calcul d'interactions telles que celles-ci. La statistique Q' suit une loi du χ^2 avec $k - 1$ degrés de liberté, où k représente le nombre de conditions expérimentales.

Afin de préserver l'anonymat, l'ensemble des prénoms des enfants ont été changés.

Les profils cognitifs

La figure 4.7 permet d'illustrer l'ensemble des performances des sujets dans les six grands domaines présentés page 86. La première ligne de graphiques représente les sujets du groupe VA (i.e., Juliette, Nicolas, Chloé et Ryan) tandis que la seconde ligne correspond aux sujets du groupe VAM. Ces profils cognitifs permettront d'apporter des éléments supplémentaires pour l'interprétation des performances de chaque adolescent.

La tâche de Jugement de CGP

La figure 4.8 permet de visualiser l'évolution des performances des 8 sujets dans la tâche de Jugement de CGP. Pour rappel, la diagonale noire représente le seuil de chance et plus l'indice d' est éloigné à gauche de cette diagonale, plus la performance a été bonne. Afin de déterminer l'efficacité de l'entraînement, des tests G ont été effectués afin de comparer les performances de chaque enfant au pré-test et au post-test. L'analyse des données (cf. tableau 4.5) révèle qu'aucun des enfants du groupe VA n'a progressé significativement

4.2. ÉTUDE 2 : EFFET BÉNÉFIQUE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION MOTRICE SUR L'APPRENTISSAGE DES CGP CHEZ DES ENFANTS AVEC DÉFICIENCE INTELLECTUELLE

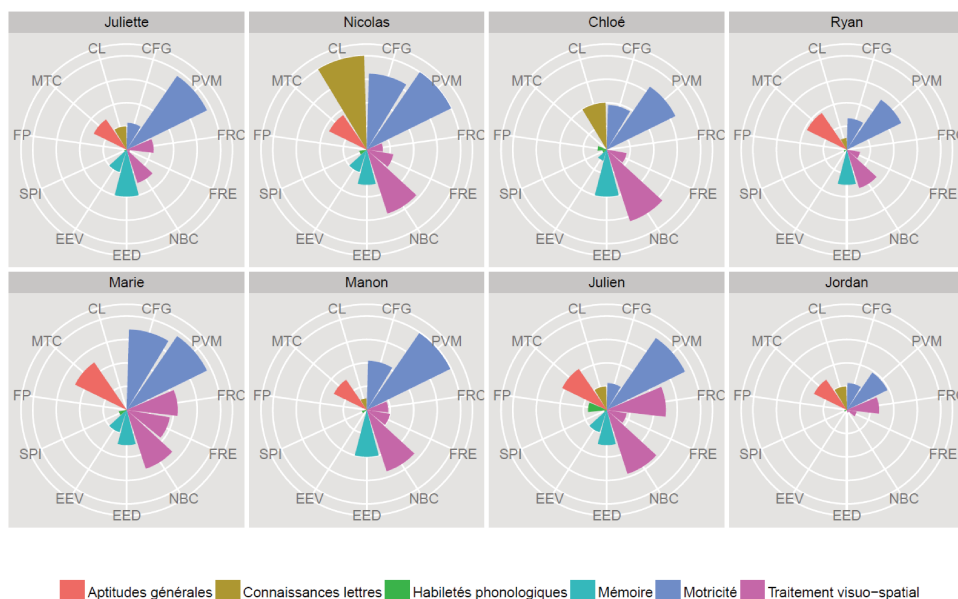


Figure 4.7. Performance des 8 sujets aux tests standardisés. MTC : Matrices Raven Standard ; CL : Connaissance des lettres ; CFG : Copie de figures-général (NEPSY II) ; PVM : Précision visuo-motrice (NEPSY II) ; FRC : Les Flèches (NEPSY II) ; FRE : Les cubes (WISC IV) ; NBC : Les Cloches (NEPSY II) ; EED : empan de chiffres endroit (ODEDYS II) ; EEV : empan de chiffres envers(ODEDYS II) ; SPI : Suppression de phonème initial (ODEDYS II) ; FP : Fusion de phonèmes (ODEDYS II).

entre le pré-test et le post-test ($p > .10$). Concernant le groupe VAM, Jordan semble avoir régressé, ce résultat se révèle tendanciellement significatif ($G = 1.79, p = .07$).

La tâche de décodage de pseudomots

Les performances des sujets dans la tâche de Décodage de PM sont illustrées dans la figure 4.9. Dans le groupe VA, aucun effet significatif du facteur Temps n'a été révélé par l'analyse statistique ($ps > .10$) indiquant qu'aucun des sujets ne semble avoir progressé entre le pré-test et le post-test. En revanche dans le groupe VAM, Julien a significativement

Prénom	Groupe	d' Pré-Test	d' Post-Test	G	p
Juliette	VA	1.66	1.07	1.23	0.22
Nicolas	VA	0.48	0.00	1.07	0.28
Chloé	VA	0.54	0.47	0.14	0.89
Ryan	VA	0.48	0.26	0.47	0.64
Marie	VAM	0.00	0.32	-0.69	0.49
Manon	VAM	0.64	0.00	1.42	0.16
Julien	VAM	0.08	0.58	-1.10	0.27
Jordan	VAM	0.49	-0.32	1.79	0.07

Tableau 4.5. Indices d' et données statistiques du test de Jugement de CGP.

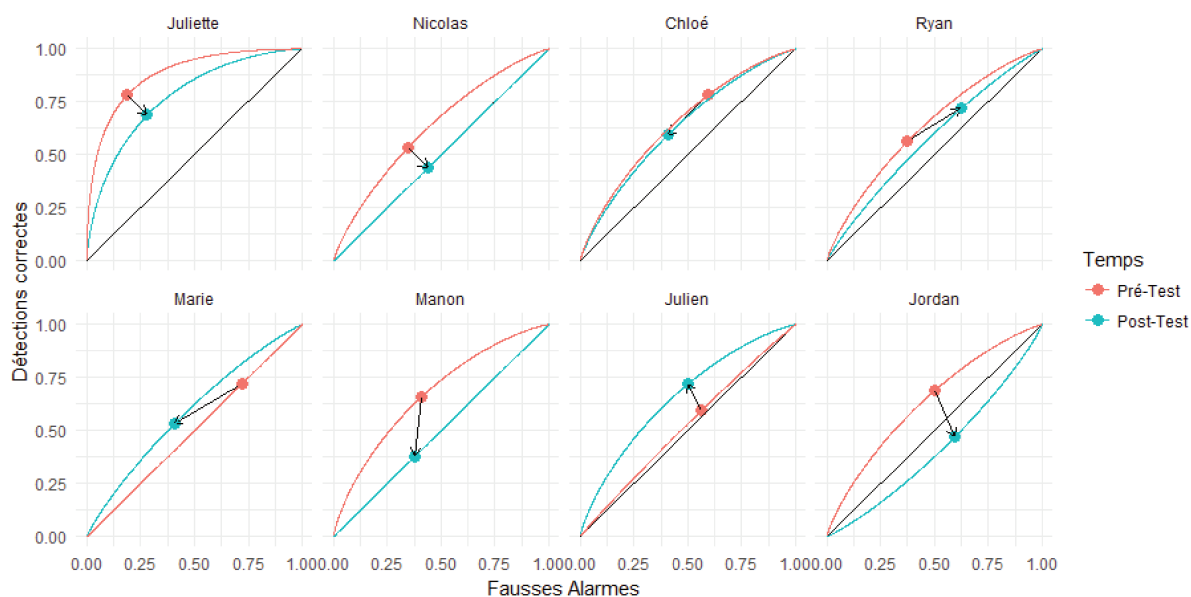


Figure 4.8. Courbes ROC des performances au pré-test et au post-test chaque participant pour la tâche jugement de GCP.

progressé entre le pré-test et le post-test, $Q'(1) = 4.08$, $p = .04$. Ce sujet a donc décodé correctement plus de pseudo-mots au post-test (53%) qu'au pré-test (25%). De plus, l'interaction Temps*Contexte s'est révélée non significative ($p = .77$) indiquant que ce sujet a progressé à la fois lorsque les pseudo-mots étaient dans un contexte similaire à l'apprentissage (e.g., « pafa ») mais également lorsque ce contexte était différent (e.g., « godi »).

4.2.4 Discussion

Synthèse des résultats

L'objectif de l'étude 2 était d'adapter le dispositif élaboré lors de l'étude 1 afin de le tester auprès d'enfants avec déficience intellectuelle. Ainsi, deux groupes étaient comparés, un groupe VAM qui explorait les lettres avec le doigt sur l'écran et un groupe contrôle VA. Nous faisons l'hypothèse qu'un tel apprentissage incident pourrait être bénéfique et que l'ajout d'une expérience manuelle constituerait l'apprentissage le plus efficace pour favoriser l'acquisition du principe alphabétique. Les performances des enfants étaient évaluées via deux tâches, une tâche de décodage de pseudo-mots et une tâche de jugement de CGP. Lors du pré-test, des tests standardisés ont permis de mieux définir le profil cognitif

4.2. ÉTUDE 2 : EFFET BÉNÉFIQUE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION MOTRICE SUR L'APPRENTISSAGE DES CGP CHEZ DES ENFANTS AVEC DÉFICIENCE INTELLECTUELLE

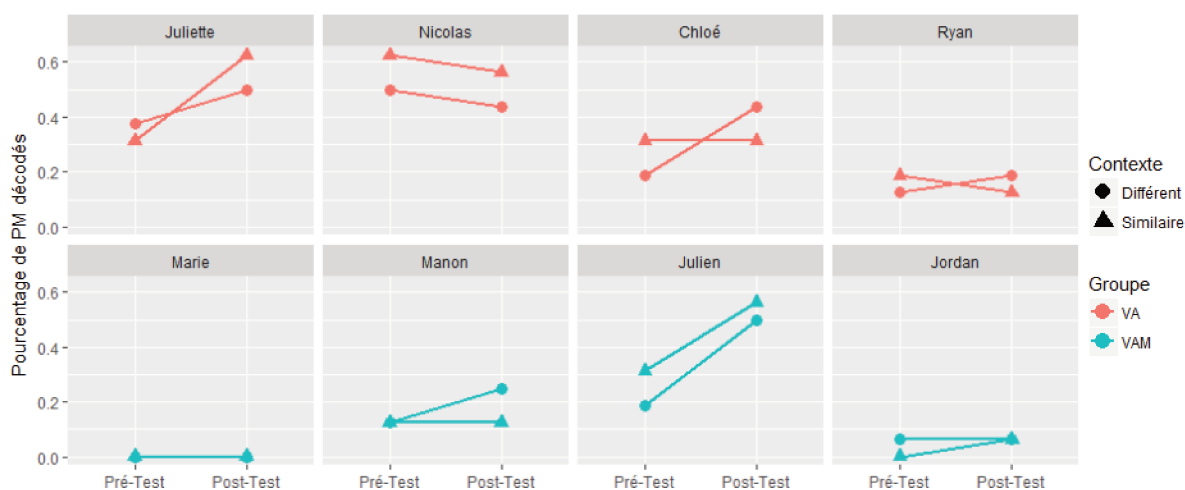


Figure 4.9. Pourcentage de pseudo-mots décodés de chaque participant pour la tâche de décodage de PM selon le contexte et le groupe.

des différents adolescents.

Dans la tâche de jugement de CGP, les analyses n'ont révélé aucun progrès significatif des enfants. Au contraire, Jordan, l'un des enfants du groupe VAM aurait régressé entre le pré-test et le post-test. Dans la tâche de décodage de pseudo-mots, seulement l'un des huit sujets, Julien du groupe VAM, a progressé significativement. Sa progression est significative à la fois pour les lettres entraînées et non-entraînées.

Interprétations et perspectives

D'une manière générale, le dispositif d'apprentissage ne s'est pas révélé aussi efficace qu'il l'avait été auprès des enfants typiques pré-lecteurs testés lors de l'étude 1. Afin d'interpréter ces résultats, les profils cognitifs des enfants apportent quelques pistes de réflexion intéressantes. Les enfants dont le profil cognitif était le plus déficitaire, comme Jordan ou Ryan dont les résultats sont très faibles dans tous les domaines (voir figure 4.7), ont obtenu des résultats plancher lors des deux sessions de tests. En revanche, le profil de Julien, le seul sujet qui semble avoir été sensible à l'apprentissage, présente des bonnes performances en motricité, en habiletés visuo-spatiales ainsi que des habiletés intellectuelles générales moyennes. De plus, bien que son score en habiletés phonologiques soit faible, il est le seul à avoir réussi des fusions de phonèmes lors du subtest de l'ODEDYS II. Or, il semble intéressant de noter que ces différents domaines qui semblent relativement préservés touchent à la motricité, à la vision et à l'audition, les trois mêmes dimensions im-

pliquées dans notre dispositif. Ces constatations suggèrent que la sensibilité à ce protocole d'apprentissage serait fonction d'un certain nombre de compétences initiales.

Cependant, il semble important de noter que Marie et Manon, qui ont suivi le même entraînement VAM que Julien et dont les profils cognitifs semblent assez proches, n'ont pas obtenu les mêmes gains de performances que Julien. Globalement, les résultats de l'ensemble des enfants suggèrent que les tâches étaient trop difficiles ou mal comprises. De plus, les entraînements étaient probablement trop courts et trop peu nombreux. En effet, des études auprès d'enfants avec DI ont pu mettre en évidence que les entraînements intensifs (Conners, Rosenquist, Sligh, Atwell, & Kiser, 2006) et longs (Allor et al., 2010) étaient les plus profitables auprès de cette population qui nécessite plus de temps lors de leurs apprentissages. Les sessions de ce protocole, de 30mn environ, ne semblent donc pas suffisantes et auraient dû être allongées. Lors des entraînements, les sujets ont également montré de fortes tendances à la distractivité. Ce manque de concentration pourrait être lié à un manque d'intérêt et de motivation pour l'activité en question.

Dans son ensemble, cette étude démontre que notre situation d'apprentissage est perfectible et que notre compréhension des mécanismes qui sous-tendent l'apprentissage des CGP est incomplète. Ces deux éléments sont d'ailleurs parfaitement liés : une situation d'apprentissage ne peut être optimale que si elle se base sur une compréhension pointue des mécanismes sous-jacents. Ainsi, l'objectif du prochain chapitre sera d'élaborer des situations expérimentales permettant d'affiner notre compréhension de l'effet bénéfique que la motricité peut avoir dans l'apprentissage d'associations audio-visuelles.

INFLUENCE DE LA MOTRICITÉ DANS L'APPRENTISSAGE D'ASSOCIATIONS VISUELLES CHEZ L'ADULTE

5.1 ÉTUDE 3A : INFLUENCE DE L'AJOUT D'UNE EXPLO- RATION MOTRICE SUR L'APPRENTISSAGE D'ASSOCIATIONS AUDIO-VISUELLES CHEZ L'ADULTE

5.1.1 Principe et objectifs de l'étude

Les deux premières études ont permis de confirmer dans un premier temps l'effet bénéfique d'apprentissages comportant une exploration motrice sur l'acquisition des correspondances grapho-phonémiques. De plus, ces deux études ont également permis l'élaboration d'un protocole expérimental original. Cependant ce protocole peut-il être transférable et permettre, d'une manière plus générale, l'apprentissage d'associations audio-visuelles ? Si quelques études, notamment celles citées dans les premiers chapitres, ont mis en évidence

des effets bénéfiques de la motricité sur l'apprentissage de caractères chez des adultes (e.g., Longcamp et al., 2008), la plupart de ces études portent sur la capacité des sujets à reconnaître les caractères appris, mémoriser leur forme ou la façon de les tracer. En revanche, très peu d'études portent sur l'apprentissage d'associations visuo-auditives en tant que telles, c'est à dire la mémorisation de l'association entre un item visuel et un item auditif dont le lien est totalement arbitraire.

Pourtant, l'étude de tels apprentissages chez l'adulte peut se révéler particulièrement pertinente pour la compréhension des mécanismes d'apprentissage chez l'adulte, mais également chez l'enfant. Sans pour autant considérer que de tels mécanismes sont parfaitement identiques chez les deux populations, on peut légitimement considérer qu'il existe de nombreux points communs. Or, les expérimentations auprès d'adultes sont beaucoup plus simples à mettre en place et permettent d'un point de vue expérimental, beaucoup plus de souplesse mais également beaucoup plus de contrôles. Par conséquent, la série d'études de ce chapitre visent à : (a) transférer les protocoles utilisés chez les enfants auprès d'adultes, (b) répliquer les effets bénéfiques de la motricité dans l'apprentissage d'associations audio-visuelles, (c) investiguer de manière plus fine les conditions qui permettent un effet bénéfique de la motricité, (d) comprendre quels sont les facteurs qui influent sur cet effet et (e) déterminer quels sont les mécanismes cognitifs sous-jacents responsables de tous ces effets.

Dans l'étude 3a, deux groupes de participants adultes ont effectué un apprentissage de lettres coréennes. N'étant pas familiers avec cet alphabet, les adultes étaient ainsi placés dans une situation équivalente à celle d'un enfant apprenant le nom des lettres de l'alphabet français. Il leur était demandé de mémoriser le nom de chaque lettre soit en condition Visuo-Auditive (VA) soit en condition Visuo-Auditive-Motrice (VAM). Nous nous attendions à observer des résultats analogues à ceux obtenus chez les enfants, c'est-à-dire un effet bénéfique de l'ajout de l'exploration motrice sur la mémorisation des associations.

5.1.2 Méthode

Participants

Soixante-quatre étudiants de l'université Lumière Lyon 2 ont pris part à cette expérience. Ces 64 participants ont été répartis de manière aléatoire en deux groupes : 32 participants (âge moyen : 21.2 ans, amplitude : 18-26 ans) dans le groupe Visuo-Auditif (VA) et 32 participants (âge moyen : 20.9 ans, amplitude : 18-24 ans) dans le groupe Visuo-Auditif-Moteur (VAM). Tous les participants étaient de langue maternelle française et n'avaient aucune connaissance préalable sur la langue coréenne.

Matériel

Huit items choisis parmi les consonnes de la langue coréenne ont été sélectionnés. Chaque item correspond à la combinaison entre la forme visuelle de la lettre et sa forme auditive (i.e. nom de la lettre). Les formes visuelles ont été créées à partir de la police KoreanModernSSK en taille 216 puis enregistrées en fichiers image JPEG 1000x1000px. Les 8 lettres miniaturisées, illustrées dans la figure 5.1, ont été choisies en fonction de plusieurs critères : a) degré de ressemblance avec les lettres françaises (i.e., le moins ressemblant possible), b) degré de ressemblance des lettres entre elles (i.e., lettres aussi distinctes que possible), c) complexité du tracé (i.e., analogue à la complexité des lettres françaises). Les formes auditives correspondantes, obtenues à l'aide du logiciel Acapela, sont des mots bysyllabiques correspondant au nom de la lettre. Afin de garder un effet naturel, les sons n'ont pas été modifiés artificiellement : leur durée varie de 392 à 549ms ($M = 457.1\text{ms}$; $SD = 55.8$).



Figure 5.1. Miniatures des 8 stimuli visuels utilisés dans l'Étude 1

La tâche a été conçue et gérée à l'aide du logiciel Psyscope (Cohen et al., 1993) et l'ensemble des passations se sont déroulées sur un ordinateur iMac (21") disposant d'un casque audio.

Procédure

Après avoir rempli un formulaire de consentement, les participants étaient testés individuellement lors d'une session expérimentale qui durait environ 20 minutes. La procédure était une procédure classique en deux phases : une phase d'apprentissage et une phase test.

La phase d'apprentissage

La phase d'apprentissage comportait deux sessions consécutives. Dans chaque session, les participants étaient confrontés aux items présentés un par un pendant 8 secondes. Pour chaque item, le stimulus visuel (i.e., la lettre) était présenté tout au long des 8 secondes tandis que le stimulus auditif (i.e., nom de la lettre) était présenté durant les 400 à 500 premières millisecondes (selon la durée du son) dans le casque audio. Les deux formes, visuelles et auditives, étaient donc présentées simultanément et les participants avaient comme consigne explicite de mémoriser ces associations. Les participants du groupe VAM avaient comme consigne supplémentaire de tracer les lettres avec l'index sur un support en bois horizontal devant eux. À la fin de la première session d'apprentissage, un message indiquait au sujet que toutes les lettres avaient été vues et qu'une seconde session d'apprentissage de ces mêmes lettres était sur le point de débuter.

La phase test

La phase test était inspirée du test de Jugement de CGP utilisé lors des études 1 et 2. Les participants étaient confrontés à la présentation simultanée d'une lettre (forme visuelle) et d'un nom de lettre (forme auditive) : ils devaient alors décider si oui ou non cette association était correcte. Les sujets avaient pour consigne de répondre le plus rapidement possible tout en restant le plus juste possible en utilisant les touches « a » et « p » : la réponse « oui » étant donnée avec l'index de la main dominante et la réponse « non » avec l'index de l'autre main. Les sujets voyaient ainsi les huit items précédemment appris : chacun des items pouvait soit être formé de la bonne association entre la lettre (i.e., forme visuelle présentée à l'écran) et son nom (i.e., forme auditive présentée dans le casque), soit être formé d'une mauvaise combinaison entre une lettre et le nom d'une autre lettre. Les premiers items ont été nommés items OLD, ils correspondent aux items présentés lors de l'apprentissage, les seconds ont été nommés items MCI, ils correspondent à la combi-

raison d'une lettre et d'un son qui n'étaient pas associés ensemble lors de l'apprentissage. Le choix du terme MCI s'est fait en rapport au paradigme Memory Conjunction Illusory dans lequel des combinaisons de ce type sont utilisées en tâche de reconnaissance en tant que distracteurs (Reinitz, Lammers, & Cochran, Barbara Pitts, 1992). Les temps de réaction (TR) de chaque réponse étaient enregistrés. De plus, pour chaque participant, un indice d' de discrimination était calculé : cet indice reflète les capacités de discrimination du sujet vis à vis des stimuli. Un d' élevé signifie que la tâche est simple et/ou que le sujet a de bonnes capacités de discrimination, un d' faible signifie que la tâche est difficile et/ou que le sujet a de faibles capacités de discrimination tandis qu'un d' nul signifie que le sujet semble répondre au hasard. En d'autres termes, l'indicateur d' révèle à quel point les sujets ont différencié les items OLD des items MCI.

Afin que chaque lettre soit présentée en condition OLD et en condition MCI, et que les associations en condition MCI ne soit pas toujours les mêmes, quatre listes ont été créées. Les participants étaient assignés à une liste de manière aléatoire et de sorte que les listes soient équilibrées (i.e., 16 participants par liste dont 8 VA et 8 VAM).

5.1.3 Hypothèses opérationnelles

Nous nous attendions à ce que l'ajout de la motricité (i.e., groupe VAM) permette de favoriser l'intégration multimodale. Par conséquent, la motricité devrait permettre d'augmenter l'efficacité mnésique. Conformément aux travaux de Brunel (2010), cet effet bénéfique devrait se traduire par un plus faible taux de fausses reconnaissances chez les sujets ayant effectué un apprentissage VAM. Autrement dit, les sujets du groupe VAM devraient avoir un meilleur pourcentage de bonnes réponses sur les items MCI (i.e., rejets corrects). Le faible taux de fausses alarmes devrait directement impacter l'indice d' : nous nous attendions à obtenir un d' plus élevé pour le groupe VAM que pour le groupe VA. Pour finir, nous supposons que les TR du groupe VAM devraient être plus courts que ceux du groupe VA et ce particulièrement sur les items MCI. Cette dernière hypothèse ne repose pas sur des données empiriques, elle est purement intuitive. Nous supposons que plus la trace mnésique est bien intégrée, plus son émergence à la conscience devrait être rapide et unitaire.

5.1.4 Résultats

Traitement des données

Uniquement les temps de réaction des bonnes réponses (i.e. identifications correctes et rejets corrects) ont été analysés. Les stimuli auditifs ayant une durée minimale de 400ms, tous les temps de réponse inférieurs à 400ms ont été considérés comme aberrants et retirés des analyses (soit 0.55% des TR).

Afin de permettre une meilleure lisibilité des résultats, les scores des sujets ont été transformés en pourcentage de bonnes réponses. Ainsi le score total des sujets correspond à la proportion de bonnes réponses sur le total des 8 items et le score pour chaque type d'item (i.e. OLD et MCI) correspond à la proportion de bonnes réponses sur 4. On peut noter qu'en terme de théorie du signal, le score sur les items OLD est en réalité la proportion de bonnes détections et le score sur les items MCI la proportion de rejets corrects. En utilisant ces proportions, un indice de sensibilité d' a également été calculé.

L'ensemble des analyses ont été effectuées sous R (v. 3.1.2). En présence d'un effet significatif, la taille d'effet a été calculée en utilisant le eta carré (η^2) pour les ANOVAs et le d de Cohen pour les tests t .

Analyse globale

L'influence du facteur liste a été testée via une analyse de variance multivariée (MANOVA). Celle-ci n'a pas révélé d'effet significatif du facteur liste, $F(3,56) = 1.41$, $p = .19$, ni d'effet d'interaction liste*groupe, $F(3,56) < 1$, $p = .79$, ce qui indique qu'il ne semble pas y avoir de différences entre les listes et d'influence de ce facteur sur les résultats. En conséquence ce facteur ne sera pas inclus dans les analyses suivantes.

Les résultats ont été analysés selon trois différentes mesures : les scores des sujets, l'indice de sensibilité d' et les TR. Les moyennes des trois différentes VD pour toutes les conditions expérimentales sont résumées dans le tableau 5.1.

5.1. ÉTUDE 3A : INFLUENCE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION MOTRICE SUR L'APPRENTISSAGE D'ASSOCIATIONS AUDIO-VISUELLES CHEZ L'ADULTE

Tableau 5.1. Moyenne des TR (ms), Scores (%) et Indices d' en fonction du groupe et du type d'item. Les erreurs standard sont notées entre parenthèses.

	VA			VAM		
	TR	Score	d'	TR	Score	d'
OLD	2067 (173)	73.44 (4.04)		2453 (161)	75 (3.37)	
MCI	2198 (141)	64.84 (4.609)		2778 (218)	71.09 (4.06)	
Total	2130 (148)	69.19 (3.75)	1.01 (0.16)	2601 (151)	73.06 (3)	1.23 (0.17)

Scores en fonction du Groupe et du Type d'item

Plan complet $S_{32} < G_2 > * T_2$.

L'ANOVA a révélé un effet tendanciellement significatif du type d'item, $F(1,62) = 3.91$, $p < .10$, $\eta^2 = .02$. Cet effet révèle que les sujets ont obtenu des meilleurs scores sur les items OLD ($M = 74.22\%$; $SE = 2.61$) que sur les items MCI ($M = 67.97\%$; $SE = 3.07$). En revanche l'effet du groupe n'est pas significatif ($F < 1$) : les participants du groupe VAM n'ont pas été statistiquement meilleurs ($M = 73.06\%$; $SE = 3.00$) que les participants du groupe VA ($M = 69.19\%$; $SE = 3.75$). Il n'y a pas non plus d'effet d'interaction significative entre le groupe et le type d'item ($F < 1$) indiquant que l'effet du type d'item observé ne diffère pas selon le groupe. L'ensemble de ces résultats est illustré dans la figure 5.2.

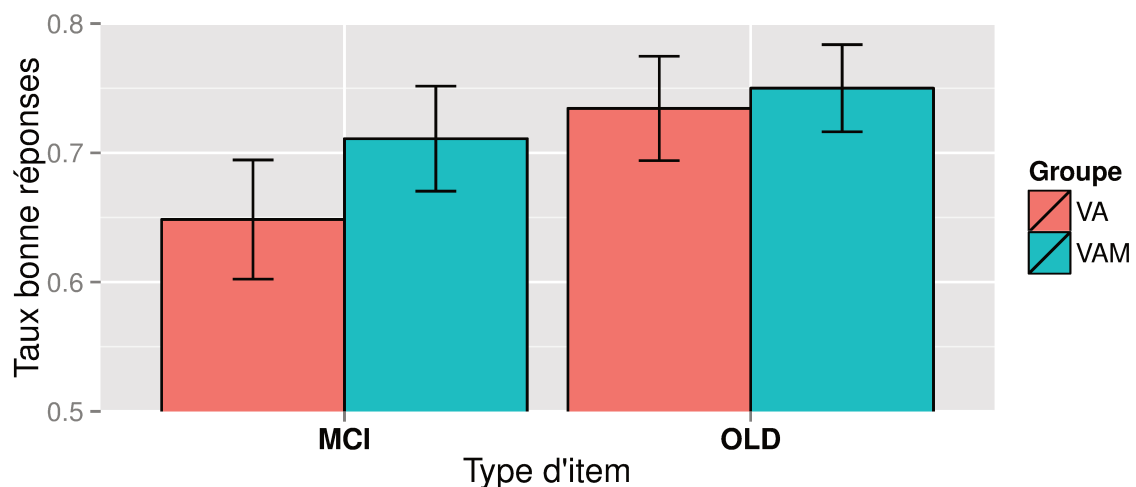


Figure 5.2. Taux de bonnes réponses et erreurs standards en fonction du groupe et du type d'item.

Plan partiel $S_{32} < G_2 >$ avec uniquement les items MCI.

Bien que l'interaction Groupe*Type ne soit pas significative, conformément à nos hypothèses a priori nous pouvons nous demander si les scores sur les items MCI diffèrent entre les groupes (Howell, Bestgen, Yzerbyt, Rogier, & others, 2008). Un test t a été effectué en ne considérant que les scores sur les items MCI. Les moyennes des deux groupes sont reportées dans le tableau 5.1 et peuvent être visualisés dans la figure 5.2. Le test ne montre pas d'effet significatif du groupe, $t(62) = 1.02$, $p = .31$, les sujets du groupe VAM n'ont donc pas été statistiquement meilleurs ($M = 71.09\%$; $SE = 4.06$) que ceux du groupe VA ($M = 64.84\%$; $SE = 4.61$).

Indice d' en fonction du Groupe

L'indice de sensibilité d' a été calculé pour chaque groupe en fonction des taux de bonnes réponses sur les items OLD et MCI. Les d' sommés¹ pour chaque groupe sont présentés dans la figure 5.3. Le test G n'a pas révélé de différence entre les deux groupes, $G = 0.95$, $p = .34$. Les sujets du groupe VAM n'ont donc pas mieux discriminé les stimuli ($d' = 1.23$; $SD = 0.17$) par rapport aux sujets du groupe VA ($d' = 1.01$; $SD = 0.16$).

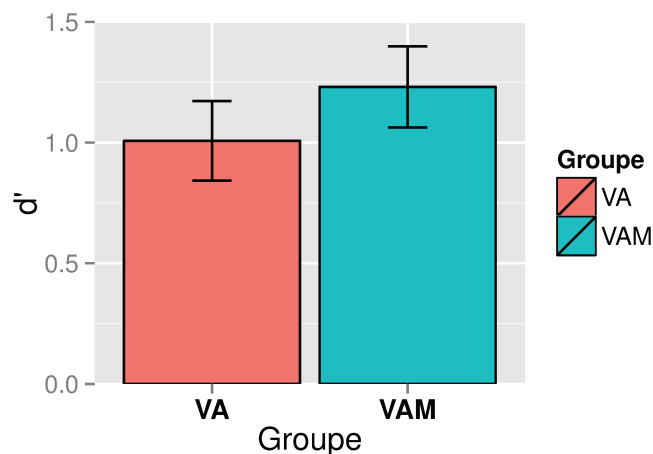


Figure 5.3. Indice d' et écarts types en fonction du groupe.

Temps de Réponse en fonction du Groupe

Les temps de réponses ont été analysés selon le plan complet $S_{32} < G_2 > * T_2$ (cf. figure 5.4). L'ANOVA a mis en évidence un effet significatif du groupe, $F(1,62) = 5.10$,

1. Le terme d' sommé est une traduction du *collapsed d'* (Macmillan & Kaplan, 1985).

$p < .05$, $\eta^2 = .06$, traduisant des temps de réponse plus lent pour le groupe VAM ($M = 2601\text{ms}$; $SE = 152$) en comparaison au groupe VA ($M = 2130\text{ms}$; $SE = 148$).

Un effet tendanciellement significatif du type d'item est également observé, $F(1,62) = 3.28$, $p < .10$, $\eta^2 = .01$, indiquant que les items MCI ont été identifiés plus lentement ($M = 2488\text{ms}$; $SE = 134$) que les items OLD ($M = 2260\text{ms}$; $SE = 119$). L'effet d'interaction groupe*type n'était pas significatif, $F < 1$.

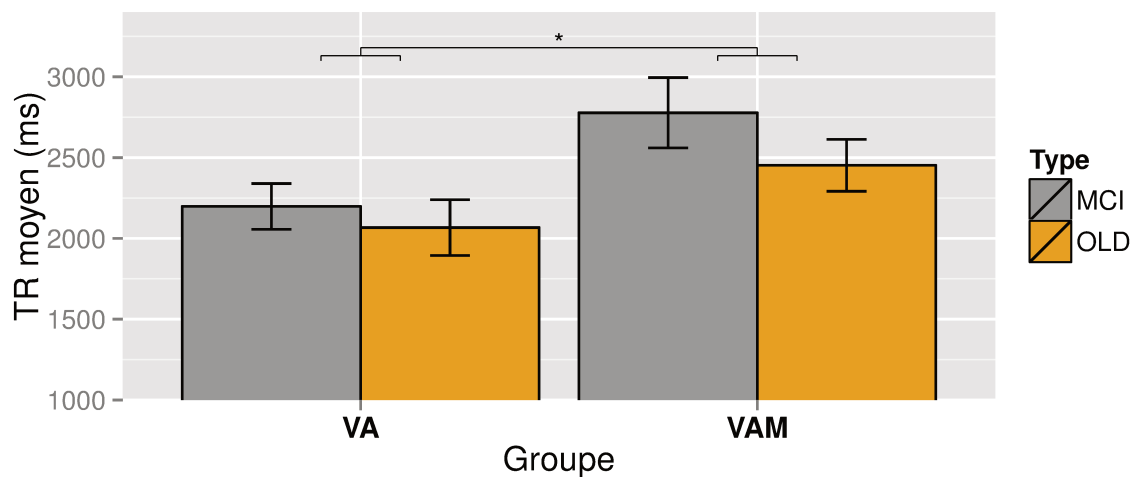


Figure 5.4. Distribution des temps de réponse en fonction du groupe. Notes : * $p < .05$.

5.1.5 Discussion

Rappel des objectifs

Le but de cette première expérience était de concevoir chez des adultes deux situations d'apprentissage d'associations audio-visuelles dont l'une différait de l'autre par l'ajout de la modalité motrice (i.e., groupe visuo-auditif moteur - VAM). Nous nous attendions à ce que l'ajout de la motricité favorise l'intégration visuo-auditive et permette aux participants effectuant cet apprentissage de mieux mémoriser les associations de stimuli et d'être ainsi plus performants en tâche de reconnaissance que les participants du groupe visuo-auditif.

Synthèse des résultats

De manière générale, cette expérience n'a pas montré de différence entre les deux groupes expérimentaux. L'apprentissage de type VAM ne semble pas avoir permis aux participants de mieux mémoriser les associations de stimuli en comparaison à l'apprentissage VA puisque ni les scores des sujets, ni les indices d' des participants du groupe VAM ne sont statistiquement supérieurs à ceux des participants du groupe VA. Un résultat curieux est cependant ressorti de ces analyses puisque les participants du groupe VAM semblent avoir été plus lents à répondre que les participants du groupe VA et ce malgré des performances comparables. Cet effet est contraire à nos hypothèses puisque de manière intuitive nous nous attendions à des réponses plus rapides des sujets du groupe VAM traduisant une plus grande facilité dans leurs décisions.

Interprétation

Absence de différence entre les groupes.

Face à cette absence de différence, il semble nécessaire de s'interroger sur l'opérationnalisation de la motricité. La manière dont la motricité a été opérationnalisée (i.e., tracé de la lettre sur un support horizontal) est-elle adéquate ? Le paradigme utilisé pour cette étude est-il à même de faire émerger des différences entre les deux groupes ?

Pour rappel, les deux groupes de participants avaient pour consigne explicite de mémoriser les stimuli en vue d'un rappel ultérieur. Cependant, les sujets du groupe VAM avaient pour consigne supplémentaire d'effectuer le tracé de la lettre, sur un support horizontal devant eux et avec l'index. Ces participants voyaient donc pendant 8 secondes la lettre, entendaient dans le casque le nom de cette lettre et devaient la tracer avec le doigt. Dans cet encodage multimodal, l'une des dimensions essentielles semble problématique : la dimension spatiale. En effet la source spatiale diffère selon la modalité : la lettre est présentée visuellement à l'écran de l'ordinateur, auditivement dans le casque et elle est parcourue de façon motrice sur un troisième support. Dans une étude expérimentale, Congedo, Lécuyer, et Gentaz (2006) ont notamment démontré que pour les tâches spatiales, la délocalisation des perceptions visuelles et haptiques semble empêcher l'intégration visuo-haptique en favorisant le sens visuel. L'impact de cette divergence spatiale, pourrait avoir nuit à l'intégration des éléments en une trace mnésique.

De plus, en phase test du paradigme, les huit items appris étaient présentés une seule fois chacun. Ainsi le score total des sujets était un score sur 8, avec deux sous-scores sur 4 pour les items MCI et OLD. Ainsi un sujet ayant effectué trois rejets corrects sur quatre obtient un score de 75% sur les items MCI tandis qu'un autre sujet ayant effectué un rejet correct en moins n'obtient que 50%. D'un point de vue mathématique, ce faible nombre de réponses en phase test mène inévitablement à une forte variabilité. La variance au sein même des groupes étant élevée, les différences de scores entre les groupes ne peuvent ressortir significatives. Une solution aurait été de présenter plusieurs fois les items en phase test. En présentant par exemple huit fois chaque lettre, quatre fois en condition OLD et quatre fois en condition MCI, le score des sujets sur un total de 64 aurait été beaucoup plus précis et moins sensible à la variabilité intra-individuelle. Cependant cette solution possède un désavantage important qui est à l'origine de notre choix initial de ne présenter qu'une seule fois chaque item : si chaque lettre est présentée plusieurs fois en condition MCI, c'est à dire associée au son d'une autre lettre, les sujets risquent d'être influencés négativement par ces mauvaises associations. De nombreuses études ont été menées sur le rôle de l'erreur en situation d'apprentissage. Par exemple, Baddeley et Wilson (1994) ont proposé un paradigme dans lequel le début d'un mot était présenté aux sujets (e.g., q u _ _ _), ce mot pouvait soit être présenté en condition « avec erreur », soit en condition « sans erreur ». Dans la condition « avec erreur », les sujets étaient invités à deviner le mot (les sujets pouvaient par exemple penser à *queen*, *quest* ou encore *quick*) tandis que dans la condition « sans erreur », la bonne réponse était directement fournie au sujet (e.g., *quote*). Dans un second temps, une phase de test était proposée aux sujets dans lequel les indices étaient présentés (e.g., q u _ _ _) et les participants devaient rappeler le mot cible (e.g., *quote*). Des meilleures performances ont été observées concernant les mots présentés en condition « sans erreur ». Des travaux dans le domaine de l'orthographe ont également été menés sur la question du rôle de l'erreur. Il a été montré que des exercices consistant à repérer et corriger des fautes d'orthographe étaient néfastes car ils pouvaient mener à la mémorisation des formes orthographiques erronées (Nisbet, 1939).

Différence entre les TR.

Allant à l'inverse de nos hypothèses, les sujets du groupe VAM ont été plus lents à répondre que ceux du groupe VA. À première vue étrange, ce résultat semble en réalité

parfaitement s'accorder avec les théories de la cognition incarnée et notamment avec la notion de simulation du modèle PSS de Barsalou (1999). Si les connaissances émergent de la simulation des états sensoriels et moteurs d'expériences passées, alors l'émergence d'une connaissance dont l'expérience passée a une composante motrice nécessite inmanquablement la simulation de cette composante motrice. L'hypothèse que la simulation de cette composante motrice est à l'origine de la différence de délai observée dans notre expérience peut alors être émise. D'autant plus que la dimension de la temporalité dans une expérience sensorielle motrice semble particulièrement fondamentale. Par exemple, Nather, Bueno, Bigand, et Droit-Volet (2011) ont montré que la perception de la durée de présentation de différentes postures du corps différait en fonction de la complexité des mouvements en question. La durée de présentation des stimuli représentant une posture complexe était perçue plus longue que celle des stimuli représentant une posture simple (e.g., posture debout, les bras le long du corps). Selon ces auteurs, la simulation incarnée des postures corporelles est à l'origine de cette différence dans la perception du temps.

Le parallèle peut également être fait avec la théorie de la dissociation des processus de recollection et de familiarité dans une tâche de reconnaissance (Jacoby, 1991). En effet, il a été mis en évidence différents patterns de temps de réponses en fonction du type de processus mis en jeu (Yonelinas & Jacoby, 1994). Lorsque la reconnaissance était basée sur un processus de recollection conscient, les temps de réponses sont généralement plus longs que lorsque la reconnaissance est basée sur un simple sentiment de familiarité. Si comme le suppose Brunel (2010) une trace bien intégrée a plus de chance de faire l'objet d'une expérience de type recollective, la supériorité des temps de réponse du groupe VAM pourrait alors être le reflet d'une différence qualitative dans la reconnaissance des bonnes associations.

Perspectives

Bien que les hypothèses de départ n'aient pas été validées, ces résultats apportent des éléments intéressants concernant l'apprentissage des associations audio-visuelles et le bénéfice de la motricité. La question de la co-localisation des perceptions des différentes modalités a notamment été soulevée. L'étude suivante aura pour objectif d'investiguer tout particulièrement cette question.

5.2 ÉTUDE 3B : INFLUENCE DE LA CO-LOCALISATION SUR LE BÉNÉFICE DE LA MOTRICITÉ

5.2.1 Principe et objectifs de l'étude

La première étude de ce chapitre a permis de concevoir chez l'adulte, une situation d'apprentissage comparable à celles d'enfants qui doivent apprendre les CGP. Cependant, le protocole expérimental ainsi imaginé a échoué à révéler un effet bénéfique de la motricité dans l'apprentissage d'associations audio-visuelles. L'une des explications avancées pour expliquer cette absence d'effet est une mauvaise opérationnalisation de la motricité. En effet dans cette première étude, les formes visuelles apparaissaient sur l'écran d'ordinateur mais les sujets devaient tracer les lettres sur un support horizontal devant eux. Cette divergence spatiale a pu freiner le bénéfice intégratif du geste.

L'étude 3b vise à tester cette hypothèse en investiguant l'impact de la co-localisation du geste et de la forme visuelle sur l'effet bénéfique de la motricité. Pour cela, deux conditions d'apprentissage ont été comparées : une condition similaire à l'étude 1 dans laquelle les sujets traçaient les formes sur un support horizontal et une condition dans laquelle les sujets traçaient les formes directement sur l'écran. Nous faisons l'hypothèse que le geste moteur sera davantage bénéfique lorsque son exécution est réalisée directement sur la forme visuelle.

5.2.2 Méthode

Participants

Vingt étudiants de l'université Lumière Lyon 2 ont pris part à cette expérience (âge moyen : 21.4 ans, amplitude : 18-27 ans). Tous les participants étaient de langue maternelle française et n'avaient aucune connaissance préalable sur la langue coréenne.

Matériel

Dans cette étude, le nombre d'associations a été augmenté de 8 à 20. Le matériel expérimental était donc composé de 20 stimuli visuels et de 20 stimuli auditifs. Les 20 stimuli visuels étaient des symboles basés sur l'alphabet coréen et retouchés via le logiciel Gimp. Les 20 stimuli auditifs étaient des pseudo-mots dont 10 étaient monosyllabiques et 10 bisyllabiques. Ces derniers ont été générés par le logiciel Lexique Toolbox (New et al., 2001) puis convertis en son via le logiciel Acapela Box (Acapela Groupe, 2010). Chaque forme visuelle a ensuite été associée, de manière arbitraire, à un pseudo-mot afin de former 20 associations audio-visuelles (pour un aperçu de l'ensemble des stimuli, voir Annexe A.1). Deux associations supplémentaires ont également été créées afin de servir d'exemples lors de la phase d'entraînement.

Afin que chaque association soit présentée dans chacune des deux conditions expérimentales (tracé sur le bureau vs. tracé sur l'écran), quatre listes ont été créées. Les participants étaient assignés à une liste de manière aléatoire et de sorte que les listes soient équilibrées (i.e., 5 participants par liste).

L'ensemble des passations ont été effectuées sur un ordinateur iMac (21") disposant d'un casque audio. Les tâches ont été conçues via le logiciel Opensesame (Mathôt, Schreij, & Theeuwes, 2012).

Procédure

L'expérimentation se déroulait en trois phases : une phase d'entraînement, une phase d'apprentissage et une phase test.

Phase d'entraînement

La phase d'entraînement permettait d'expliquer la tâche aux sujets via des exemples. Les sujets étaient confrontés à deux associations audio-visuelles présentées une fois chacune. Avant chaque association, un symbole était présenté pendant 3000ms représentant soit une table, soit un écran (cf. figure 5.5). Lors de l'apparition de la forme, le sujet avait pour consigne de la tracer soit sur le bureau en bois devant lui, soit directement sur l'écran. Ces deux associations n'étaient pas réutilisées dans les étapes suivantes.



Figure 5.5. Symboles permettant d'indiquer la condition de tracé (Desk vs. Screen) lors de l'étude 3b.

Phase d'apprentissage

La phase d'apprentissage était globalement identique à celle utilisée lors de l'étude 3a. Cependant dans cette étude, l'apprentissage n'était pas un facteur inter-sujets (via des groupes) mais un facteur intra-sujets. Deux sessions d'apprentissages ont été effectuées dans lesquelles les participants voyaient l'ensemble des 20 associations. Parmi ces 20 associations, 10 étaient présentées en condition « Screen » et 10 en condition « Desk ». Afin de contrôler les effets de primauté et de récence, ces associations étaient présentées de manière séquentielle, par blocs de 4 associations de la même condition. Par exemple, les participants de la liste 1 commençaient par 4 associations en condition « Desk » puis 4 associations en condition « Screen » alors que l'inverse était effectué par les participants de la liste 2. Afin d'indiquer au participant la condition, un symbole était présenté pendant 3000ms avant l'association (cf. figure 5.5), puis ce symbole était miniaturisé et présenté en bas à droite de l'écran lors de la présentation de l'association afin que les sujets puissent savoir à tout moment de quelle manière ils doivent tracer la forme. Lors de chaque essai, le stimulus visuel était présenté durant 8000ms tandis que le stimulus auditif était présenté durant les 400 à 500 premières millisecondes (selon la durée du son) dans le casque audio. Les deux formes, visuelles et auditives, étaient donc présentées simultanément et les participants avaient comme consigne explicite de mémoriser ces associations. Les participants avaient pour consigne supplémentaire de systématiquement tracer les formes visuelles avec l'index sur le bureau devant eux (condition « Desk ») ou directement sur l'écran (condition « Screen »). À la fin de la première session d'apprentissage, un message indiquait au sujet que toutes les lettres avaient été vues et qu'une seconde session d'apprentissage de ces mêmes associations était sur le point de débiter.

Phase test

La phase test, illustrée figure 5.6, était similaire à celle utilisée dans l'étude 3a. Un point de fixation apparaissait durant 500ms, suivi de la présentation simultanée d'une

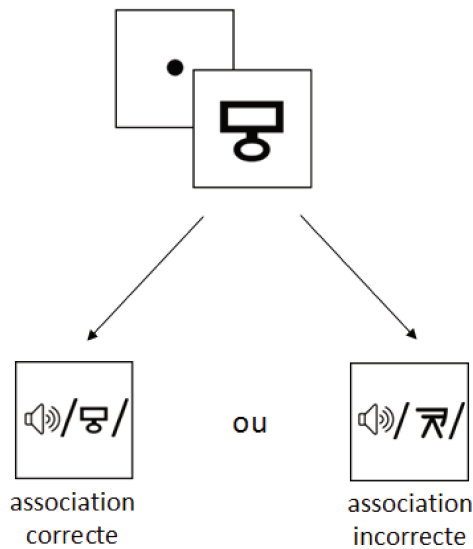


Figure 5.6. Procédure de la phase test de l'étude 3b.

forme visuelle à l'écran et d'un son dans le casque. Les participants devaient juger à l'aide du clavier si l'association entre cette forme visuelle et ce pseudo-mot était correcte ou non. Chaque forme visuelle était présentée 2 fois, une fois associée au bon pseudo-mot, une fois associée au pseudo-mot correspondant à une autre forme, soit un total de 40 décisions.

5.2.3 Hypothèses opérationnelles

5.2.4 Résultats

L'indice de sensibilité d' a été calculé pour chaque condition de tracé (Screen vs. Desk). Les d' sommés pour chaque condition sont présentés dans la figure 5.7. Le test a révélé une différence tendancielle significative entre les deux conditions, $G = 1.69$, $p = .09$. Les sujets semblent avoir mieux mémorisé les associations dont la forme a été tracée sur l'écran ($d' = 1.46$; $SE = 0.20$) par rapport à celles tracées sur le bureau ($d' = 1.16$; $SE = 0.17$).

5.2.5 Discussion

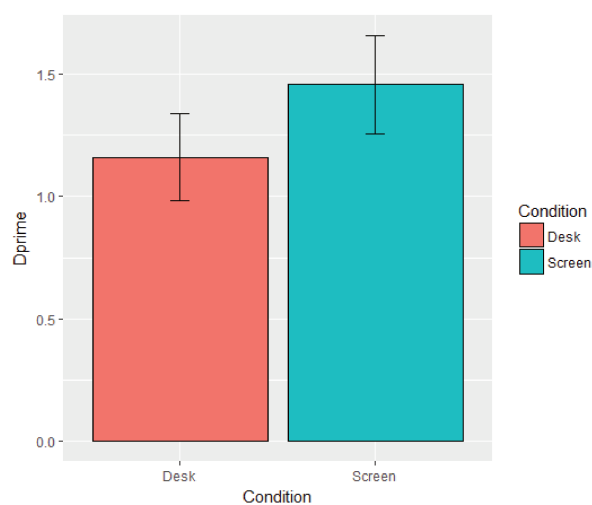


Figure 5.7. Indice d' et erreurs standards en fonction de la condition de tracé.

Rappel des objectifs

Le but de cette première expérience était de tester l'impact de la co-localisation du geste et de la forme visuelle sur l'effet bénéfique de la motricité. Deux conditions étaient comparées en intra-sujet, une condition « Desk » dans laquelle la forme était tracée avec le doigt sur un support horizontal (le bureau) et une condition « Screen » dans laquelle la forme était tracée directement sur l'écran. En phase test, les sujets effectuaient un test de reconnaissance permettant d'évaluer l'efficacité de leur apprentissage. Notre hypothèse était que la co-localisation du geste et de la forme visuelle serait bénéfique.

Synthèse des résultats

Les résultats ont confirmé notre hypothèse, les associations apprises en traçant directement sur l'écran ont été en moyenne mieux retenues que celles tracées sur le bureau. Il est important de noter qu'en phase test, c'est bien l'apprentissage de l'association qui était évaluée et non pas simplement l'apprentissage de la forme visuelle. Lors de l'apprentissage, la forme visuelle et le son qui lui était associée étaient présentés simultanément. De plus, la motricité constituait une troisième modalité qui était systématiquement synchrone d'un point de vue temporel, mais pouvait ou non être délocalisés, c'est à dire spatialement dissocié (i.e., tracé sur le bureau ou directement sur l'écran). Lors de la phase test, chaque forme visuelle était présentée associée avec le son adéquat ou un son distracteur, les sujets devaient déterminer si l'association était correcte ou non. Les associations apprises en traçant directement sur l'écran ont été mieux reconnues lors de cette tâche que les

associations apprises en traçant sur le bureau ce qui suggère que le geste serait bénéfique à l'apprentissage de l'association audio-visuelle, uniquement lorsque ce geste et la forme visuelle sont spatialement proches. Ces résultats viennent confirmer l'importance de la proximité spatiale lors du processus d'intégration (van Dam & Hommel, 2010; Congedo et al., 2006). Lors de la perception d'une association audio-visuelle, les différentes dimensions sensorielles sont intégrées en un percept plus unifié. La motricité, lorsqu'elle est temporellement synchrone et spatialement proche pourrait contribuer à favoriser cette intégration.

Cependant, une autre interprétation des résultats pourrait être avancée. En effet, lors de cette étude, il n'y avait pas de condition sans aucune motricité. La supériorité de l'apprentissage en condition « Screen » peut donc être la conséquence soit d'un effet facilitateur de cette condition, soit d'un effet interférent de la condition « Desk ». Pour trancher cette question, la comparaison avec une condition sans motricité semble nécessaire.

5.3 ÉTUDE 4A

5.3.1 Principe et objectifs de l'étude

Lors de l'étude 3a, une situation d'apprentissage comparable à celles d'enfants qui doivent apprendre les CGP a été élaborée. Cependant, le protocole expérimental ainsi imaginé a échoué à révéler un effet bénéfique de la motricité dans l'apprentissage d'associations audio-visuelles. Deux biais principaux ont été relevés pouvant expliquer ce résultat : (a) un nombre trop peu élevé d'items ($N = 8$) et (b) une absence de co-localisation du geste et de la forme visuelle. L'étude 3b a confirmé l'importance de la co-localisation du geste et de la forme visuelle, cependant cette étude ne comportait pas de condition sans motricité. Elle ne permet pas de conclure à un apport bénéfique du geste dans l'apprentissage d'associations mais permet simplement d'affirmer qu'un geste directement sur la forme est plus efficace qu'un geste spatialement distant.

L'objectif de l'étude 4 est donc de répliquer l'étude 3 en corrigeant l'opérationnalisation du geste (i.e., directement sur l'écran) et en augmentant le nombre d'items ($N = 20$).

5.3.2 Méthode

Participants

Cinquante étudiants de l'université Lumière Lyon 2 ont pris part à cette expérience (âge moyen : 20 ans, amplitude : 18-31 ans). Tous les participants étaient de langue maternelle française et n'avaient aucune connaissance préalable sur la langue coréenne. Les participants ont été répartis aléatoirement en deux groupes : un groupe Visuo-Auditif-Moteur (VAM) et un groupe Visuo-Auditif (VA).

Matériel

Le matériel était strictement identique à celui de l'étude 3b.

Procédure

La procédure, inspirée des études 3a et 3b se déroulait en trois phases, une phase d'entraînement, une phase d'apprentissage et une phase test.

Phase d'entraînement

De la même manière que dans l'étude 3b, la phase d'entraînement permettait d'expliquer la tâche aux sujets via des exemples.

Phase d'apprentissage

La phase d'apprentissage était globalement identique à celle utilisée lors de l'étude 3a. Les deux groupes avaient pour consigne de mémoriser les associations, les participants du groupe motricité avaient pour consigne supplémentaire de tracer le symbole avec le doigt sur l'écran lorsqu'il apparaissait. Tout comme dans l'étude 3a, ce terme « tracer » n'est peut-être pas tout à fait adapté puisqu'aucune trace n'est réellement produite et que l'écran n'est pas tactile. La forme est affichée à l'écran et le sujet passe son doigt sur les différents traits de la forme visuelle. L'ensemble des 20 associations était présenté deux fois.

Phase test

La phase test était identique à celle de l'étude 3a.

5.3.3 Résultats

Traitement des données

Les analyses ont porté sur trois mesures différentes : les temps de réaction (TR), les pourcentages de bonnes réponses ainsi que les d' . Afin de comparer les deux groupes, des tests de Student à mesures indépendantes ont été effectués sur les TR et les pourcentages de bonnes réponses et le test G a été utilisé pour comparer les d' . L'ensemble de ces analyses ont été effectuées sous R (R Core Team, 2013).

Analyses

Les résultats selon les trois types de mesures peuvent être visualisés dans la figure 5.8. Les analyses n'ont révélé aucune différence significative ni sur les TR, $t(48) = 1.17$; $p = .12$, ni sur les scores, $t(48) < 1$, ni sur les d' , $G < 1$. Les performances du groupe VAM ($\overline{\%_{VAM}} = 68.86$, $\overline{d'_{VAM}} = 1.17$, $\overline{TR_{VAM}} = 1375$) ne sont donc pas statistiquement différentes de celles du groupe VA ($\overline{\%_{VA}} = 70.06$, $\overline{d'_{VA}} = 1.2$, $\overline{TR_{VA}} = 1455$). En revanche, les analyses sur les d' indiquent que les performances des sujets des deux groupes sont significativement supérieures au seuil du hasard, $p < .05$.

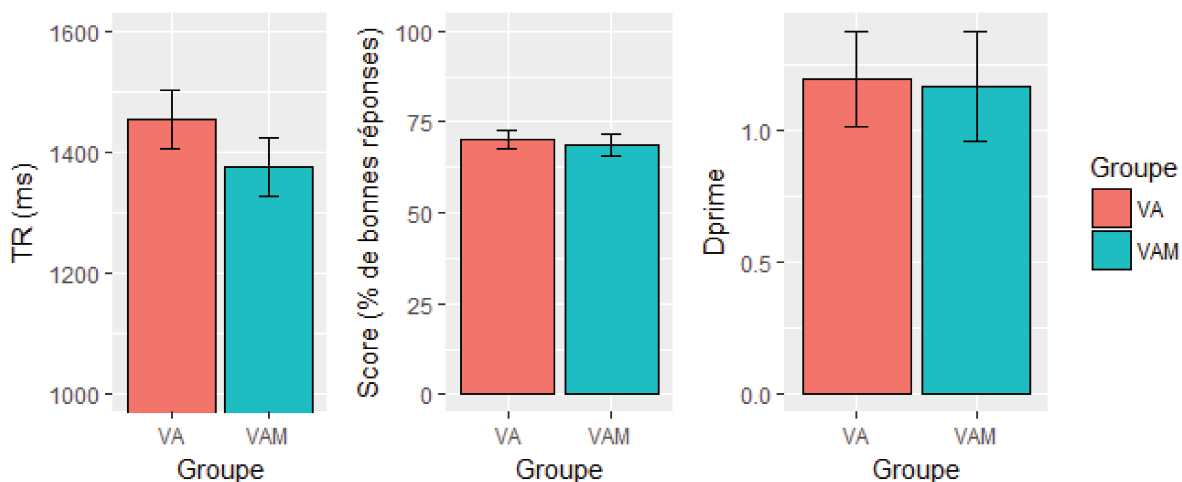


Figure 5.8. Temps de réaction moyens, Scores et d' selon le groupe (VA vs. VAM). Les barres d'erreurs correspondent aux erreurs standards.

5.3.4 Discussion

Rappel des objectifs

L'objectif de cette expérience était de répliquer l'étude 3a en améliorant le paradigme, notamment en corrigeant l'opérationnalisation du geste (i.e., directement sur l'écran) et en augmentant le nombre d'associations à mémoriser. Le but était donc de concevoir chez des adultes deux situations d'apprentissage d'associations audio-visuelles dont l'une différait de l'autre par l'ajout de la modalité motrice (i.e., groupe visuo-auditif moteur - VAM). Nous nous attendions à ce que l'ajout de la motricité favorise l'intégration visuo-auditive et permette aux participants effectuant cet apprentissage de mieux mémoriser les associations audio-visuelles.

Synthèse des résultats

Les performances des deux groupes (VAM vs. VA) ont été mesurées via trois mesures, les scores des sujets, les indices d' et les temps de réaction. Les analyses statistiques indiquent que les deux groupes ont obtenu des performances supérieures au seuil du hasard ce qui suggère que certaines associations ont pu correctement être mémorisées. Cependant, les deux groupes n'ont statistiquement différencié sur aucune des trois mesures. Contrairement à nos hypothèses, le fait de tracer les lettres ne semblent donc pas avoir aidé les sujets à mieux mémoriser les associations audio-visuelles.

Deux premières pistes d'explications sont envisagées. Lors d'un court bilan post-expérience avec les participants, nous avons pu recueillir leurs impressions. Premièrement, le retour d'expérience de la majorité des participants indique que la tâche leur semble particulièrement difficile et qu'ils ont le sentiment d'avoir répondu au hasard à de nombreuses reprises. Bien que leur pourcentage d'associations correctement identifiées soit raisonnable (i.e., environ 70%), ces scores restent faibles comparativement au seuil du hasard qui se situe à 50%. L'ajout de sessions d'entraînements pourrait donc être envisagé afin de renforcer l'apprentissage. De plus, de nombreux participants révèlent avoir utilisé des moyens mnémotechniques afin de mémoriser les associations. Ceci pourrait être problématique car lors de la présentation des associations, les sujets du groupe VA n'ayant pas à effectuer d'actions motrices ont davantage le temps de mettre en place de telles stratégies qui sont

connues pour être très efficaces (Martinez et al., 2018). De plus, lors de la phase test, les sujets avaient un temps de réponse illimité ce qui a pu leur permettre de facilement réactiver ces associations mnémotechniques.

Afin de compléter cette étude, une seconde expérience complémentaire a donc été réalisée.

5.4 ÉTUDE 4B

5.4.1 Principe et objectifs de l'étude

L'objectif de l'étude 4 était de mettre en évidence un effet bénéfique de l'ajout d'une exploration motrice sur l'apprentissage d'associations audio-visuelles. Cependant, bien que plusieurs biais aient été corrigés depuis l'étude 3, aucun effet bénéfique n'a été obtenu. Deux explications ont été avancées. Premièrement, l'apprentissage est court et les performances sont assez faibles, l'apprentissage pourrait donc être renforcé. Deuxièmement les participants ont tendance en condition contrôle à utiliser des techniques de mémorisation mais n'ont pas le temps de le faire en condition motricité.

Par conséquent, l'étude 4b est une étude complémentaire à l'étude 4a qui visaient à combler ces deux potentiels biais.

5.4.2 Méthode

Participants

Vingt étudiants de l'université Lumière Lyon 2 ont pris part à cette expérience (âge moyen : 21 ans, amplitude : 18-27 ans). Tous les participants étaient de langue maternelle française et n'avaient aucune connaissance préalable sur la langue coréenne. Les participants ont été répartis aléatoirement en deux groupes : un groupe Visuo-Auditif-Moteur (VAM) et un groupe Visuo-Auditif (VA).

Matériel

Le matériel était strictement identique à celui de l'étude 4a.

Procédure

La procédure générale était identique à celle de l'étude 4a avec une phase d'entraînement, une phase d'apprentissage et une phase test.

Phase d'apprentissage

La phase d'apprentissage était identique à celle de l'étude 4a, cependant deux sessions d'apprentissage supplémentaires ont été ajoutées. Ainsi, chaque association était présentée 4 fois au total.

Phase test

Afin de limiter l'utilisation de moyens mnémotechniques, le temps de décision, qui était illimité dans l'étude 4a, a été limité à 1500ms. En l'absence de réponse dans le temps imparti, l'association suivante était présentée.

5.4.3 Résultats

Traitement des données

Les données ont été traitées et analysées de la même manière que dans l'étude 4a.

Analyses

Les résultats selon les trois types de mesures peuvent être visualisés dans la figure 5.9 et l'ensemble des données moyennées des deux études peuvent être consultés dans le tableau 5.2. De la même manière que dans l'étude 4a, les analyses n'ont révélé aucune différence significative ni sur les TR, $t(18) < 1$; $p = .12$, ni sur les scores, $p > .10$, ni sur les d' , $p > .10$. En revanche, les analyses sur les d' indiquent que les performances des sujets des deux groupes sont significativement supérieures au seuil du hasard, $p < .01$.

5.4.4 Discussion

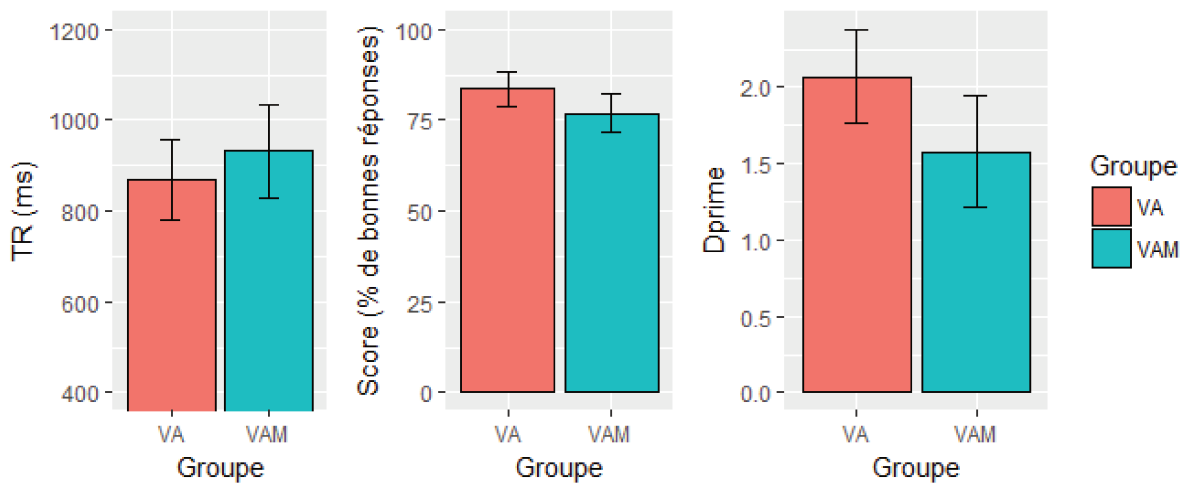


Figure 5.9. Temps de réaction moyens, Scores et d' selon le groupe (VA vs. VAM). Les barres d'erreurs correspondent aux erreurs standards.

Tableau 5.2. Moyenne des TR (ms), Scores (%) et Indices d' en fonction du groupe dans les études 4a et 4b. Les erreurs standards sont notées entre parenthèses.

	Étude 4a		Étude 4b	
	VA	VAM	VA	VAM
TR (ms)	1455 (48.52)	1375 (47.82)	868 (88.19)	932 (102.01)
Score (%)	70.06 (2.66)	68.86 (3.02)	83.51 (5.01)	76.91 (5.44)
d'	1.20 (0.18)	1.17 (0.21)	2.07 (0.31)	1.58 (0.36)

Rappel des objectifs

L'objectif des expériences 4a et 4b étaient de concevoir chez des adultes deux situations d'apprentissage d'associations audio-visuelles dont l'une différait de l'autre par l'ajout du tracé des formes visuelles afin de démontrer que cette motricité permettrait de favoriser l'apprentissage des associations. Contrairement à l'étude 3a, le geste était effectué directement sur l'écran et le nombre d'items à mémoriser était de 20 (contre 8 dans l'étude 3a). De plus, le nombre de sessions d'apprentissage a été augmenté dans l'étude 4b et le temps de réponse lors du test a été diminué. Nous nous attendions à ce que l'ajout de la motricité favorise l'intégration visuo-auditive et permette aux participants effectuant cet apprentissage de mieux mémoriser les associations audio-visuelles.

Synthèse des résultats

Comme dans l'étude 4a, les performances des deux groupes (VAM vs. VA) ont été mesurées via trois mesures, les scores des sujets, les indices d' et les temps de réaction.

Le pattern de résultats obtenu dans cette étude est semblable à celui obtenu dans l'expérience précédente. Les analyses statistiques indiquent que les deux groupes ont obtenu des performances supérieures au seuil du hasard, cependant, les deux groupes n'ont statistiquement différencié sur aucune des trois mesures. L'apprentissage qui consistait à regarder et écouter les associations puis tracer les lettres sur l'écran ne semble donc pas plus efficace qu'un apprentissage dans lequel les sujets devaient simplement regarder et écouter.

Interprétations

Face à cette absence de différence, il semble nécessaire de s'interroger sur le bien-fondé de nos hypothèses de départ : dans un tel type d'apprentissage chez l'adulte, le fait de tracer les lettres constitue-t-il un apprentissage efficace ? Comment peut-on expliquer cette absence de différences entre nos conditions au vu de la littérature qui rapporte de nombreuses évidences d'effets bénéfiques de la motricité ? Nous proposons ici plusieurs pistes de réflexion.

Tout d'abord, il semble important de noter que le nombre de sujets de ces deux dernières études est relativement faible, tout particulièrement pour des protocoles inter-sujets. Cinquante sujets ont participé à la première étude et 20 à la seconde ce qui correspond respectivement à 25 et 10 sujets par groupe. Le calcul de la puissance du test (Howell, Bestgen, Yzerbyt, & Rogier, 2008) démontre que pour obtenir une puissance recommandée de .80, 68 sujets par groupe auraient été nécessaires. Le faible nombre de participants par groupe a donc pu être un frein à l'émergence de différences. Pour pallier à ce problème, l'une des solutions (autre que d'augmenter le nombre de sujets) serait d'effectuer des protocoles intra-sujets semblables à celui réalisé lors de l'étude 3b. Plutôt que de séparer les sujets en deux groupes distincts et d'ainsi se heurter à des différences inter-individuelles qui apportent énormément de variabilité dans les résultats, une solution serait de séparer les items en deux conditions. Ainsi chaque sujet devait apprendre la moitié des items en condition motricité et l'autre moitié des items en condition contrôle. Cette solution aurait l'avantage d'augmenter la puissance statistique du test et ainsi la probabilité de voir émerger des effets en cas de réelles différences théoriques. En revanche, cette méthode possède deux principaux inconvénients. Premièrement, le nombre d'items par condition serait automatiquement divisé par deux et deuxièmement, une contamination de la condi-

tion VAM sur la condition VA pourrait avoir lieu. En effet, après avoir appris la moitié des items en les traçant, on peut facilement imaginer que dans la condition VA, le sujet pourrait s'imaginer tracer les formes. Or d'un point de vue cognition incarnée, s'imaginer réaliser une action et réaliser véritablement cette action sont deux activités cognitivement très proches (e.g., [Hauk et al., 2004](#)). Toutefois, bien que la puissance statistique du test soit un élément fondamental, il est important de remarquer que sans être statistiquement significative, les tendances des résultats dans les deux études vont même à l'inverse de nos hypothèses avec des performances plus élevées du groupe VA. Ces patterns ne peuvent donc pas simplement s'expliquer par des erreurs de type 2 (i.e., ne pas parvenir à rejeter une hypothèse nulle fausse).

Une autre piste d'explication est une explication attentionnelle. En effet, l'intégration nécessite l'attention du sujet ([Treisman & Gelade, 1980](#); [Allen et al., 2006](#); [Baddeley et al., 2011](#)). Or, d'un point de vue attentionnel, les deux conditions ne semblent pas tout à fait équivalentes. Les associations audio-visuelles étaient systématiquement présentées durant 8000ms, cependant les participants du groupe VAM avaient pour consigne de tracer les formes visuelles durant ce laps de temps tandis que les participants du groupe VA n'avaient aucune tâche à réaliser. On peut alors supposer que les participants du groupe VAM ont pu davantage focaliser leur attention sur la forme visuelle et sur leurs gestes tandis que les participants du groupe VA étaient libre de réfléchir à des moyens mnémotechniques en se focalisant sur l'association entre la forme et le son. Ce biais semble avoir une importance primordiale et pourtant il est difficilement contrôlable. Il semble en effet difficile voir impossible de concevoir une condition contrôle équivalente à la condition VAM d'un point de vue attentionnel. Par exemple, une situation contrôle avec un geste moteur non relié à la forme visuelle (e.g., bouger les doigts d'une façon désordonnée) pourrait être envisagée, cependant de la même manière que dans l'étude 3b, toute différence significative pourrait simplement être dû à un effet interférent de la condition contrôle plutôt qu'un effet facilitateur de la condition expérimentale.

Pour finir, la dernière piste de réflexion est la notion de causalité de l'action. Comme nous avons pu le montrer dans l'étude de Macri et al. ([soumis](#)), l'action pourrait favoriser l'intégration spécifiquement lorsque cette action a un caractère causal (voir encart 3 chapitre 2 page 38). Or, dans notre étude, les écrans n'étaient pas tactiles, donc le « tracé »

des formes n'en était pas réellement un. Les sujets se contentaient de repasser avec le doigt sur les différents traits de la forme visuelle affichée à l'écran. On peut alors supposer que cette motricité manque de causalité, ce sont pas directement les gestes qui créent la forme visuelle. En ce sens, l'utilisation de supports avec écran tactile pourrait permettre d'élaborer des situations où la motricité possède un réel caractère causal.

En ce sens, le chapitre 6 présentera dans un premier temps les avantages des tablettes tactiles puis une partie expérimentale permettra de continuer le fil des études en tentant de profiter au maximum des possibilités offertes par ce type de support.

LES TABLETTES TACTILES : UN SUPPORT FAVORISANT LA MULTI-SENSORIALITÉ

6.1 L'APPORT DES TABLETTES TACTILES

6.1.1 Les écrans, pour le pire et pour le meilleur

Depuis quelques dizaines d'années, la révolution numérique transforme la façon dont nous vivons, dont nous nous informons, dont nous communiquons mais également la façon dont les enfants se développent. En effet, en vivant immergé dans les technologies numériques depuis leur tendre enfance, la jeunesse se saisit de cette révolution bien plus rapidement que les adultes et toute nouvelle technologie est apprivoisée en un temps record. Cet attrait pour les nouvelles technologies est tel qu'il peut parfois paraître préoccupant, en particulier l'exposition aux écrans des jeunes enfants est souvent cité comme une source d'inquiétude. Cette inquiétude tout à fait naturelle est partagée par les chercheurs qui mettent cependant en garde car le terme « technologie » englobe une grande variété d'éléments indépendants (pour une discussion plus approfondie, voir [Bavelier, Green, & Dye, 2010](#)). Ainsi, des études chez les enfants et adolescents ont établi un lien entre le

temps consacré à l'utilisation des technologies et des effets négatifs comme des problèmes de comportement, des déficits d'attention, de mémoire visuelle, d'imagination et de sommeil (Swing, Gentile, Anderson, & Walsh, 2010 ; Kumari & Ahuja, 2010 ; Dworak, Schierl, Bruns, & Strüder, 2007). Dans une revue de littérature, Hale et Guan (2015) ont constaté que dans 90 % des études menées auprès d'enfants et d'adolescents, la durée d'exposition aux écrans est associée défavorablement aux troubles du sommeil (i.e., principalement la réduction de la durée et le retard des temps d'endormissement). Ces auteurs conseillent de limiter ou de réduire la durée d'exposition aux écrans, surtout avant ou pendant l'heure du coucher, afin de minimiser les effets nocifs sur le sommeil et le bien-être. Toutefois, de nombreuses études révèlent également des effets bénéfiques diverses de l'utilisation des nouvelles technologies (pour une revue, voir Bavelier et al., 2010). Schmidt et Vandewater (2008) font observer que ce qui est primordial en ce qui concerne l'utilisation des nouvelles technologies dans l'apprentissage, c'est la manière dont les enseignants et les parents choisissent d'utiliser la technologie. D'une manière générale, les études révèlent que chez les jeunes enfants (entre 4 et 7 ans) il est nécessaire de distinguer les écrans non interactifs devant lequel l'enfant est passif des écrans interactifs qui peuvent être utiles au développement sensori-moteurs des jeunes enfants. Bach, Houdé, et Léna (2015), dans un ouvrage destiné au grand public mais également au gouvernement, suggèrent que l'exposition aux écrans devraient être extrêmement réduite avant l'âge de 3-4 ans, en revanche à partir de 4 ans les supports tactiles interactifs peuvent se révéler être des supports occasionnels d'apprentissage particulièrement utiles et efficaces.

6.1.2 Les tablettes tactiles, un outil pédagogique attrayant

La tablette est un outil digital déjà très présent dans les familles et dans certaines écoles (Neumann & Neumann, 2014). Les enfants, dès le plus jeune âge, réussissent à interagir de façon autonome avec ce type de support (Neumann, 2016). Une étude de Neumann (2016) a examiné les relations entre les compétences en littératie émergente des enfants et l'utilisation des tablettes à la maison pour écrire et lire. L'analyse corrélacionnelle a montré une association positive entre l'accès des enfants aux tablettes et les compétences en lecture et en écriture. L'une des fonctionnalités intéressantes de la tablette tactile est la notion d'applications. Grâce à ce système, des situations d'apprentissage ciblant les

acquisitions fondamentales au développement des enfants peuvent être élaborées et proposées aux enfants. Cependant, peu de ces applications font l'objet d'un travail commun entre chercheurs et développeurs pour améliorer leur portée éducative et valider scientifiquement leur efficacité (Falloon, 2013). Dans le domaine de l'apprentissage de la lecture et de l'écriture, quelques études scientifiques se sont intéressées à ce support (pour une revue, voir [Ecalte et al., 2017](#)).

Par exemple, Jolly et Gentaz (2013) ont comparé deux types d'entraînements destinés à favoriser l'écriture de lettres cursives chez des enfants de CP, un entraînement sur tablette graphique et un entraînement classique sur papier. Les entraînements consistaient à la copie de lettres suite au visionnage d'un tracé dynamique des lettres. Un troisième groupe dont les enfants n'ont pas suivi d'entraînement particulier servait de groupe contrôle. Les résultats montrent des bénéfices sur les composantes dynamiques du tracé de lettres plus importants pour l'entraînement sur tablette. Cette supériorité pourrait s'expliquer par l'aspect multisensoriel qu'offrent les tablettes. En effet, l'entraînement sur tablette impliquait des vidéos dynamiques de démonstration du tracé des lettres. Ces vidéos qui pouvaient être rejouées plusieurs fois paraissent bien plus pratique pour apprendre à tracer une lettre que la démonstration du tracé par un enseignant sur le tableau. De plus, les tablettes permettent la co-localisation des espaces de travail visuels et manuels, qui facilitent l'intégration multisensorielle ([Congedo et al., 2006](#)).

Dans la même lignée, une étude de Patchan et Puranik (2016) visaient à comparer un entraînement à l'écriture de lettres sur tablette tactile au doigt, avec stylet ou sur papier. Cinquante-quatre enfants préscolaires ont été répartis de façon homogène en 3 groupes. Les enfants ont suivi durant huit semaines un entraînement portant sur huit lettres au total. Après la dernière session, les enfants étaient évalués sur leur capacité à nommer et écrire les lettres apprises. Les résultats indiquent que l'entraînement le plus bénéfique était celui effectué avec le doigt sur tablette tactile. Selon les auteurs, cette différence pourrait s'expliquer par une expérience tactile améliorée, ainsi qu'à un retour kinesthésique et proprioceptif plus important dû à la friction du doigt sur l'écran.

Dans l'ensemble, les recherches examinées suggèrent que les tablettes sont des outils pertinents permettant de favoriser certains aspects de l'alphabétisation émergente comme la connaissance et l'écriture des lettres (e.g., [Jolly & Gentaz, 2013](#); [Neumann & Neu-](#)

mann, 2017). Ces effets bénéfiques peuvent être expliqués par divers avantages de cet outil. Tout d’abord, la tablette apporte un véritable bénéfice au niveau de sa multisensorialité. Les modalités visuelles, auditives et tactiles peuvent toutes les trois être exploitées de manière indépendantes ou conjointes. D’autre part, les aspects intuitifs, rapides et portables rendent cet outil particulièrement pratique et facile d’utilisation. Les enfants peuvent ainsi travailler à leur rythme et de façon plus ou moins indépendante. Pour finir, cet outil augmente le niveau de motivation des élèves et augmente leur engagement dans l’activité (Ecalte et al., 2017).

Ces diverses études suggèrent que les tablettes tactiles pourraient s’avérer être des outils particulièrement pertinents dans l’élaboration de situations d’apprentissage d’associations audio-visuelles chez l’adulte et de CGP chez les enfants. Par son caractère multisensoriel, notamment sa dimension tactile ainsi que son aspect motivationnel, cet outil paraît le support idéal pour mémoriser des stimuli audio-visuels en les traçant. Les études expérimentales qui suivent tenteront donc d’exploiter au maximum toutes ces fonctionnalités.

6.2 ÉTUDE 5 : INFLUENCE DE L’AJOUT D’UNE EXPLO- RATION TACTILO-KINESTHÉSIQUE SUR L’APPRENTISSAGE D’ASSOCIATIONS AUDIO-VISUELLES CHEZ L’ADULTE

6.2.1 Principe et objectifs de l’étude

Les études du chapitre 5 ont toutes été réalisées sur ordinateur et avaient pour objectif l’élaboration d’un dispositif expérimental permettant de répliquer les effets bénéfiques de la motricité observés chez les enfants, sur une population adulte. Une telle réplification permettrait de mieux comprendre les mécanismes cognitifs sous-jacents à ces bénéfices et d’investiguer les différents facteurs influents ainsi que les conditions qui rendent possible ces effets.

Les divers résultats obtenus dans ces expérimentations, ainsi que les récentes études portant sur l’utilisation de dispositifs tactiles nous ont amené à considérer que les ta-

blettes tactiles pourraient s'avérer être un support idéal dans l'élaboration de situations d'apprentissage multi-sensorielles. À ce titre, les études du chapitre 6 auront pour principe de transférer sur tablette tactile les protocoles précédemment conçus en profitant de tous les avantages d'un tel support. Ainsi, les objectifs généraux des études de ce chapitre sont : (a) de continuer à investiguer les différents mécanismes sous-jacents aux effets bénéfiques de la motricité dans l'apprentissage des CGP et (b) d'élaborer, à partir de ces investigations, des situations d'apprentissage de plus en plus optimales.

De ce fait, l'étude 5 est la parfaite continuité de l'étude 4. Dans cette nouvelle étude, le protocole a été repensé afin de profiter de la multi-sensorialité qu'offrent les tablettes tactiles. Ainsi, la motricité ne consiste plus à simplement suivre du doigt un curseur ou les traits d'une forme mais consiste à tracer de manière plus concrète des formes avec le doigt. Deux plus, cette étude permet d'investiguer l'un des potentiels facteurs essentiels du bénéfice moteur, le sommeil et le délai. Afin de limiter la variabilité due à l'hétérogénéité des groupes, deux conditions intra-sujets ont été comparées : un apprentissage avec exploration motrice (tactilo-kinesthésique) et un apprentissage sans exploration motrice. L'effet bénéfique de la motricité et son lien avec le sommeil est testé via la présence d'un post-test différé 24 heures après l'apprentissage. Nous faisons l'hypothèse que le tracé des formes visuelles aidera les participants à mieux mémoriser les associations audio-visuelles et que ce bénéfice sera encore plus important après un délai de 24h et une nuit de sommeil.

6.2.2 Méthode

Participants

Cinquante étudiants de l'université Lumière Lyon 2 ont pris part à cette expérience (âge moyen : 21.04 ans, amplitude : 18-24 ans). Tous les participants étaient de langue maternelle française et n'avaient aucune connaissance préalable sur la langue coréenne. Parmi ces 50 participants, 30 participants ont effectué le post-test différé (âge moyen : 20.97 ans).

Matériel

Les 20 formes créées dans les études précédentes ont été réutilisées, de plus quatre nouvelles formes ont été créées afin d’obtenir un total de 24 formes auxquelles ont été associées 24 pseudo-mots monosyllabiques créés à partir des outils Lexique Toolbox (New et al., 2001) et Acapela Box (Acapela Groupe, 2010). Ces 24 formes ont toutes été découpées en 5 morceaux qui ont permis de mettre en place la condition contrôle (voir Annexe B.1).

De la même manière que dans les études précédentes, 4 listes ont été créées afin de correctement contrebalancer les stimuli et l’ordre des conditions d’apprentissage.

Les tablettes tactiles utilisées étaient des tablettes Samsung Galaxy Tab S2. Les phases d’apprentissage ainsi que le test immédiat ont été élaborées via le logiciel OpenSesame (Mathôt et al., 2012) et la phase test différée a été programmée en javascript afin de la rendre accessible online.

Procédure

La passation se déroulait en quatre phases : une phase d’entraînement, une phase d’apprentissage, une phase test immédiate et une phase test différée. Pour plus de clarté, la condition qui avait jusqu’ici été nommée « VAM » sera appelé « Motricité » et la condition « VA » sera nommée « Contrôle ». Contrairement à l’étude 4, dans cette présente étude le facteur Apprentissage (Motricité vs. Contrôle) était intra-sujets : chaque sujet apprenait 12 formes en condition Motricité et 12 autres formes en condition Contrôle. La procédure générale peut être visualisée via la figure 6.1.

Phase d’entraînement

Comme dans les expériences précédentes, la phase d’entraînement permettait d’expliquer la tâche aux sujets via des exemples.

Phase d’apprentissage

Le type d’apprentissage étant un facteur intra-sujet, il a été choisi de séparer cette phase d’apprentissage en deux phases distinctes. De la même manière que dans les expériences précédentes, les associations forme-son étaient présentées une par une, cependant la façon

6.2. ÉTUDE 5 : INFLUENCE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION TACTILO-KINESTHÉSIQUE SUR L'APPRENTISSAGE D'ASSOCIATIONS AUDIO-VISUELLES CHEZ L'ADULTE

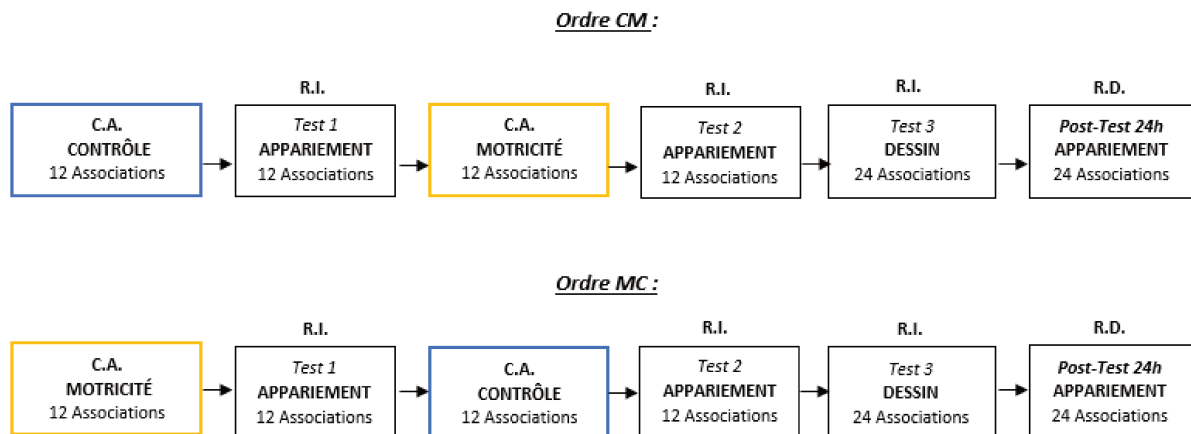


Figure 6.1. Schématisation du déroulé du dispositif expérimental pour un participant. Notes : CM : Ordre de présentation des Conditions d'Apprentissage de type "Contrôle" puis "Motricité" ; C.A. : Condition d'Apprentissage ; R.I. : Rappel Immédiat ; R.D. : Rappel Différé ; MC : Ordre de présentation des Apprentissages de type "Motricité" puis "Contrôle".

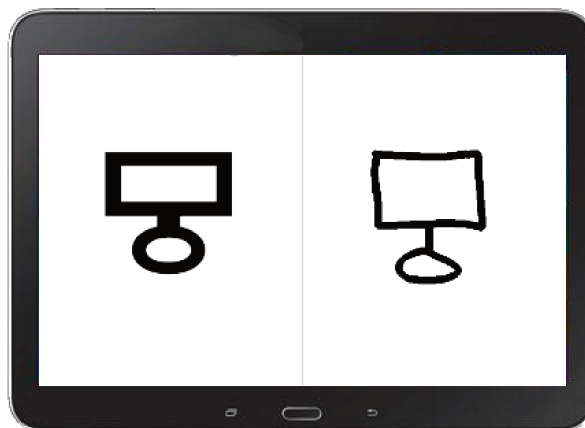


Figure 6.2. Illustration de la phase d'apprentissage en condition motricité de l'étude 5.

dont la forme visuelle était présentée différait selon la condition.

Dans la condition d'apprentissage Motricité, la forme visuelle était présentée à gauche de l'écran et le son était joué une première fois. Le sujet avait pour consigne de tracer lui-même la lettre sur la partie droite de l'écran de la tablette (voir figure 6.2). Le son était joué une seconde fois lorsque le sujet commençait à dessiner la forme. Après 12 secondes de présentation, la forme suivante s'affichait.

Dans la condition Contrôle, la forme apparaissait au centre de l'écran, puis une animation avait lieu faisant apparaître la forme morceau par morceau (5 morceaux au total, voir Annexe B.1). Cette apparition morcelée n'était pas cohérente avec un tracé de la lettre à

la main afin d'éviter toute simulation d'une production motrice. Dans cette condition, le son était également joué deux fois, une fois lors de l'apparition de la forme, une seconde fois lors de l'apparition du premier morceau de la forme. Chaque morceau était présenté 2400ms pour une présentation totale de 12 secondes.

La moitié des sujets commençaient par l'apprentissage Motricité et finissaient par l'apprentissage Contrôle (Ordre MC) tandis que l'autre moitié des sujets effectuaient le contraire (ordre CM).

Phase test immédiate

La phase test immédiate comportait deux tests, un test d'appariement et un test de dessin.

Le test d'appariement

Le test d'appariement était effectué directement après la phase d'apprentissage. Il était donc effectué deux fois, un après chaque apprentissage (cf. figure 6.1). Dans ce test, les participants devaient appairer les 12 formes avec les 12 sons. Comme l'illustre la figure 6.3, l'écran était divisé horizontalement en deux parties : chacune des 12 formes étaient présentées en bas de l'écran et pouvaient être déplacées tandis qu'en haut de l'écran, 12 icônes « son » permettait déclencher la lecture audio de chacun des 12 pseudo-mots. En déplaçant les formes du bas vers le haut, le participant devait appairer les 12 formes avec les 12 pseudo-mots.

Le test de dessin

Dans ce test, les participants avaient pour consigne de dessiner sur l'écran la forme associée au pseudo-mot qu'ils entendaient dans le casque. Les pseudo-mots étaient présentés dans un ordre aléatoire, le participant avait 20 secondes pour dessiner chaque forme.

Ce test était effectué une seule fois, à la fin de l'expérience. Le choix de placer ce test à la fin, et non pas après chaque apprentissage a été fait afin que les participants ne soient pas influencés lors de leur second apprentissage. En effet, si à la suite du premier apprentissage, le participant devait dessiner chacune des formes, il risque lors du second apprentissage d'être davantage attentif sur la façon de tracer les formes, et ce même dans



Figure 6.3. Illustration de la phase d'appariement. Les 12 formes présentées en bas de l'écran doivent être appariées avec les 12 sons présentés en haut de l'écran.

la condition contrôle. Cette solution évite donc ce biais, cependant elle risque d'entraîner un biais de récence qui devra être contrôlé lors de l'analyse des données.

Phase test différée

Pour finir, un dernier test était effectué 24h après l'apprentissage. Ce test était effectué depuis le domicile des participants, sur ordinateur ou sur tablette. Un email de rappel était envoyé au participant le matin comportant un lien unique permettant d'accéder à la tâche hébergée sur un site web. Ce participant avait jusqu'à 22h dernier délai pour effectuer le test en ligne. Ce test était identique au test d'appariement immédiat mais ciblait l'ensemble des 24 associations (et non pas 12 associations comme en test immédiat).

6.2.3 Résultats

Traitement des données

Les analyses ont porté sur deux mesures différentes : les scores au test d'appariement et au test de dessin. Concernant le test d'appariement différé, seulement 31 sujets sur 50 l'ont effectué dans les délais impartis. Les 20 sujets restants ne se sont pas connectés ou se sont connectés après la deadline de 22h.

Le test d'appariement

Suite à la perte de 19 sujets, deux types d'analyses ont été effectuées. Au test immédiat, un test de Student à mesures appariées a été effectué sur l'ensemble des 50 sujets. Afin d'analyser les données du test différé et la progression entre les deux tests, une ANOVA à mesures répétées a été réalisée avec deux facteurs intra, le Temps (Immédiat vs. Différé) et l'Apprentissage (Motricité vs. Contrôle).

Le test de dessin

Dans le test de dessin, l'analyse la plus simple aurait été d'effectuer un test de Student. Cependant, le design de l'expérience fait que l'ordre des apprentissages est une variable confondue très impactante. En effet, la tâche ayant lieu à la fin, les sujets risquent de mieux se rappeler des 12 dernières formes qui sont forcément toutes dans la même condition. Bien que ce facteur ait été contrôlé en contre-balançant l'ordre d'apparition des apprentissages, il apporte tout de même une forte variabilité dans les données qu'il serait statistiquement judicieux de contrôler. Pour ce faire, une ANOVA a été réalisée avec le facteur Apprentissage en intra-sujets (Motricité vs. Contrôle) et le facteur Ordre en inter-sujets (CM vs. MC).

L'ensemble de ces analyses ont été effectuées sous R (R Core Team, 2013).

Analyses

Le test d'appariement

Rappel Immédiat

La figure 6.4 présente les scores moyens des 50 sujets au test d'appariement immédiat. Les participants se révèlent avoir de meilleures performances pour les associations apprises en condition Contrôle ($M = 8.02$; $SE = 0.49$) que pour les associations apprises en condition Motricité ($M = 6.66$; $SE = 0.50$). Cette différence se révèle statistiquement significative au Test de Student à $t(49) = -3.29$, $p < .01$.

Rappel Immédiat et Différé

La figure 6.5 illustre les résultats obtenus aux tests d'appariement (immédiat et différé) des 31 sujets ayant effectué l'ensemble des tests. L'analyse de variance révèle que l'effet

6.2. ÉTUDE 5 : INFLUENCE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION TACTILO-KINESTHÉSIQUE SUR L'APPRENTISSAGE D'ASSOCIATIONS AUDIO-VISUELLES CHEZ L'ADULTE

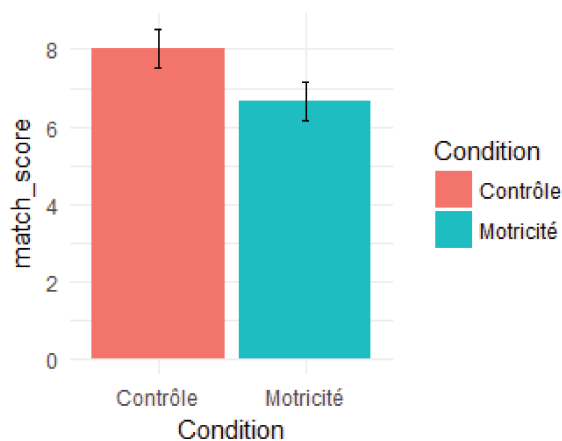


Figure 6.4. Scores moyens et erreurs standards en rappel immédiat au test d'appariement immédiat selon la Condition d'Apprentissage (Contrôle vs. Motricité).

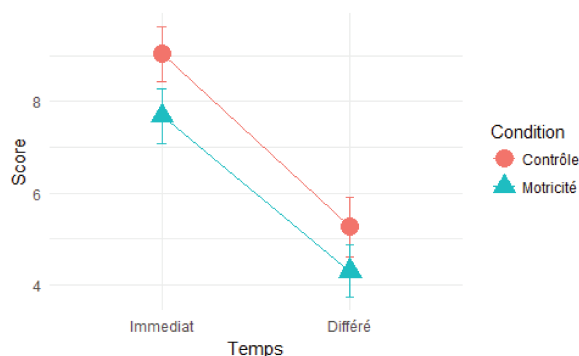


Figure 6.5. Scores moyens et erreurs-standards aux tests d'appariement selon la Condition d'Apprentissage(Contrôle vs Motricité) et le Temps (Immédiat vs. Différé).

principal du facteur Temps est statistiquement significatif, $F(1,30) = 64.79$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.22$. Cet effet indique que les participants ont obtenu de meilleures performances en rappel immédiat ($M = 8.3$; $SE = 0.61$) qu'en rappel différé ($M = 4.66$; $SE = 0.62$), et ce quel que soit le test et la Condition d'Apprentissage des associations. L'effet simple du facteur Condition est également significatif, $F(1,30) = 7.18$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.03$, indiquant que quel que soit le facteur Temps, les participants ont globalement mieux retenu les associations apprises en condition Contrôle. De plus, l'effet d'interaction entre les facteurs Condition et Temps ne se montre pas statistiquement significatif à l'analyse de la variance, $F(1,30) = .64$, $p > .05$, $\eta^2 = .02$, ce qui indique que cette supériorité de la condition Contrôle ne varie pas avec le temps.

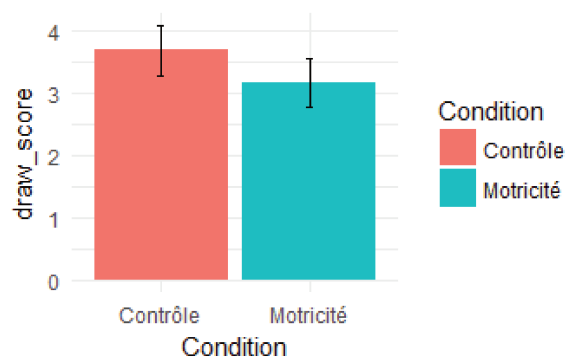


Figure 6.6. Scores moyens et erreurs standards au test de Dessin selon la Condition d'Apprentissage (Contrôle vs. Motricité).

Le test de dessin

La figure 6.6 illustre les résultats obtenus aux tests de dessin des 50 sujets ayant effectué l'ensemble des tests.

Comme indiqué précédemment, le facteur Ordre a été introduit dans l'analyse de variance afin de contrôler l'effet de récence. Comme attendu, l'effet principal de l'Ordre n'est pas significatif, $F < 1$, en revanche l'interaction Ordre*Apprentissage l'est, $F(1,48) = 31.58$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.12$. Cet effet est simplement un effet de récence, il révèle que les formes apprises lors de la seconde condition d'apprentissage ont systématiquement mieux été restituées. Le fait d'entrer ce facteur dans l'ANOVA permet de le contrôler puisque l'impact des autres effets sont considérés en contrôlant la variabilité due à ce facteur.

L'effet qui nous intéresse est l'effet simple du facteur Apprentissage, cet effet n'est pas statistiquement significatif à l'analyse de la variance, $F(1,48) = 2.32$, $p > .10$. Les associations apprises en Condition Motricité ($M = 3.16$; $SE = 0.40$) n'ont pas été mieux restituées que celles apprises en Condition Contrôle ($M = 3.68$; $SE = 0.40$).

6.2.4 Discussion

Rappel des objectifs

L'objectif de cette étude était de transférer sur tablette tactile le protocole précédemment élaboré afin d'améliorer la façon dont le tracé des lettres était réalisé jusqu'ici. Grâce aux fonctionnalités de la tablettes tactile, de nouveaux tests ont également été élaborés afin de mieux rendre compte de l'apprentissage des sujets. Pour finir, l'effet bénéfique de

la motricité et son lien avec le sommeil était testé via la présence d'un post-test différé 24 heures après l'apprentissage. Nous faisons l'hypothèse que le tracé des formes visuelles aiderait les participants à mieux mémoriser les associations audio-visuelles et que ce bénéfice sera encore plus important après un délai de 24h et une nuit de sommeil.

Synthèse des résultats

Dans cette étude, deux situations d'apprentissage intra-sujets étaient comparées, une condition Motricité et une condition Contrôle. Les performances des sujets étaient évaluées immédiatement après l'apprentissage puis 24h après. Deux tests différents permettaient cette évaluation, le test d'appariement (immédiat et différé) et le test de dessin (uniquement en immédiat). Les résultats de la tâche d'appariement vont globalement à l'inverse des hypothèses : les sujets ont mieux mémorisé les associations apprises en condition Contrôle que celles apprises en condition Motricité. De plus, contrairement à nos hypothèses, le déclin de cet apprentissage avec le temps ne diffère pas selon la condition d'apprentissage. Les associations apprises en traçant les formes ne sont pas mieux préservées que celles apprises en condition Contrôle. Dans la tâche de dessin, les analyses statistiques ne révèlent aucune différence significative, de plus les différences de performances, bien que non significatives semblent aller dans le sens inverse des hypothèses, vers une supériorité de la condition Contrôle.

Interprétations

Supériorité de la condition contrôle

Bien que ces résultats soient contraire à nos hypothèses, ils tendent à confirmer les tendances observées lors des études 4a et 4b, c'est à dire une supériorité de l'apprentissage Contrôle. Plusieurs explications avaient alors été avancées, notamment la causalité de l'action et les phénomènes attentionnels. Dans cette présente étude, l'action était causale puisque les sujets traçaient eux-mêmes les formes visuelles : leurs mouvements produisaient la forme visuelle. En revanche d'un point de vue attentionnel, des différences persistent toujours. Bien que dans une certaine mesure, la motricité puisse aider les sujets à focaliser leur attention, cette attention n'est focalisée que sur la forme visuelle et non pas sur l'association audio-visuelle.

Par conséquent, il serait intéressant d'améliorer la phase test afin de rendre compte de ce potentiel effet. En effet, en phase test les tâches d'appariement et de dessin permettent toutes les deux de mesurer l'apprentissage de l'association visuo-auditive. Pour rappel, tandis que la première tâche consistait à appairer les formes et les sons, la seconde tâche consistait à dessiner la forme visuelle dont le son correspondant était donné dans le casque. Pour réaliser ces deux tâches, il faut donc avoir correctement mémorisé les associations mais des nouvelles tâches pourraient être élaborées afin de vérifier si les formes et les sons ont été mémorisés de manière indépendante. Enfin, l'une des difficultés rapportées par les sujets dans la condition Motricité était liée à la façon dont les formes se traçaient. En effet, comme aucune démonstration du tracé n'était fournie, les participants devaient par eux-mêmes choisir comment tracer la forme. Ce choix a pu être coûteux cognitivement et ainsi aggraver les différences attentionnelles entre les deux conditions.

Dans l'étude 4a, nous nous étions posés la question si l'apprentissage était suffisamment renforcé. L'étude 4b a montré qu'un apprentissage un peu plus intense ne permettait pas d'obtenir une supériorité de la motricité. Cependant on pourrait se demander si cette motricité ne serait pas davantage bénéfique lorsqu'une base de connaissances existent initialement. En effet, le fait de proposer une première phase dans laquelle tous les participants ont l'occasion de se focaliser sur les associations audio-visuelles sans être distraits par leur tracé, permettrait peut-être de faire émerger un effet bénéfique de la motricité. Si tel est le cas, cela impliquerait que lors de l'apprentissage d'associations audio-visuelles, la motricité pourrait permettre de renforcer le lien entre la forme et le son mais n'aurait pas le rôle de le créer. Cette question particulière sera abordée lors de l'étude 7.

Le rôle du sommeil

Le sommeil est connu pour son importance dans l'intégration des connaissances (Frankland & Bontempi, 2005) et de nombreuses études ont montré des effets bénéfiques du sommeil sur les apprentissages sensorimoteurs (e.g., Walker, Brakefield, Morgan, Hobson, & Stickgold, 2002 ; Walker et al., 2003). En conséquence, nous nous attendions à un déclin plus fort des connaissances apprises en condition Contrôle qu'en condition Motricité. Cette hypothèse n'a pas été confirmée et aucune interaction Temps*Condition d'apprentissage n'a été observée. Cependant, tout comme dans la phase test immédiate, la phase test différée évaluait uniquement l'apprentissage des associations. Si des biais attentionnels ont

opéré lors de l'apprentissage et ont ainsi interféré avec l'apprentissage des associations, il semble cohérent que le sommeil n'ait pas pu avoir d'effet particulier. Il aurait également été intéressant lors de ce post-test de mesurer la mémorisation des formes seules afin de mieux comprendre en quoi l'apprentissage a échoué. Les sujets ont-ils retenu les formes ou les sons individuellement mais pas les associations ? Ou n'ont-ils rien mémorisé ? Seules de nouvelles tâches pourraient permettre de répondre à ces questions.

Perspectives

Tout au long de ce document, la volonté est celle d'étudier en parallèle les situations d'apprentissage d'associations audio-visuelles chez les adultes et l'apprentissage des CGP chez les enfants. Comme l'ont montré les études citées précédemment, les tablettes tactiles, via leur aspect ludique et multisensoriel, peuvent être un outil pédagogique pertinent pour élaborer des situations d'apprentissage chez les enfants. L'étude qui suit aura donc pour objectif d'élaborer une situation d'apprentissage des CGP chez des jeunes enfants pré-lecteurs afin de tester le bénéfice de la motricité sur tablette tactile.

6.3 ÉTUDE 6 : INFLUENCE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION TACTILO-KINESTHÉSIQUE SUR L'APPRENTISSAGE DES CGP CHEZ DES ENFANTS DE 5 ANS

6.3.1 Principe et objectifs de l'étude

L'étude 5 a permis l'élaboration d'un protocole original destinés aux adultes sur tablette tactile ciblant l'apprentissage d'associations audio-visuelles et permettant l'exploitation maximale de la multi-sensorialité. Chez les enfants, cette technologie étant très récente, les études réalisées sur les effets bénéfiques d'entraînements sur support tactile sont encore très peu nombreuses. De plus, la plupart des études sur ce sujet avaient comme objectif de comparer le support tactile à d'autres types de supports non tactiles et de mettre en évidence des effets bénéfiques sur l'écriture seulement. En revanche, très peu d'études ont comparé différents entraînements sur tablette tactile, et aucune, à notre connaissance, n'a

comparé l'effet bénéfique de différents types d'entraînements sur tablette tactile sur des compétences à la fois en écriture et en lecture.

Par conséquent, le principe de l'étude 6 était d'adapter le protocole mis en place dans l'étude 5 chez des adultes avec du matériel pour les enfants pré-lecteurs. L'objectif de cette étude était de mettre en évidence un effet bénéfique de la motricité sur tablette tactile sur des compétences à la fois en lecture et en écriture. Pour cela, deux conditions d'entraînements en intra-sujets ont été comparées, une condition visuo-auditive (VA) et une condition visuo-auditive-motrice (VAM). Huit lettres étaient ainsi entraînées, dont la moitié dans chacune des conditions expérimentales. Les entraînements étaient effectués sur tablette tactile, cependant la présence d'une exploration motrice ou non différait d'une condition à l'autre. Nous faisons l'hypothèse que cette exploration motrice sera davantage bénéfique et que ces bénéfices seront observés sur les compétences en écriture et en lecture des enfants.

6.3.2 Méthode

Participants

33 enfants ont pris part à cette étude avec un âge moyen de 5 ans et 10 mois (amplitude : 5;3 - 6;2 ans). Ces enfants ont été recrutés dans deux écoles différentes de la région Rhône-Alpes. Tous les enfants étaient de langue maternelle française et n'avaient pas encore reçu d'instruction spécifique de lecture.

Matériel

Le matériel était composé des 8 mêmes lettres (utilisés dans le contexte d'une syllabe) utilisées lors des études 1 et 2 auprès d'enfants (voir page 70). De plus, pour chaque syllabe, deux ou trois mots de contexte ont été choisis à partir de la base de données Lexique 3.8 (New et al., 2001). Ces mots, présentés tableau 6.1 ont été choisis en fonction de leur nature (i.e., uniquement des noms communs et des verbes) et de leur fréquence lexicale (i.e., mots les plus fréquents possibles). Les syllabes cibles, les mots de contexte ainsi que les consignes ont été transformées en son via le logiciel Acapela Box (Acapela Groupe, 2010).

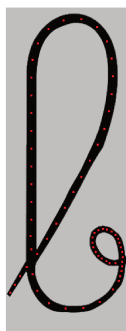


Figure 6.7. Illustration des différentes coordonnées calculées concernant la lettre b. Chaque point rouge représente le barycentre de l'un des segments de la lettre.

Tableau 6.1. Mots de contexte issus de la base de donnée Lexique 3.8 (New et al., 2001) utilisés lors de l'apprentissage. Les fréquences lexicales sont données entre parenthèses.

b	p	/ta/	/da/
ballon (17.16)	papier (144.59)	tableau (57.84)	dame (106.15)
bateau (61.22)	parent (138.72)	tapis (60.88)	dalle (13.38)
baleine (3.11)	patron (93.85)	tasse (25.07)	date (36.62)
/fa/	/va/	/ga/	/ka/
facteur (12.36)	valise (47.43)	gagner (64.59)	karaté (0.95)
famille (241.69)	vache (26.08)	garage (22.23)	kayak (0.14)
farine (13.51)	vase (26.76)	garçon (186.96)	

Pour permettre la présentation d'un tracé dynamique des lettres, chacune des 8 lettres ont été découpées, via un logiciel de retouche d'images, en plusieurs dizaines de segments, le nombre de segments dépendant de la longueur de la lettre (e.g., 43 segments pour la lettre v, 83 segments pour la lettre f). Ensuite, pour chaque segment, le barycentre a été calculé et ses coordonnées ont été sauvegardées (pour une illustration, voir figure 6.7). Ce découpage en segments, et les coordonnées des barycentres, ont pu permettre à la fois la présentation dynamique du tracé de la lettre mais cela a également pu permettre de guider le tracé des enfants lors de la phase d'apprentissage.

Les tablettes tactiles utilisées étaient des tablettes Samsung Galaxy Tab S2 et toutes les tâches ont été conçues sur Opensesame (Mathôt et al., 2012).

Procédure

Comme dans les études précédentes auprès d'enfants, la procédure générale était une procédure en trois phases, une phase de pré-tests, une phase d'apprentissage et une phase de post-tests (voir tableau 6.2).

Tableau 6.2. Procédure générale de l'étude 6.

Temps	t0		t1				t2
Jour	J1	J1	J2	J3	J4	J5	
Phase	Pré-Tests		Apprentissage				Post-Tests
Tâches	Reconnaissance de lettres		(b/p)	(t/d)	(f/v)	(k/g)	Reconnaissance de lettres
	Décodage de PM						Décodage de PM
	Copie de lettres						Copie de lettres

Pré-tests et Post-tests

Trois tâches effectuées aux pré-tests et aux post-tests permettaient d'examiner la progression des enfants : une tâche de reconnaissance de lettres, une tâche de décodage de pseudo-mots, ainsi que d'une tâche de copie de lettres sur tablette tactile.

Reconnaissance de lettres

La tâche de reconnaissance de lettres était présentée en première, sur papier. La feuille était divisée en huit lignes, chaque ligne présentant la lettre cible ainsi que 6 lettres distractrices. Pour chaque ligne, la lettre cible était dénommée à l'oral par l'expérimentateur, l'enfant devait alors entourer la lettre correspondante. Les huit lettres cibles utilisées correspondent aux huit lettres utilisées pour l'entraînement.

Décodage de pseudo-mots

La tâche de décodage de pseudo-mots était la même tâche que celle utilisée dans les études 1 et 2. Cependant, un problème lors du recueil des scores a rendu ces données inutilisables. Les résultats de cette tâche ne pourront donc pas être exploités.

Copie de lettres

La tâche de copie de lettres était réalisée sur tablette tactile. Les 8 lettres étaient présentées deux fois chacune dans un ordre aléatoire. La lettre était présentée sur la gauche de l'écran, il était demandé aux enfants de tracer la lettre sur la droite de l'écran avec l'index.

Phase d'apprentissage

Comme dans les études précédentes, les entraînements se déroulaient sur plusieurs jours (voir tableau 6.2). Chaque session d'entraînement durait approximativement 30mn

et ciblait deux lettres. Cependant, contrairement aux études précédentes dans lesquelles deux groupes étaient comparées, cette étude était en intra-sujets. En effet, lors de chaque session, une lettre était entraînée en condition VAM (e.g., le p) et l'autre en condition VA (e.g., le b). Ces deux entraînements sont illustrés dans la figure 6.8.

Lors de l'apprentissage VAM, l'écran était divisé en deux de façon verticale. Cet apprentissage se déroulait en deux étapes, une étape guidée et une étape libre. Dans la première étape, la syllabe (e.g., « pa ») était présentée à gauche de l'écran puis l'enfant pouvait entendre une phrase du type : « pa que l'on entend au début de papier ». L'ensemble des mots de contexte (e.g., « papier ») ont été présentés dans la section matériel et dans le tableau 6.1. Après ce son, la consonne disparaissait (mais pas la voyelle) puis réapparaissait de manière dynamique et progressive, en suivant le sens conventionnel de l'écriture mais également en respectant une cinétique naturelle correspondant à un mouvement d'écriture. À la fin de cette animation, la syllabe cible était présentée à droite de l'écran avec la consonne totalement grisée (voir exemple figure 6.8). L'enfant devait alors tracer la lettre cible (i.e., la consonne) avec son doigt. Ce tracé était totalement guidé puisque l'enfant ne pouvait ni déborder ni se tromper dans le sens d'écriture. En réalité, dans cette étape, l'enfant avait l'impression de tracer la lettre mais ne faisait en réalité qu'activer l'apparition des différents segments de la lettre (la couleur passait de grise à noire) lorsqu'il posait son doigt aux bonnes coordonnées. Une certaine souplesse était acceptée puisque le segment s'affichait uniquement si le doigt de l'enfant se trouvait à une distance inférieure à 30 pixels du prochain segment à afficher. L'enfant effectuait au total 6 fois ce tracé guidé avant de passer à la seconde étape, le tracé libre. Cette étape différait uniquement lors du tracé de la lettre sur la droite de l'écran. La consonne cible n'était plus grisée mais totalement absente. L'enfant était alors libre de tracer la lettre avec son doigt sur la tablette. Dans cette étape, la production visuelle de l'enfant était strictement conforme aux mouvements qu'il produisait. L'enfant pouvait donc tout à fait faire une lettre trop petite, trop grande, se tromper dans le sens d'écriture ou ne pas réussir à reproduire la lettre. À l'origine, cette étape était censée être la seule étape de l'apprentissage VAM cependant des pré-tests ont révélé que ce tracé libre était une tâche difficile pour des enfants de 5 ans, l'étape du tracé guidé a donc été conçue afin d'aider les enfants dans leurs premières productions. L'enfant effectuait 6 tracés libre de la lettre. Au total, la lettre était donc présentée 12 fois.

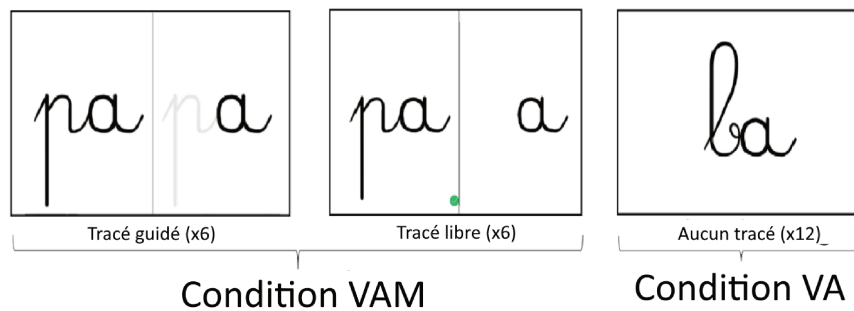


Figure 6.8. Illustration des deux types d'entraînements (VAM vs. VA) de l'étude 6.

Lors de l'apprentissage VA, une autre lettre était entraînée (e.g., le « b »). Dans cet apprentissage, la syllabe était présentée au centre de l'écran simultanément au son (e.g., « ba que l'on entend au début de baleine »). L'animation du tracé dynamique de la lettre était ensuite présentée. Ce processus était répété 12 fois au total. La différence avec l'apprentissage VAM repose donc uniquement sur l'absence de tracé de la lettre.

L'ordre de présentation de l'apprentissage (VAM-VA ou VA-VAM) était contrebalancé, de même, les lettres étaient contrebalancées de manière à ce qu'une lettre donnée (e.g., le p) soit vue par la moitié des participants en condition VAM et par l'autre moitié en condition VA. Pour finir, l'ordre de présentation des lettres (e.g., p/b puis t/d puis k/g puis f/v) était également contrebalancé. En revanche, les lettres étaient systématiquement présentées par paires selon leur trait de voisement (i.e., la lettre p systématiquement en opposition avec la lettre b).

6.3.3 Résultats

Recueil et traitement des données

Dans la tâche de reconnaissance de lettres, les scores obtenus (nombre de lettres correctement identifiées) ont été convertis en pourcentage de réponses correctes. Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée avec comme facteurs intra le Temps (Pré-test vs. Post-test) et l'Apprentissage (VA vs. VAM) et comme facteur inter l'École (A vs B). Ce dernier facteur permet notamment de contrôler une partie de la variabilité due au niveau socio-économique des enfants.

Dans la tâche de copie de lettres, deux types de mesures ont été collectées : trois mesures

qualitatives et sept mesures quantitatives. Les mesures qualitatives ont été obtenues suite à la cotation par 3 juges de la production des enfants. Ces juges avaient à disposition le replay de l'ensemble des tracés des enfants et devaient juger ces productions sur une échelle de Likert en cinq points selon trois critères :

- le **rendu** qui correspondait à la qualité finale de la lettre (0 pour une lettre méconnaissable, 4 pour une lettre bien tracée)
- la **fluidité** du tracé, notamment la présence ou non d'à-coups dans le tracé.
- le **ductus**, c'est-à-dire l'ordre et à la direction, mais aussi à la vitesse et le rythme, selon lesquels les traits qui composent la lettre sont tracés.

Afin d'analyser la qualité des tracés, une ANOVA à mesures répétées a été effectuée avec comme facteurs intra les facteurs Temps (Pré-test vs. Post-test) et Apprentissage (VA vs. VAM).

En plus de ces mesures qualitatives, des mesures quantitatives, correspondant à la cinématique du mouvement, étaient collectées. Les tablettes tactiles, contrairement aux tablettes graphiques ne sont pas conçues pour l'enregistrement de ce type de données. La pression du doigt sur la tablette par exemple, ne peut pas être mesurée. En revanche beaucoup d'autres mesures peuvent être mesurées en enregistrant tout simplement l'ensemble des coordonnées des différents points de contact. Ainsi, le script OpenSesame (Mathôt et al., 2012) a été programmé de telle façon que l'ensemble des interactions avec la tablette soient enregistrés via deux variables très basiques : la position (via les coordonnées [x,y]) et l'heure (en milliseconde). Grâce à l'enregistrement de ces informations, et en s'inspirant des mesures recueillies par Jolly et Gentaz (2013), le traitement a posteriori des données ont pu permettre l'extraction de sept mesures :

- la **longueur totale** du tracé (en px)
- la **durée totale** du tracé (en millisecondes)
- la **vitesse moyenne** (en px/ms),
- le **nombre de traits** qui constituent la lettre,
- le **temps de crayon en l'air** qui correspond au temps total (en ms) durant lequel le doigt n'est plus en contact avec la tablette
- le **nombre de moments statiques**, qui correspond au nombre de périodes durant lesquelles la distance parcourue par le doigt est nulle
- le **durée total des moments statiques**, qui correspond au temps (en ms) durant lesquelles la distance parcourue par le doigt est nulle

Les analyses statistiques sur les données quantitatives ont été conduites à l'aide de modèles linéaires mixtes, sous R via les package *lme4* (Bates, Mächler, Bolker, & Walker, 2015) et *car* (Fox & Weisberg, 2011) selon la méthode préconisée par Baayen, Davidson, et Bates (2008). Les Sujets et les Items (i.e., les lettres) étaient inclus en facteurs aléatoires tandis que le Temps (Pré-test vs. Post-test) et l'Apprentissage (VA vs. VAM) ont été introduits en tant que facteurs fixes. La formule finale permettant l'analyse sous R était donc du type $VD \sim Temps * Apprentissage + (1|Item) + (1|Sujet)$.

Analyses

Tâche de reconnaissance de lettres

Les performances lors de la tâche de reconnaissance de lettres sont illustrées figure 6.9. Les analyses de variance (ANOVAs) ont révélé un effet principal du facteur Temps, $F(1,31) = 45.36, p < .05, \eta^2 = 0.10$, indiquant que les pourcentages de réponses correctes sont plus élevés en post-test ($M = 60.98\%; SE = 4.10$) qu'en pré-test ($M = 43.18\%; SE = 3.61$), les entraînements ont donc été globalement bénéfiques. Les effets principaux des facteurs École et Apprentissage ne sont pas significatifs, $ps > .10$.

Parmi les effets d'interaction, seule l'interaction Temps*École est significative, $F(1,31) = 4.28, p < .05, \eta^2 = 0.01$. Ces résultats traduisent une meilleure progression entre le pré-test et le post-test des enfants de l'école A. Les comparaisons planifiées n'indiquent pas de différence entre les deux écoles au pré-test, $t(31) = 0.78, p > .10$, mais les résultats de l'école A sont significativement supérieurs à ceux de l'école B en post-test, $t(31) = 2.13, p < .05, d = .74$.

Contrairement à nos hypothèses, l'interaction Temps*Apprentissage n'est pas significative, $F < 1$, les enfants n'ont donc pas davantage bénéficié de l'apprentissage VAM que de l'apprentissage VA concernant cette tâche.

Tâche de copie de lettres

Données qualitatives

Les productions des enfants ont été cotées avant et après l'entraînement par 3 juges, les résultats sont illustrés dans la figure 6.10.

6.3. ÉTUDE 6 : INFLUENCE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION TACTILO-KINESTHÉSIQUE SUR L'APPRENTISSAGE DES CGP CHEZ DES ENFANTS DE 5 ANS

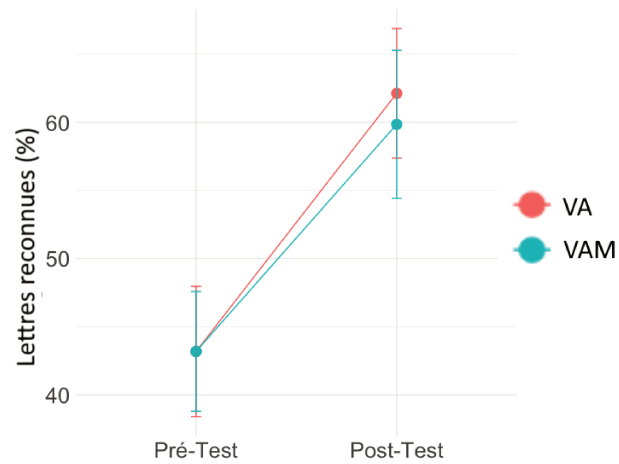


Figure 6.9. Pourcentage de lettres reconnues en fonction des facteurs Temps et Apprentissage.

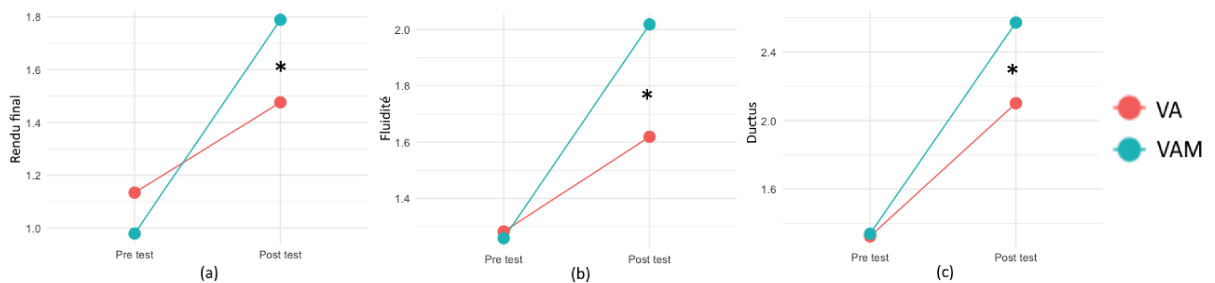


Figure 6.10. Qualité du rendu final (a), de la fluidité (b) et du ductus (c) en fonction des facteurs Temps et Apprentissage.

Concernant le rendu final de la lettre, un effet principal du facteur Temps est observé : le score de rendu est plus élevé au post-test ($M = 1.63$; $SE = 0.19$) qu'au pré-test ($M = 1.06$; $SE = 0.17$). Ce gain de 0.57 apparaît significatif à l'analyse de variance, $F(1,13) = 31.36$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.15$. Un effet d'interaction Temps*Apprentissage significatif est également observé, $F(1,13) = 14.82$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.03$. En terme de qualité de la production, les enfants ont donc davantage progressé concernant les lettres apprises en condition VAM qu'en condition VA. Les comparaisons planifiées montrent que les scores dans les deux modalités d'entraînement ne diffèrent pas au pré-test, $t(13) = 1.22$, $p > .05$, mais diffèrent au post-test, $t(13) = 2.52$, $p < .05$, $d = 0.67$.

Un effet principal du facteur Temps est observé sur le ductus (i.e., le respect du sens conventionnel d'écriture) : le score de ductus est plus élevé en post-test ($M = 2.34$; $SE = .22$) qu'en pré-test ($M = 1.33$; $SE = .25$). Ce gain de 1.01 apparaît significatif à l'analyse de variance, $F(1,13) = 25.78$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.24$. De plus, un effet d'interaction Temps*Apprentissage est aussi observé : l'effet principal de la période sur le sens du tracé est plus important dans la condition VAM (1.23) que dans la modalité VA (0.78). Cette différence de 0.45 apparaît significative à l'analyse de variance, $F(1,13) = 4.83$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.02$. Les comparaisons planifiées montrent que les scores dans les deux modalités d'entraînement ne diffèrent pas au pré-test, $t(13) = .09$, $p > .05$, mais diffèrent au post-test, $t(13) = 3.88$, $p < .01$, $d = 1.04$.

Pour finir, concernant la fluidité du tracé, un effet principal du facteur Temps est observé : le score de fluidité est plus élevé en post-test ($M = 1.82$; $SE = 0.20$) qu'en pré-test ($M = 1.27$; $SE = 0.20$). Ce gain de 0.55 apparaît significatif à l'analyse de variance, $F(1,13) = 27.56$, $p < .001$, $\eta^2 = .12$. Un effet d'interaction Temps*Apprentissage est également observé : l'effet principal de la période sur la fluidité est plus important dans la condition VAM (0.76) que dans la modalité VA (0.34). Cette différence de 0.42 apparaît significative à l'analyse de variance, $F(1,13) = 6.38$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.02$.

Données quantitatives

Les données quantitatives ont été recueillies via le logiciel de passation OpenSesame puis traitées a posteriori sous R. Les données concernant les 7 mesures précédemment décrites sont illustrées dans la figure 6.11.

6.3. ÉTUDE 6 : INFLUENCE DE L'AJOUT D'UNE EXPLORATION TACTILO-KINESTHÉSIQUE SUR L'APPRENTISSAGE DES CGP CHEZ DES ENFANTS DE 5 ANS

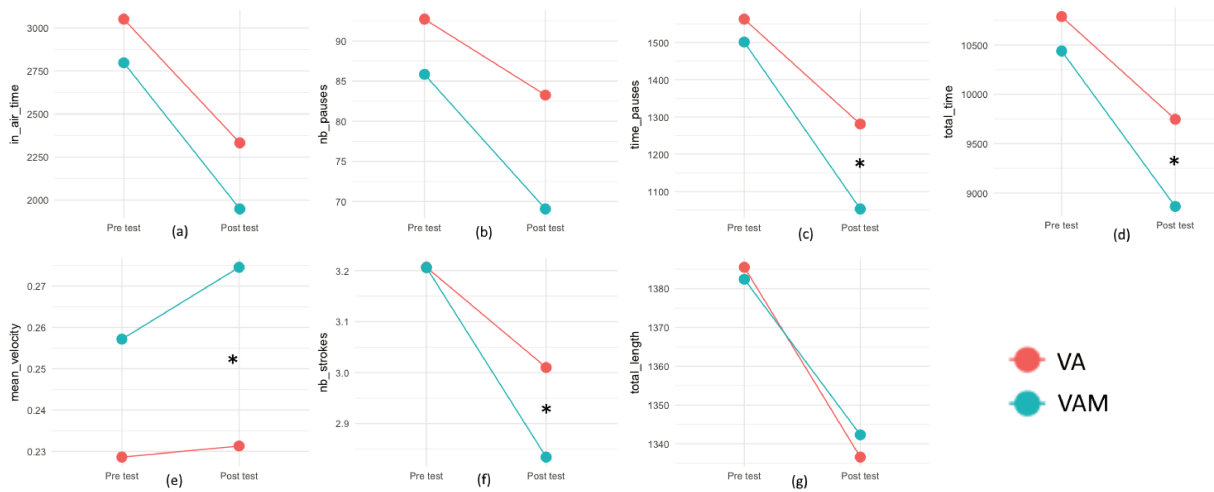


Figure 6.11. Temps de crayon en l’air (a), nombre de moments statiques (b), durée totale des moments statiques (c), durée totale (d), vitesse moyenne (e), nombre de traits (f) et longueur totale (g) en fonction des facteurs Temps et Apprentissage.

Les analyses de variance révèlent un effet du facteur Temps pour l’ensemble des mesures quantitatives, $ps < .05$. Plus particulièrement, entre le pré-test et le post-test, le temps de crayon en l’air, le nombre de moments statiques, la durée totale des moments statiques, la durée totale, le nombre de traits et la longueur totale ont diminué significativement. La vitesse moyenne quant-à-elle a augmenté significativement. De plus, comme indiqué dans les hypothèses, l’interaction Temps*Apprentissage est l’effet le plus important sur lequel nous attendions des différences. Comme le montrent les graphiques de la figure 6.11, les analyses ont révélé que 4 mesures parmi les 7 ont un pattern de résultats dans lequel l’interaction Temps*Apprentissage était significative. Ces mesures sont : la durée totale, $F(1,764.82) = 6.42, p < .05$, la durée totale des moments statiques, $F(1,765.09) = 4.91, p < .05$, la vitesse moyenne, $F(1,767.83) = 10.18, p < .05$, et le nombre de traits, $F(1,769.20) = 4.74, p < .05$. Ces résultats indiquent que pour ces 4 mesures, les progrès réalisés entre le pré-test et le post-test ont été plus importants concernant les lettres VAM que les lettres VA.

6.3.4 Discussion

Rappel des objectifs

Cette première étude sur tablette tactile auprès d’enfants pré-lecteurs avait pour objectif de mettre en évidence un effet bénéfique du tracé des lettres sur tablette tactile

sur des compétences en lecture et en écriture. Pour cela, deux conditions d'apprentissage en intra-sujets étaient comparées, l'une différant de l'autre par le tracé des lettres sur la tablette.

Synthèse des résultats

Deux tâches permettaient d'évaluer le progrès des enfants, une tâche de copie de lettres.

Dans la tâche de copie de lettres, deux types de mesures étaient analysées, trois mesures qualitatives et sept mesures quantitatives. L'analyse révèle un pattern de résultat conforme à nos hypothèses concernant les trois mesures qualitatives (rendu final, fluidité et ductus) : les enfants ont globalement progressé entre le pré-test et le post-test cependant des progrès plus importants sont observés concernant les lettres de la condition VAM.

Concernant les mesures quantitatives, les analyses ont révélé une diminution générale du temps de crayon en l'air, du nombre de moments statiques, de la durée totale des moments statiques, de la durée totale, du nombre de traits et de la longueur totale ainsi qu'une augmentation de la vitesse moyenne de tracé. De plus, il a également été observé que ces progrès ont été davantage important en condition VAM pour quatre des sept mesures quantitatives, la durée totale, la durée totale des moments statiques, la vitesse moyenne et le nombre de traits.

Dans la tâche de reconnaissance de lettres, les deux conditions d'apprentissage se sont révélées bénéfiques puisque les enfants ont globalement progressé entre le pré-test et le post-test. En revanche, les analyses n'indiquent pas de différence de progression entre les deux conditions. Dans cette tâche, les lettres apprises en condition VAM n'ont donc pas mieux été reconnues que celles apprises en condition VA.

Interprétations

La tâche de copie de lettres

Les résultats de cette tâche sont très intéressants puisqu'ils viennent confirmer les effets bénéfiques, observés par Jolly et Gentaz (2013), du tracé des lettres sur tablette tactile sur les variables dynamiques de l'écriture. Cependant, dans l'étude de Jolly et Gentaz (2013), les effets bénéfiques observés avaient été attribués par les auteurs aux vidéos de

démonstration des tracés présentes dans les entraînements sur tablette ainsi qu'à l'aspect attractif du dispositif tactile. Or dans notre étude, les deux conditions d'apprentissage étaient sur tablette et comportaient des démonstrations de tracé, c'est donc bien l'expérience tactilo-kinesthésique du tracé des lettres sur la tablette qui explique les différences de performances observées dans notre étude. De plus, les mesures qualitatives permettent également de prouver que non seulement le contrôle du geste des enfants s'est amélioré, mais également la qualité des productions ainsi que la mémorisation de l'ordre de la séquence des traits qui composent les lettres (le ductus). On peut également noter dans cette étude en intra-sujets que les lettres présentées en condition VA ont également fait l'objet d'un progrès. Cette étude ne permet pas de statuer si cet effet est dû uniquement à la présentation des vidéos de démonstrations de tracé ou si un transfert d'apprentissage a eu lieu en raison de ce protocole intra-sujets.

En tout état de cause, cette étude démontre que le fait de tracer les lettres avec le doigt sur les tablettes tactiles constitue l'apprentissage le plus optimal pour permettre aux enfants de progresser aussi bien dans la dynamique de leurs mouvements que dans la qualité de leurs tracés.

La tâche de connaissance de lettres

L'objectif de cette étude était de démontrer des effets bénéfiques du tracé des lettres sur tablette tactile à la fois sur des compétences en écriture mais également en lecture. Deux tâches permettaient d'attester des progrès dans le domaine de la lecture cependant les données de l'une d'entre elles (i.e., la tâche de décodage de pseudo-mots) n'ont pas pu être exploitées. Dans la tâche de connaissance des lettres, des progrès significatifs ont été observés entre le pré-test et le post-test indiquant que le protocole a été bénéfique, cependant ces progrès n'ont pas différés selon la condition d'apprentissage. Ces résultats semblent suggérer que c'est en réalité l'aspect ludique et engageant des tablettes tactiles qui pourraient être à l'origine du progrès des enfants dans cette tâche mais que l'ajout d'une exploration tactilo-kinesthésique ne semble pas avoir de plus-value. Les résultats de cette expérience ne prouvent pas réellement ce constat puisque d'un point de vue statistique, l'échec du rejet d'une hypothèse nulle ne valide pas pour autant l'hypothèse alternative cependant cette explication mérite d'être avancée puisqu'elle trouve un écho tout particulier dans les études chez les adultes précédemment décrites dans ce document.

En effet les résultats de cette étude chez les enfants semblent indiquer que l'ajout du tracé des lettres a permis de favoriser l'acquisition des formes visuelles des lettres ainsi que des mouvements permettant de les tracer en revanche aucun effet n'a été observé sur l'acquisition des correspondances entre les lettres, et leur son correspondant.

Perspectives

Le résultat décrit dans le paragraphe précédent semble similaire à celui qui se dessine lors de nos études chez les adultes, cependant cette intuition nécessite d'être vérifiée en élaborant des tâches permettant dissocier l'apprentissage des formes, des sons et des associations.

6.4 ÉTUDE 7 : MOTRICITÉ, VISUEL, AUDITIF, UN TRIO DE MODALITÉS AUX LIENS COMPLEXES.

6.4.1 Principe et objectifs de l'étude

Jusqu'ici, aucune de nos études chez les adultes n'ont validé nos hypothèses d'un effet bénéfique de la motricité sur l'apprentissage d'associations audio-visuelles. Pour autant, cette absence de bénéfice ne peut pas être considérée comme une absence de résultats puisque ces différentes études ont permis de petit à petit progresser dans notre compréhension des différents mécanismes impliqués. L'un des aspects intéressant soulevé lors de la discussion de l'étude 5 porte sur les liens étroits qui existent entre les 3 modalités en jeu lors de l'apprentissage d'associations audio-visuelles via une exploration motrice. Si le lien entre les modalités visuelle et auditive est totalement arbitraire, la motricité quant-à-elle possède un statut particulier. En effet, les gestes moteurs liés au tracé d'une forme visuelle sont de facto intrinsèquement liés à cette forme visuelle. En revanche, les modalités motrice et auditive semblent totalement étrangères l'une à l'autre ou du moins, il n'existe pas de lien semblable à celui qui existe entre les modalités visuelle et motrice. Par conséquent, il peut être difficile de concevoir que la motricité joue un rôle de pont entre la forme visuelle et la forme auditive puisqu'un pont entre un point A et un point

B, par définition, doit posséder des liens solides avec l'ensemble des deux extrémités.

Via la conception de nouvelles épreuves de test, l'étude 7 permet d'investiguer plus précisément ces différents liens entre les modalités. De plus, cette étude permet également de vérifier l'une des hypothèses qui avait été énoncée lors de la discussion de l'étude 5 à savoir l'importance de posséder une base de connaissance initiale sur laquelle la motricité pourrait avoir un rôle bénéfique.

Dans cette étude, afin de répondre à ces questions, la phase d'apprentissage a été séparée en deux étapes. La première étape, sans motricité quel que soit la condition, permet de créer des connaissances initiales. Dans la seconde étape, les associations sont apprises selon deux conditions d'apprentissage, une condition Motricité et une condition Contrôle. Les performances sont ensuite évaluées via quatre différentes épreuves qui permettent de tester de manière différente l'apprentissage de la modalité visuelle, de la modalité auditive et du lien entre ces deux modalités. Nous faisons l'hypothèse que la motricité ne permettrait pas de créer le lien entre les modalités visuelles et auditives des associations mais davantage de le renforcer. Ainsi, la présence de connaissances initiales permettrait l'émergence d'un effet bénéfique de la motricité. Cet effet bénéfique devrait se traduire par des meilleures performances dans les tâches mesurant l'apprentissage de l'association audio-visuelle et de la forme visuelle seule.

6.4.2 Méthode

Participants

Vingt-quatre étudiants de l'université Lumière Lyon 2 ont pris part à cette expérience (âge moyen : 23.4 ans, amplitude : 18-28 ans). Tous les participants étaient de langue maternelle française et n'avaient aucune connaissance préalable sur la langue coréenne.

Matériel

Les 24 formes et 24 pseudo-mots de l'étude 5 ont été ré-utilisés pour cette expérience. Le découpage en 5 étapes réalisé dans l'étude 5 a également été ré-utilisé.

De la même manière que dans les études précédentes, 4 listes ont été créées afin de



Figure 6.12. Schématisation du déroulé du dispositif expérimental pour un participant avec deux étapes d'apprentissage et 4 tâches de test.

correctement contrebalancer les stimuli et l'ordre des conditions d'apprentissage.

Les tablettes tactiles utilisées étaient des tablettes Samsung Galaxy Tab S2. Les phases d'apprentissage ainsi que le test immédiat ont été élaborés via le logiciel OpenSesame (Mathôt et al., 2012).

Procédure

La passation se déroulait en trois phases : une phase d'entraînement, une phase d'apprentissage et une phase test. Comme dans l'étude 5, le facteur Apprentissage (Motricité vs. Contrôle) était intra-sujets : chaque sujet apprenait 12 formes en condition Motricité et 12 autres formes en condition Contrôle. La procédure générale peut être visualisée via la figure 6.12.

Phase d'entraînement

Comme dans les expériences précédentes, la phase d'entraînement permettait d'expliquer la tâche aux sujets via des exemples.

Phase d'apprentissage

La phase d'apprentissage était séparée en deux étapes, une étape nommée « Base » dans le schéma 6.12 dans laquelle les participants effectuaient deux sessions d'apprentissage sans aucune motricité ni affichage dynamique. Lors de ces deux sessions, les associations formes-sons étaient simplement affichées à l'écran pendant 8000ms chacune, les participants avaient pour consigner de les mémoriser.

En revanche, lors de la seconde étape, une session d'apprentissage supplémentaire était effectuée (la troisième en tout). Cette session d'apprentissage était identique à celle effectuée lors de l'étude 5. Pour la moitié des associations, les sujets devaient tracer les formes visuelles (condition Motricité) tandis que pour l'autre moitié, les sujets devaient simplement regarder les formes apparaître progressivement (apparition morceau par morceau, cf.

étude 5). Dans ces deux conditions, les associations étaient présentées pendant 12000ms. Contrairement à l'étude 5, les associations étaient présentées en alternance par blocs de 4 associations de la même condition. La moitié des sujets commençaient par un bloc de 4 associations en condition Motricité tandis que l'autre moitié des sujets commençaient par un bloc de 4 associations en condition Contrôle.

Phase test

La phase test comportait quatre tâches : une tâche d'appariement, une tâche de rappel de formes, une tâche de rappel de sons et une tâche de rappel d'associations.

Appariement

La tâche d'appariement était quasiment identique à celle décrite dans l'étude 5 (cf. page 128). Les 24 formes et les 24 sons étaient présentés, les sujets devaient les appairer.

Rappel de formes

Dans cette tâche, le sujet devait rappeler le maximum de formes possible en les dessinant. Un bouton de validation était disponible pour valider une forme dessinée, de plus un autre bouton d'arrêt permettait au sujet de finir la tâche lorsqu'il n'avait plus aucune forme supplémentaire en tête. Dans cette tâche, la dimension auditive était totalement absente.

Rappel de sons

Cette tâche est l'inverse de la précédente, les sujets devaient écrire (de manière phonétique) le plus de sons possible correspondant aux sons qu'ils avaient précédemment appris. Un clavier virtuel et 24 cases étaient présentés à l'écran ainsi qu'un bouton de validation.

Rappel d'associations

Pour finir, le test nommé « Rappel d'associations » était en réalité identique à celui nommé « Test de dessin » dans l'étude 5. Les participants entendaient un pseudo-mot et avaient alors 20 secondes pour dessiner la forme correspondante. Contrairement aux deux tâches précédentes, et tout comme la tâche d'appariement, cette tâche permettait de tester la mémorisation du lien entre les formes et les sons.

6.4.3 Résultats

Traitement des données

Dans les tâches de rappel de formes et de rappel d'associations, afin de mesurer la performance des sujets, le replay des productions des participants a été coté en utilisant l'échelle suivante : 0 point pour une forme méconnaissable, 1 point pour une forme parfaitement reproduite et 0.5 point lorsque la forme était reconnaissable mais comportait des erreurs (e.g., mélange de plusieurs formes, oubli de traits). Dans la tâche de rappel de sons, 1 point était accordé pour chaque pseudo-mot (son) rappelé. Pour finir, 1 point était accordé pour chaque association correcte dans la tâche d'appariement.

Afin d'analyser ces résultats, des tests de Student pour échantillons appariés ont été effectués afin de comparer les deux modalités du facteur Apprentissage (Motricité vs. Contrôle). En cas d'effet significatif, le d de Cohen est calculé.

Analyses

Les tests de Student ont révélé qu'il n'y avait aucune différence significative entre les deux conditions concernant les tâches d'appariement, $t(23) = 1.20$, $p = .24$, de rappel de sons, $t(23) = -0.53$, $p = .60$, et de rappel d'associations, $t(23) = -0.90$, $p = .38$. En revanche, une différence significative est observée dans la tâche de rappel de formes, $t(23) = 4.10$, $p < .001$, $d = 1.04$. Cet effet révèle que les sujets ont rappelé spontanément plus de formes apprises en condition Motricité qu'en condition Contrôle.

6.4.4 Discussion

Rappel des objectifs

L'objectif de cette étude était double. Tout d'abord, elle visait à tester l'hypothèse selon laquelle la motricité pourrait être bénéfique dans l'apprentissage d'associations audio-visuelles uniquement lorsqu'une base de connaissance initiale est présente. Enfin elle permettait d'investiguer plus en détail le rôle bénéfique de la motricité en permettant la séparation de l'évaluation de l'apprentissage des formes, des sons et des associations formes-sons.

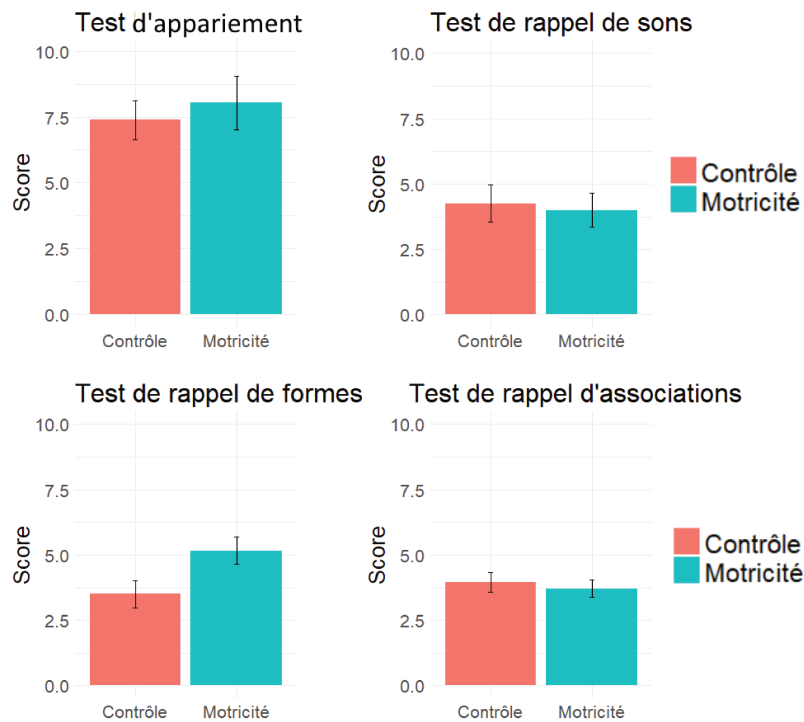


Figure 6.13. Performances des sujets dans les 4 tâches selon la condition d'apprentissage.

Synthèse des résultats

Dans cette étude, quatre tâches différentes permettaient d'évaluer l'apprentissage. Les tâches de rappel de sons et de rappel de formes permettait d'évaluer à quel point les sujets ont retenu respectivement les sons et les formes indépendamment du reste. Dans ces tâches, les sujets devaient rappeler le maximum de sons ou de formes sans se préoccuper de la seconde modalité qui lui était associée. De plus les tâches d'appariement et de rappel d'associations permettaient d'évaluer l'apprentissage des associations en elles-mêmes c'est à dire du lien entre les formes auditives et visuelles. Dans les tâches d'appariement, de rappel d'association et de rappel de sons, aucune différence significative n'a été observée entre les formes apprises en condition Motricité et en condition Contrôle. En revanche, dans le test de rappel de formes, les analyses indiquent que les sujets ont significativement mieux mémorisé les formes de la condition Motricité, c'est-à-dire celles qui ont été tracées.

Interprétations

L'hypothèse de la base initiale de connaissances

L'hypothèse selon laquelle la motricité serait bénéfique à l'intégration des associations visuo-auditives à condition que des connaissances de base existent initialement n'a pas été

vérifiée dans cette étude. Les associations n'ont pas été mieux retenues lorsqu'elles ont été tracées malgré la présence de deux sessions d'apprentissage dans laquelle les participants possédaient du temps pour mémoriser les associations via la technique de leur choix. Dans cette étude, aucune différence n'a été observée entre les deux conditions d'apprentissage sur l'apprentissage des associations indiquant que le fait de tracer les lettres n'apporterait pas spécialement de plus-value à l'apprentissage.

Tracé des lettres et rappel des formes

En revanche, un effet intéressant est ressorti : les formes qui ont été tracées (i.e., condition Motricité) ont été mieux mémorisées indépendamment des sons auxquels elles étaient associées. Ces résultats sont conformes aux hypothèses et confirment le lien particulier qui lie les formes visuelles des gestes moteurs qui permettent de les tracer. Ainsi, dans cette situation, le geste moteur consistant à tracer les lettres n'aurait pas eu comme conséquence de renforcer l'intégration entre la dimension visuelle et la dimension auditive de l'association, en revanche il aurait fortement renforcé la trace mnésique liée à la forme visuelle de telle façon que lors du test de rappel libre de formes, l'émergence de la forme visuelle a été facilitée. Cette facilitation s'explique par le lien particulier, notamment causal qui lie les modalités motrices et visuelles puisque le geste permet de produire la forme visuelle. En revanche, le lien entre la motricité et la forme auditive est beaucoup moins évident.

Vers une situation plus optimale ?

À partir de cette observation, comment pourrait-on concevoir une situation d'apprentissage d'associations audio-visuelles optimale ? L'une des clés semble être au niveau de la dimension auditive. Le lien entre cette modalité et les deux autres (i.e., les modalités motrices et visuelles) est très faible voir inexistant ce qui rend la mémorisation de l'association plus difficile. Ainsi la clé serait de réussir à davantage lier les modalités motrices et auditives afin que cette motricité puisse jouer de façon optimale ce rôle intégratif dont nous avons fait l'hypothèse tout au long de ce document. Pour ce faire, le procédé appelé « sonification » pourrait se révéler particulièrement intéressant.

LA SONIFICATION, UN PROCÉDÉ PERMETTANT DE FAVORISER L'INTÉGRATION

7.1 LE PRINCIPE DE LA SONIFICATION

La sonification de l'écriture manuscrite est un processus qui convertit les mouvements d'écriture en sons. Jusqu'à présent, cette technique a surtout été utilisée pour améliorer la perception, l'évaluation et le contrôle de l'écriture manuscrite (pour une revue, voir [Danna & Velay, 2017a](#)). En effet, en transformant les mouvements d'écriture en sons, certaines variables d'écriture cachées deviennent plus perceptibles. Par exemple, l'oreille humaine est plus efficace pour percevoir les variations temporelles que l'œil ([Fitch & Kramer, 1994](#)). Par conséquent, la transformation des mouvements d'écriture en sons fournit des informations plus précises sur la dynamique de ces mouvements. Ainsi, cette technique a été utilisée à des fins thérapeutiques ([Baur, Fürholzer, Marquardt, & Hermsdörfer, 2009](#) ; [Danna, Paz-Villagrán, & Velay, 2013](#)) ou éducatives ([Danna & Velay, 2017b](#) ; [Effenberg, Schmitz, Baumann, Rosenhahn, & Kroeger, 2015](#)). Dans leur étude, Effenberg et al.

(2015) ont comparé l'efficacité de 3 entraînements, un groupe avec sonification, un groupe sans son et un groupe témoin, sur l'apprentissage de l'écriture de nouveaux caractères en maternelle. Dans cette étude, la sonification consistait en une sonification spatiale des mouvements d'écriture : il s'agissait de faire correspondre la position horizontale du stylo à la composition spectrale (i.e., la brillance) du son, la position verticale à la fréquence sonore et sa pression à l'amplitude sonore (i.e., le volume). Les résultats indiquent que la sonification a permis d'acquérir la structure temporelle des mouvements à effectuer. Cette étude atteste donc que cette technique peut s'avérer pertinente pour favoriser l'apprentissage des éléments visuels, notamment en favorisant l'acquisition des mouvements d'écriture. Cependant, aucune recherche n'a testé cette technique sur la connaissance de la lettre (forme et son), c'est-à-dire la capacité à mémoriser l'association entre la forme visuelle et auditive de la lettre.

Or, nous faisons l'hypothèse que cette technique pourrait permettre de favoriser l'intégration dans l'apprentissage d'associations audio-visuelles. En effet, notre revue de littérature, ainsi que nos expérimentations nous ont amené à penser que l'effet bénéfique de la motricité pourrait en grande partie s'expliquer par le partage de caractéristiques communes entre la modalité motrice et les modalités visuelle et auditive ainsi que par l'aspect causal du mouvement (i.e., les mouvements créent la forme visuelle). Qu'en-est-il de la sonification ? La sonification du geste est une conversion des mouvements d'écriture en sons. De facto, elle est donc intrinsèquement liée à la modalité motrice. Par effet ricochet, elle est également particulièrement proche de la modalité visuelle puisque ses caractéristiques acoustiques reflètent les caractéristiques spatiales des mouvements qui permettent de créer la forme. Pour finir, la sonification est une modalité auditive, elle partage cette caractéristique avec le son de la lettre. En résumé, la sonification partage des caractéristiques avec l'ensemble des trois autres modalités. De plus, si la modalité motrice était très peu liée avec la modalité auditive (i.e., le son de la lettre), la sonification pourrait venir combler ce gap en aidant à créer un lien entre ces deux modalités via un partage plus prononcé de caractéristiques communes. La sonification semble d'un point de vue théorique particulièrement complémentaire au geste et devrait donc permettre de favoriser l'intégration multisensorielle des associations audio-visuelles. Par conséquent, dans l'optique de l'élaboration de situations d'apprentissage les plus optimales possibles, l'utilisation de cette technique pourrait s'avérer singulièrement pertinente.

7.2 ÉTUDE 8 : INFLUENCE DE LA SONIFICATION DANS L'APPRENTISSAGE D'ASSOCIATIONS AUDIO-VISUELLES CHEZ L'ADULTE

7.2.1 Principe et objectifs de l'étude

Si quelques études ont déjà testé la technique de sonification lors d'entraînements (Danna & Velay, 2017a), elles se sont uniquement intéressées au diagnostic du geste moteur, à l'amélioration du geste via des systèmes de feedback ou encore à l'apprentissage de nouvelles formes visuelles. Cependant, aucune étude ne s'est intéressée au bénéfice que peut apporter cette technique dans l'apprentissage de l'association entre une forme visuelle et une forme auditive via le mouvement et la sonification de ce mouvement.

Pourtant, comme établi dans la sous-partie précédente, la sonification pourrait se révéler être une technique particulièrement pertinente lors de l'élaboration d'une situation d'apprentissage, se voulant optimale, d'associations audio-visuelles. Parce-que la sonification partage des caractéristiques en commun à la fois avec la modalité visuelle, avec la modalité motrice et avec la modalité auditive, elle devrait théoriquement permettre de favoriser l'intégration lors de l'apprentissage d'associations audio-visuelles. Cet effet bénéfique serait dû essentiellement à ce partage de caractéristiques communes. Ainsi, la présence d'un son arbitraire, ne partageant pas de caractéristiques avec la forme visuelle et le geste ne devrait pas entraîner de bénéfice.

Pour tester ces hypothèses, les études 8 et 9 auront pour objectif de mettre en évidence un effet bénéfique chez des adultes (étude 8) et chez des enfants (étude 9) de la sonification dans l'apprentissage d'associations audio-visuelles pour les adultes, et des CGP pour les enfants. Dans l'étude 8, trois conditions seront comparées : un apprentissage d'associations audio-visuelles avec sonification du geste, un apprentissage sans aucun son et pour finir un apprentissage avec un son non relié au geste. Nous faisons l'hypothèse que seule la première condition permettra un apprentissage optimal des associations audio-visuelles.

7.2.2 Méthode

Participants

Trente étudiants de l'université Lumière Lyon 2 ont pris part à cette expérience (âge moyen : 24 ans). Tous les participants étaient de langue maternelle française et n'avaient aucune connaissance préalable sur la langue coréenne.

Matériel

Les 24 formes et 24 pseudo-mots de l'étude 5 ont été ré-utilisés pour cette expérience.

De plus, chacune des 24 formes, une sonification a été créée via le module python *pyo* (Bélanger, 2015) en s'inspirant de la méthode décrite par Effenberg et al. (2015). Pour ce faire, les formes ont dans un premier temps été découpées en suivant la même méthodologie que celle utilisée dans les études avec les enfants. Les coordonnées (x,y) des barycentres de chaque segment ont ensuite été déterminés puis ont été convertis en chiffres entre 0 et 1. Ainsi, le point en bas à gauche de la tablette possédait comme coordonnées (0,0) alors que le point situé en haut à droite possédait les coordonnées (1,1). A partir de ces coordonnées, la sonification a pu être créée via la fonction *LFO()* du module *pyo* en associant les x à la composition spectrale du son (brillance) et les y à la fréquence du son. Ainsi un mouvement de gauche à droite avait pour conséquence un son de plus en plus brillant (i.e., de plus en plus riche en harmoniques) alors qu'un mouvement de bas en haut avait pour conséquence un son de plus en plus aigu. En plus des 24 sonifications, 24 mélodies contrôles ont également été créées via ce module. Ces 24 mélodies étaient toutes différentes et consistaient en un simple enchaînement de notes aléatoires.

Trois listes ont été créées afin de correctement contrebalancer les stimuli et l'ordre des conditions d'apprentissage. Par exemple, l'association *aaz* était apprise en condition E dans la liste 1, en condition CS dans la liste 2 et en condition C dans la liste 3. Chaque participant était assigné à une liste en début d'expérience (10 participants par liste).

Les tablettes tactiles utilisées étaient des tablettes Samsung Galaxy Tab S2. L'ensemble des tâches ont été élaborées via le logiciel OpenSesame (Mathôt et al., 2012).

Procédure

La procédure générale se déroulait en deux phases, une phase d'apprentissage et une phase test.

Phase d'apprentissage

Le type d'apprentissage étant un facteur intra-sujet, tous les participants apprenaient donc 24 associations dont 8 en condition Expérimentale (E), 8 en condition Contrôle-Son (CS) et 8 en condition Contrôle (C). Les participants effectuaient au total deux sessions d'apprentissage, dans chaque session l'ensemble des 24 formes étaient présentées dans un ordre pseudo-aléatoire de telle façon que deux items de la même condition ne puissent pas être consécutifs.

La séquence d'évènements lors de la présentation d'une association est schématisée figure 7.1. D'abord, la forme s'affichait à gauche de l'écran et les sujets entendaient deux fois le pseudo-mot associé (e.g., /aaz/). Suite à cela, une démonstration dynamique du tracé de la forme était présentée sur la gauche de l'écran. Pendant cette présentation, la sonification (pour les associations E) ou la mélodie (pour les associations CS) était entendue. Pour les associations C, aucun son n'était émis lors du tracé. Le sujet devait ensuite tracer la forme sur la droite de l'écran en étant guidé par la forme grisée et en respectant le sens indiqué par le tracé dynamique. La sonification ou la mélodie était à nouveau émise lors du tracé du sujet : comme l'illustre le schéma de la figure 7.1, la séquence d'évènements différait selon la condition d'apprentissage (E, C ou CS) lors de la démonstration et lors du tracé de la lettre.

Dans cette étude, les participants traçaient donc les formes dans toutes les conditions expérimentales, seule la présence ou non d'une sonification différait.

Phase test

La phase test était constituée de trois tâches élaborées lors de l'étude 7 : le test de rappel de formes, le test de rappel de sons et le test de rappel d'associations. Ces trois tâches sont strictement identiques à celles présentées lors de l'étude précédente.

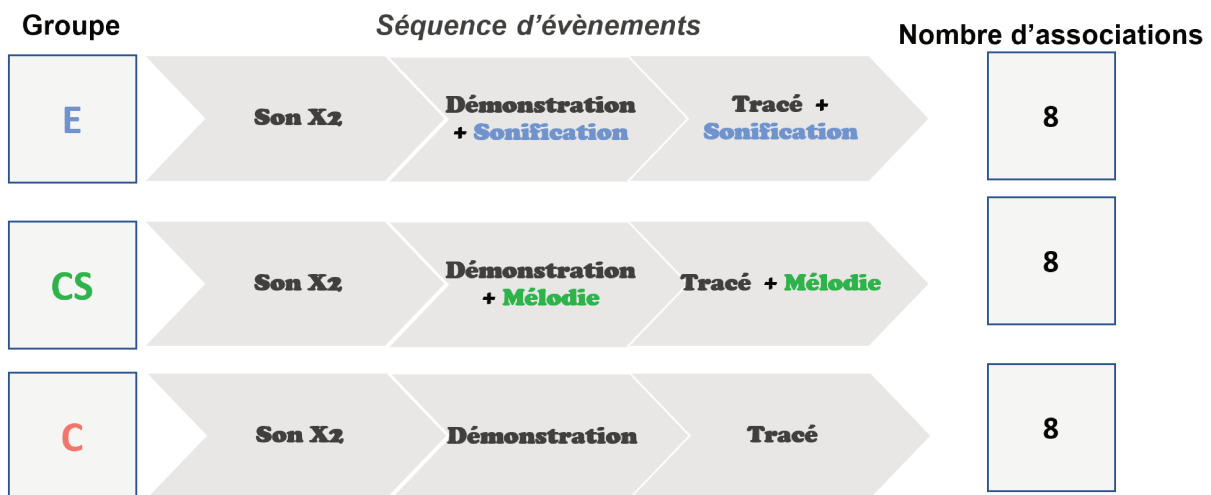


Figure 7.1. Schéma illustrant la séquence d'évènements en fonction du groupe lors de la présentation d'une association.

7.2.3 Résultats

Recueil et Traitement des données

Recueil des données

Dans les tâches de rappel de formes et de rappel d'associations, afin de mesurer la performance des sujets, le replay des productions des participants a été coté en utilisant l'échelle suivante : 0 point pour une forme méconnaissable, 1 point pour une forme parfaitement reproduite et 0.5 point lorsque la forme était reconnaissable mais comportait des erreurs (e.g., mélange de plusieurs formes, oubli de traits).

Dans la tâche de rappel de sons, 1 point était accordé pour chaque pseudo-mot (son) rappelé.

Traitement des données

Afin d'analyser ces résultats, une analyse de variance (ANOVA) à mesures répétées a été effectuée avec le facteur Condition à 3 modalités (Expérimental [E], Contrôle-Son [CS] et Contrôle [C]) comme facteur intra-sujet.

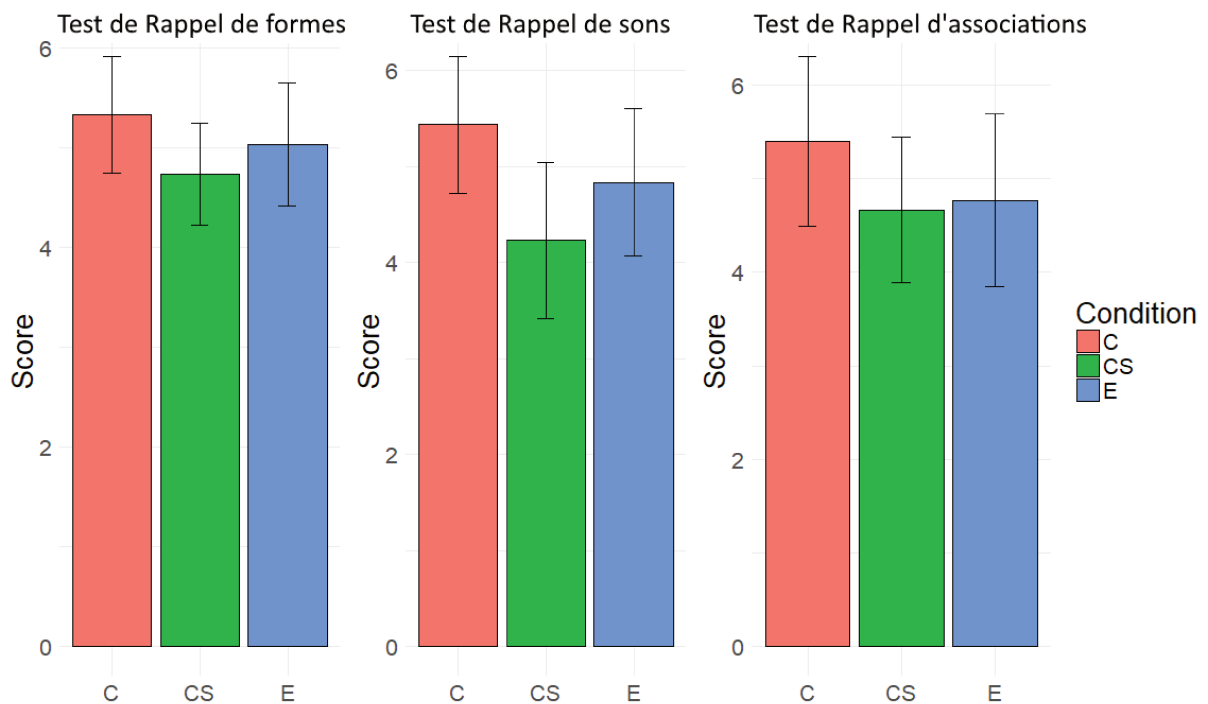


Figure 7.2. Performances des sujets dans les trois tests selon la condition d'apprentissage.

Analyses

Les performances des sujets dans les trois tâches et selon les trois conditions d'apprentissage sont illustrées dans la figure 7.2. Les ANOVAS n'ont révélé aucun effet significatif ni dans la tâche de rappel de formes, $F(2,58) = 0.49$, $p = .61$, ni dans la tâche de rappel de sons, $F(2,58) = 2.29$, $p = .11$, ni dans la tâche de rappel d'associations, $F(2,58) = 0.94$, $p < .40$.

7.2.4 Discussion

Rappel des objectifs

Cette étude avait pour objectif de mettre en évidence chez des adultes un effet bénéfique de l'ajout d'une sonification du mouvement lors de l'apprentissage d'associations audio-visuelles. Pour cela, trois conditions intra-sujets ont été comparées, un apprentissage avec sonification (E), un apprentissage contrôle sans aucun son (C) et pour finir un apprentissage avec un son non relié à la forme (CS). Ainsi, les trois conditions d'apprentissage comportaient un geste moteur, seul l'ajout ou non d'une sonification du geste différait.

Synthèse des résultats

Trois tâches permettaient d'évaluer les performances, une tâche de rappel de formes, une tâche de rappel de sons et une tâche de rappel d'associations. Cependant, les analyses sur ces trois tâches n'ont révélé aucune différence entre les conditions. Ni les formes seules, ni les sons seuls, ni les associations n'ont été particulièrement mieux mémorisés dans une condition que dans l'autre.

Interprétations

Dans cette étude, la sonification a été élaborée de telle sorte qu'elle partage des caractéristiques à la fois avec les modalités visuelles, motrices et auditives. Ainsi, elle pourrait permettre de créer du lien entre ces différentes modalités c'est à dire de renforcer l'intégration multisensorielle. Contrairement aux études précédentes, les différences en terme de ressources attentionnelles étaient relativement faibles dans cette étude. En effet, tous les participants effectuaient un geste moteur lors de la présentation des formes visuelles. La seule différence était la présence ou non d'un son accompagnant le geste.

Cependant, l'effet bénéfique attendu n'a pas été observé dans cette étude. Lors d'un entretien post-expérience avec les sujets, ceux-ci révèlent que le son les a souvent aidé à mémoriser le sens du tracé des formes mais que la complexité des formes et des sons rendaient la tâche difficile. Il se peut que le choix d'effectuer un protocole intra-sujets ne soit pas judicieux lors de cette étude comportant non pas deux mais trois conditions. Le fait de devoir mémoriser 24 formes, dont certaines étaient accompagnées d'une sonification, d'autres d'un son contrôle (i.e., suite de notes aléatoires) et d'autres d'aucun son, le tout en un laps de temps très court (expérience de 45mn environ) constitue une tâche probablement trop complexe.

Perspectives

En s'inspirant de cette situation d'apprentissage, il semble désormais pertinent de tenter d'élaborer une situation d'apprentissage auprès d'enfants pré-lecteurs. Cette étude permettrait de combiner l'ensemble des connaissances accumulées au fil des études afin de proposer une situation la plus optimale possible pour aider les enfants à acquérir le principe alphabétique.

7.3 ÉTUDE 9 : EFFET BÉNÉFIQUE DE LA SONIFICATION DANS L'APPRENTISSAGE DES CGP CHEZ LES ENFANTS DE 5 ANS

7.3.1 Principe et objectifs de l'étude

Plusieurs études ont démontré que la sonification pouvait s'avérer pertinente pour favoriser l'apprentissage des éléments visuels, notamment en favorisant l'acquisition des mouvements d'écriture. Cependant, aucune recherche n'a testé cette technique sur la connaissance de la lettre (forme et son), c'est-à-dire la capacité à mémoriser l'association entre la forme visuelle et auditive de la lettre. L'étude 9, dernière étude de ce document vise à proposer un entraînement impliquant une sonification en temps réel du mouvement de la lettre lors de l'écriture sur tablette, auprès d'enfants pré-lecteurs. Le protocole mis en place dans l'étude 8 a ainsi été adapté pour des enfants de 5 ans avec du matériel impliquant des CGP de la langue française. Contrairement à l'étude chez les adultes, cette étude est réalisée en inter-sujets via la comparaison de trois groupes d'entraînements : un groupe avec sonification des gestes d'écriture, un groupe dans lequel une mélodie non reliée aux gestes étaient ajoutée lors de l'écriture et un groupe contrôle sans aucun son. Nous nous attendons à ce que l'entraînement avec sonification puisse aider les enfants à mieux et plus rapidement maîtriser la forme et le son des lettres, ainsi que les compétences associées, par rapport aux deux groupes contrôle. En ce qui concerne le modèle Act-In, cet avantage pourrait s'expliquer par une meilleure intégration audio-visuelle. La sonification servirait de liant et renforcerait ainsi la mémorisation des différentes dimensions des lettres. Enfin, nous nous attendons à ce que les indices cinématiques recueillis au cours de l'écriture manuscrite changent après la formation en fonction des groupes, car la sonification devrait aider les enfants à mieux contrôler leurs mouvements d'écriture.

7.3.2 Méthode

Tableau 7.1. Mots de contexte issus de la base de donnée Lexique 3.8 (New et al., 2001) utilisés lors de l'apprentissage.

b	p	t	d	k	g	f	v
baleine	parent	tableau	dimanche	karaté	garage	famille	valise
biberon	petit	tigre	demain	kimono	gorille	ficelle	visage
bocal	pirate	toboggan	dinosaure	koala	gamin	forêt	voleur
bureau	police	tulipe	domino	képi	gagner	fumée	vélo

Participants

46 enfants (20 filles et 26 garçons) d'une moyenne d'âge de 5 ans et 9 mois (amplitude : 5;3 - 6;2 ans) ont participé à cette étude. Tous les enfants étaient scolarisés dans trois classes de grande section maternelle de Lyon. Tous les enfants étaient de langue maternelle française et n'avaient pas encore reçu d'instruction spécifique de la lecture. Pour chaque classe, les enfants ont été appariés dans trois groupes d'entraînement : 15 enfants dans le groupe expérimental (E), 16 enfants dans le groupe contrôle (C), et 15 enfants dans le groupe contrôle son (CS). Ces appariements ont été réalisés en fonction de leurs performances aux pré-tests et dans l'épreuve d'intelligence non verbale. Une ANOVA, avec le facteur Groupe à 3 modalités (E, CS et C) a été réalisée sur l'ensemble des pré-tests afin de vérifier qu'aucune différence significative n'existait au sein des groupes avant l'entraînement, $F_s < 1$.

Matériel

Le matériel était composé des 8 mêmes lettres utilisées lors des études précédentes (voir page 70) ainsi que de 8 autres consonnes (s, z, m, n, l, r, j, c). Les 8 lettres cibles (lettres entraînées, LE) étaient celles utilisées lors des études précédentes tandis que les 8 nouvelles lettres étaient des lettres distractrices (lettres non-entraînées, LNE). Dans les études précédentes, les lettres étaient placées en contexte de syllabes qui étaient systématiquement composées d'une consonne et de la voyelle a. Dans cette étude, toutes les voyelles, sauf le y, ont été utilisées. De plus, pour chaque syllabe, quatre mots de contexte ont été choisis à partir de la base de données Lexique 3.8 (New et al., 2001). Ces mots, présentés tableau 7.1 ont été choisis en fonction de leur nature (i.e., noms communs, adjectifs qualificatifs, verbes à l'infinitif ou adverbes) et de leur fréquence lexicale (i.e., mots les plus fréquents possibles). Les syllabes cibles, les mots de contexte ainsi que les consignes ont été transformées en son via le logiciel Acapela Box (Acapela Groupe, 2010).

Pour chacune des 8 lettres cibles, une sonification a été créée via le module python *pyo* (Bélanger, 2015) en utilisant le même procédé que celui décrit dans l'étude 8. Ces sonifications avaient la particularité de respecter le nombre de traits des lettres. En effet, lorsqu'une lettre devait être tracée en plusieurs fois (e.g., le t), une pause de 500ms était effectuée entre chaque trait.

De plus, 8 mélodies contrôle ont également été créées et assignées à chacune des 8 lettres.

Deux exemples de sonification (i.e., un exemple expérimental et un exemple contrôle), sous format vidéo ainsi que le script programmé en langage Python permettant de créer ces sonifications et le script d'entraînement OpenSesame sont disponibles en libre accès sur OpenScienceFramework (Boisson, 2018). Ces scripts sont libres de droit et peuvent être copiés, réutilisés ou adaptés.

Procédure

Pré-tests et Post-tests

Test d'intelligence non verbale

L'épreuve de complétion de formes, issue de la BREV (Billard et al., 2002), est une tâche qui s'inspire des matrices de Raven et qui consiste à retrouver, parmi des intrus, la forme la plus adaptée pour compléter la figure.

Tâche de reconnaissance des phonèmes (score /32)

Dans cette tâche, l'enfant entend le nom d'un personnage fictif énoncé par l'expérimentateur (e.g., « pazi »), il doit ensuite montrer sur une planche contenant 8 lettres, la ou les lettres dont « il a entendu le son ». L'expérimentateur énonce 16 items, chacun de ces items contient 2 consonnes cibles. Chaque item possède une planche spécifique contenant les deux consonnes cibles ainsi que six autres consonnes qui servent de distracteurs.

Tâche de décodage de pseudo-mots (score /32)

Cette tâche était identique à celle utilisée dans les études précédentes mais a été adaptée afin d'introduire les 8 lettres distractrices. Au total, 16 pseudo-mots bisyllabiques étaient utilisés. Les 16 lettres (i.e., les 8 lettres cibles et 8 lettres distractrices) étaient donc

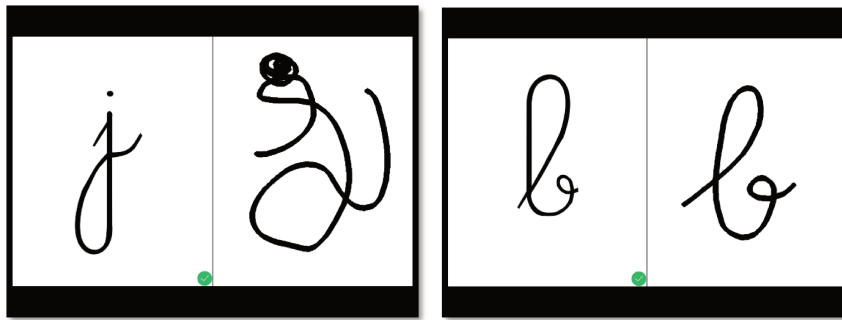


Figure 7.3. Illustration de la tâche de copie de lettres.

utilisées deux fois chacune.

Tâche de dictée de pseudo-mots (score /24)

La tâche de dictée de pseudo-mots est une adaptation de la tâche utilisée dans l'étude de Biot-Chevrier et al. (2008). Le matériel de cette tâche a été adapté afin d'utiliser uniquement les 16 consonnes de notre étude. Dans cette tâche, il était demandé aux enfants d'écrire le nom des personnages qui étaient énoncés oralement (e.g., « juba »).

Tâche de reconnaissance des lettres (Temps de réaction)

Des lettres (les 8 lettres entraînées) ou des symboles (/8) issus de la BACS (Vidal, Content, & Chetail, 2017) étaient présentés sur une tablette et les enfants devaient décider le plus rapidement possible si la forme présentée à l'écran était une lettre ou non. Pour répondre, l'enfant devait toucher un cercle vert (pour la réponse oui) ou un cercle rouge sur l'écran de la tablette. Les réponses correctes (max = 16) et les temps de réaction pour des réponses correctes ont été recueillis.

Tâche de copie de lettres

La tâche de copie de lettres, illustrée dans la figure 7.3 était similaire à celle utilisée lors de l'étude 6. Les 16 lettres de l'étude étaient copiées sur tablette tactile deux fois chacune, dans un ordre aléatoire.

Entraînements

Les entraînements se déroulaient sur cinq jours : quatre jours pour apprendre huit lettres (deux lettres par jour) et une journée de révision. Les enfants avaient un casque audio et devaient utiliser leur index sur la tablette. Lors de chaque session, les deux lettres

7.3. ÉTUDE 9 : EFFET BÉNÉFIQUE DE LA SONIFICATION DANS L'APPRENTISSAGE DES CGP CHEZ LES ENFANTS DE 5 ANS

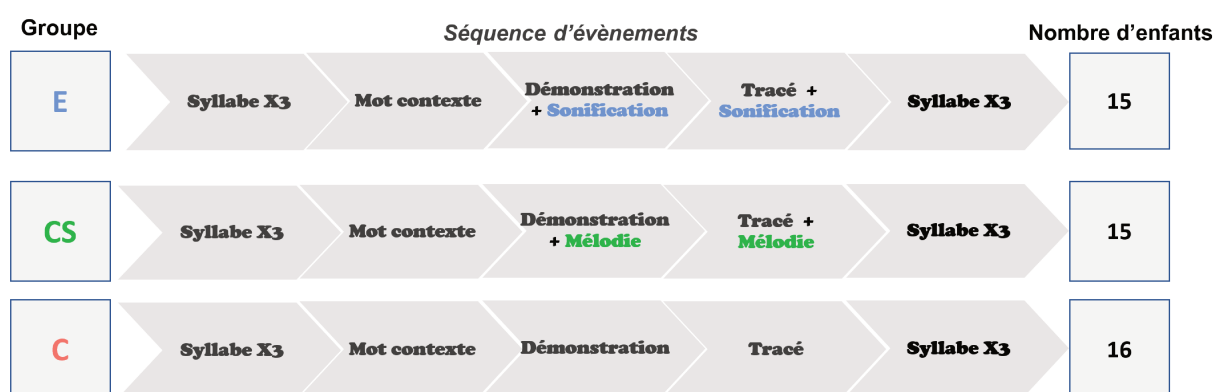


Figure 7.4. Schéma illustrant la séquence d'évènements en fonction du groupe lors de la présentation d'une lettre durant les entraînements.

cibles était présentées 12 fois chacune dans un ordre aléatoire. La séquence d'évènements lors de la présentation d'une lettre est schématisée figure 7.4. D'abord, les enfants entendaient trois fois la syllabe avec la consonne cible (e.g., /pa/), puis un mot qui commençait par la syllabe cible (e.g., parent). Suite à cela, une démonstration dynamique du tracé de la lettre cible était présentée sur la gauche de l'écran, l'enfant devait ensuite tracer la lettre sur la droite de l'écran. Pour finir, la syllabe était à nouveau énoncée trois fois. Comme l'illustre le schéma de la figure 7.4, les entraînements différaient selon les groupes (E, C ou CS) lors de la démonstration et lors du tracé de la lettre, la sonification ou la mélodie contrôle était alors jouée tandis qu'aucun son n'était émis dans la situation contrôle.

7.3.3 Résultats

Recueil et Traitement des données

Recueil des données

Dans cette étude, trois facteurs étaient manipulés : le Temps (Pré-test vs. Post-Test), le Groupe (E, CS et C) et le type de lettres (Lettres Entraînées, LE vs. Lettres Non-Entraînées, LNE).

Différentes mesures ont été collectées selon les tâches. Dans les tâches de reconnaissance de phonèmes, de décodage de pseudo-mots et de dictée de pseudo-mots un score était calculé en fonction du nombre de phonèmes reconnus, du nombre de PM décodés ou écrits. Dans la tâche de reconnaissance de lettres, les temps de réaction (ms) étaient

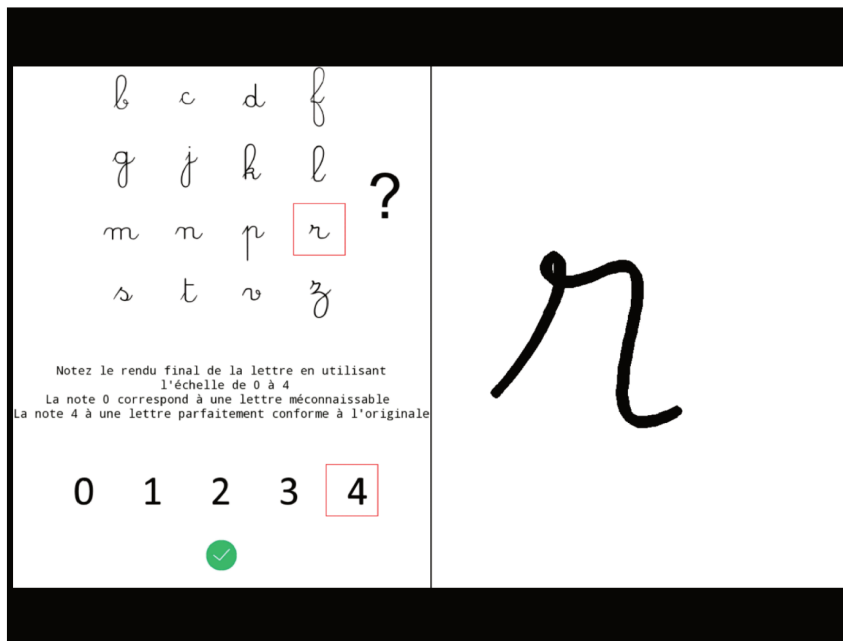


Figure 7.5. Ecran de notation utilisé pour évaluer le rendu final des lettres tracées par les enfants.

analysés. Les TR inférieurs à 300ms ou supérieurs à 8000ms ont été supprimés. De plus, pour chaque sujet, les TR à ± 3 écarts-types ont été retirés.

Pour finir, deux types de mesures étaient collectées dans la tâche de copie de lettres : des mesures qualitatives et des mesures quantitatives.

Mesures qualitatives

Deux mesures qualitatives différentes ont été analysées : le rendu et le ductus. Le rendu consistait à évaluer le rendu final de la lettre en utilisant une échelle de 0 à 4 : la note 0 correspondant à une lettre méconnaissable et la note 4 à une lettre parfaitement conforme à l'originale. Un exemple de l'écran lors de la notation est présenté figure 7.5. Le ductus consistait à évaluer la qualité du tracé de la lettre sur une échelle de 0 à 4, par rapport au tracé conventionnel : la note 0 correspondant à une lettre méconnaissable et la note 4 à une lettre dont le tracé est conforme à la lettre attendue sans aucune reprise visible de trait.

Mesures quantitatives

Les sept mêmes mesures collectées dans l'étude 6 ont été analysées, soit :

- la **longueur totale** du tracé (en px)

- la **durée totale** du tracé (en millisecondes)
- la **vitesse moyenne** (en px/ms),
- le **nombre de traits** qui constituent la lettre,
- le **temps de crayon en l'air** qui correspond au temps total (en ms) durant lequel le doigt n'est plus en contact avec la tablette
- le **nombre de moments statiques**, qui correspond au nombre de périodes durant lesquelles la distance parcourue par le doigt est nulle
- le **durée totale des moments statiques**, qui correspond au temps (en ms) durant lesquelles la distance parcourue par le doigt est nulle

Traitement des données

Pour l'ensemble des 5 tâches, des ANOVAs ont été effectuées avec le facteur Groupe à 3 modalités (i.e., Expérimental, Contrôle-Son et Contrôle) en tant que facteur inter-sujets et les facteurs Temps (i.e., Pré-Test et Post-Test) et Type de lettre (i.e., LE et LNE) en tant que facteur intra-sujets. Lorsque nécessaire, des tests post-hoc de Student ont été réalisés afin d'approfondir les résultats des ANOVAs.

Analyses

Les performances des enfants dans les trois premières tâches sont illustrées figure 7.6.

Tâche de reconnaissance des phonèmes (score /32)

Dans la tâche de reconnaissance de phonèmes, L'ANOVA a mis en évidence un effet significatif du facteur Temps, $F(1,43) = 9.76$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.02$, qui indique que les enfants ont obtenu de meilleures performances au post-test qu'au pré-test. Aucune différence significative n'a été mise en évidence concernant les autres effets, $ps > .10$.

Tâche de décodage de pseudo-mots (score /32)

Dans la tâche de décodage de pseudo-mots, l'ANOVA a mis en évidence un effet significatif du facteur Temps, $F(1,43) = 15.04$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.06$. Les scores sont donc significativement meilleurs au post-test qu'au pré-test. Il existe également un effet du type de lettres, $F(1,43) = 12.67$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.05$, en faveur des lettres entraînées. Enfin, il existe un effet d'interaction Groupe*Temps, $F(2,43) = 6.40$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.05$. Cet effet indique que la progression entre pré-test et post-test diffère significativement

selon le Groupe. Afin de l'analyser, des analyses post-hoc ont été effectuées : le test de Student indique que la progression moyenne des enfants du groupe E ($M = +7.07$) entre le pré-test et le post-test est significativement supérieure à celle des enfants des groupes C ($M = +2.5$) et CS ($M = -0.06$), $ps < .05$. L'analyse de variance n'a révélé aucun autre effet significatif, $ps > .10$.

Tâche de dictée de pseudo-mots (score /24)

L'ANOVA a mis en évidence un effet du facteur Temps, $F(1,43) = 31.68$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.05$. En particulier, les scores sont supérieurs au post-test qu'au pré-test. Il existe également un effet d'interaction Groupe*Temps, $F(2,43) = 6.71$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.02$. La progression entre pré-test et post-test diffère donc significativement selon le Groupe. De la même manière que dans la tâche 2, des analyses post-hoc ont été effectuées. Ces analyses indiquent que la progression moyenne des enfants du groupe E ($M = +5.60$) entre pré-test et post-test est significativement supérieure à celle des enfants des groupes C ($M = +2.06$) et CS ($M = +1.14$), $ps < .05$. L'analyse de variance n'a révélé aucun autre effet significatif, $ps > .10$.

Tâche de reconnaissance des lettres (Temps de réaction)

Les performances des enfants dans la tâche de reconnaissance de lettres sont illustrées figure 7.7. Le pattern de résultats semble aller dans le sens attendu cependant la variabilité des temps de réaction était très importante et les tests ANOVAs ne révèlent aucun effet significatif, $ps > .10$.

Tâche de copie de lettres

Deux mesures différentes ont été analysées pour cette tâche : le rendu et le ductus.

En ce qui concerne le rendu final, la figure 7.8 présente les résultats obtenus. L'analyse de variance révèle un effet significatif du facteur Temps, $F(1,43) = 5.22$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.01$, indiquant des performances des enfants globalement supérieures au post-test qu'au pré-test. L'ANOVA révèle également un effet significatif du facteur Condition, $F(1,43) = 16.15$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.01$, les lettres entraînées obtenant des scores plus élevés que les lettres non-entraînées. L'analyse de variance n'a révélé aucun autre effet significatif, $ps > .10$.

7.3. ÉTUDE 9 : EFFET BÉNÉFIQUE DE LA SONIFICATION DANS L'APPRENTISSAGE DES CGP CHEZ LES ENFANTS DE 5 ANS

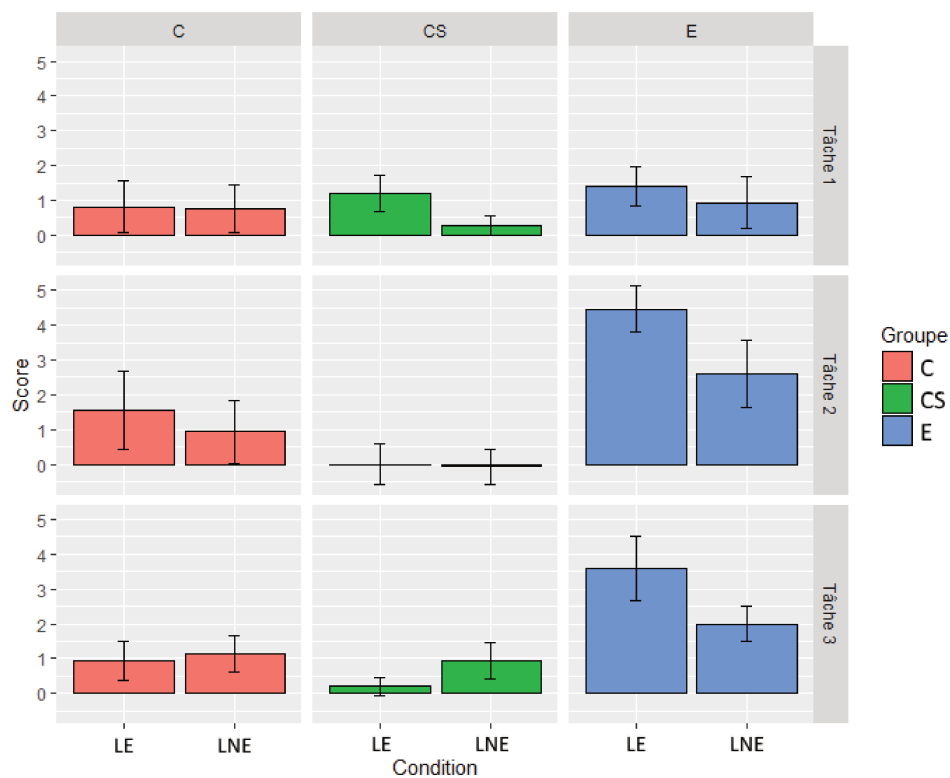


Figure 7.6. Moyennes et erreurs standards de la progression obtenue entre le pré-test et le post-test en fonction des groupes et du type de lettres (i.e., Lettres Entraînées, LE vs. Lettres Non-Entraînées, LNE) pour les tâches 1 (Reconnaissance de phonèmes), 2 (Décodage de PM) et 3 (Dictée de PM).

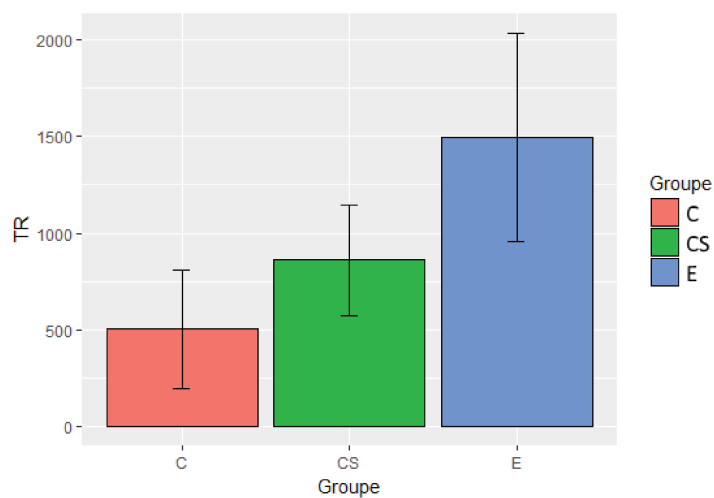


Figure 7.7. Gain moyen de temps de réaction entre le pré- et le post-test au test 4 de reconnaissance des lettres pour les trois groupes.

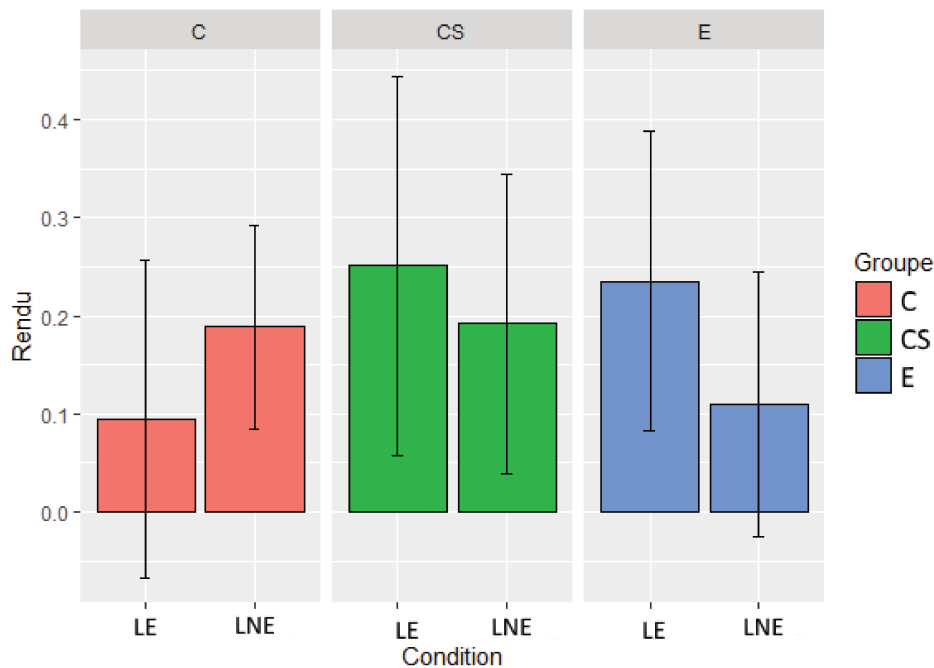


Figure 7.8. Moyennes et erreurs standards de la progression obtenue entre le pré- et le post-test aux mesures du rendu final des lettres en fonction des groupes et du type de lettres (i.e., Lettres Entraînées / Non Entraînées) pour la tâche de copie de lettres.

Concernant le ductus, les résultats obtenus sont présentés dans la figure 7.9. L'analyse de variance révèle un effet significatif du facteur Temps, $F(1,43) = 6.21$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.01$, indiquant des performances des enfants globalement supérieures au post-test qu'au pré-test. De plus, l'ANOVA révèle un effet significatif des interactions Groupe*Temps, $F(2,43) = 3.73$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.01$, et Temps*Condition, $F(2,43) = 15.60$, $p < .01$, $\eta^2 = 0.01$. Ces deux effets d'interactions sont modérés par un effet d'interaction double Groupe*Temps*Condition significatif, $F(2,43) = 5.60$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.01$. Afin de correctement interpréter ce résultat, des analyses post-hoc ont été conduites. Ces analyses révèlent que la progression entre pré-test et post-test des enfants du groupe E ($M = +0.10$) ne diffère pas significativement de celle des enfants des groupes C ($M = -0.08$) et CS ($M = +0.03$) concernant les LNE, $t < 1$. En revanche, les enfants du groupe E ont significativement plus progressé ($M = +0.68$) que les enfants des groupes C ($M = +0.14$) et CS ($M = +0.04$) concernant les LE, $p < .01$.

7.3.4 Discussion

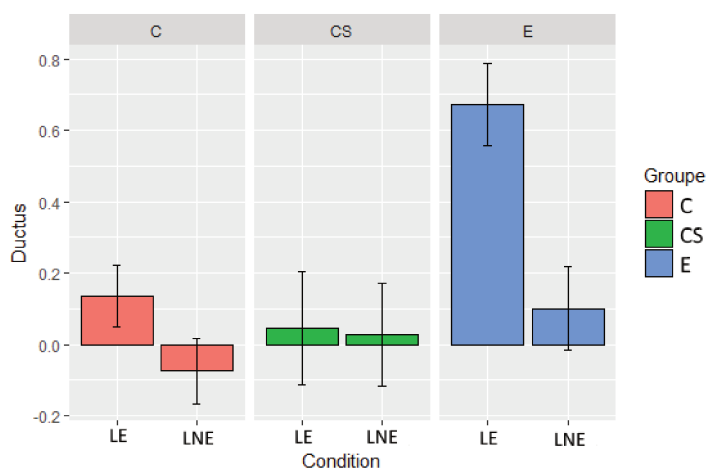


Figure 7.9. Moyennes et erreurs standards de la progression obtenue entre le pré- et le post-test aux mesures du ductus du tracé des lettres en fonction des groupes et du type de lettres (i.e., Lettres Entraînées / Non Entraînées) pour la tâche de copie de lettres.

Rappel des objectifs

Le but de cette étude était de tester un entraînement aux CGP incluant une sonification en temps réel des mouvements d'écriture. Trois groupes ont été constitués dans lesquels les enfants ont été répartis au hasard. Le groupe expérimental E avec sonification du mouvement, le groupe CS avec l'ajout d'un son sans aucun lien et le groupe C sans aucun son ajouté. Notre hypothèse était que l'entraînement avec sonification serait la meilleure condition et favoriserait les habiletés en lecture et en écriture.

Synthèse et interprétation des résultats

Dans les tâches de reconnaissance de phonèmes et reconnaissance visuelle des lettres, aucune différence significative n'a été observée entre les groupes. Cependant, l'observation des données descriptives concernant la tâche de reconnaissance de phonèmes et les TR de la tâche de reconnaissance visuelle des lettres montrent que les tendances sont conformes aux hypothèses (i.e., la supériorité du groupe E). L'absence de signification pourrait être due à une sensibilité trop faible des tâches. Les écarts-types révèlent une variabilité élevée qui contribue à ne pas atteindre les seuils de significativité. La tâche de reconnaissance visuelle des lettres pourrait être grandement améliorée en doublant, voire en triplant, le nombre de répétitions des items. En effet, les mesures du temps de réaction chez les jeunes enfants sont généralement associées à une grande variabilité et nécessitent donc de nombreuses répétitions. En ce qui concerne les tâches de décodage et de dictée de

pseudo-mots, le même pattern de résultats a été observé : les enfants du groupe E se sont davantage améliorés que les deux autres groupes et ce, quel que soit le type de lettres (i.e., entraînées ou non-entraînées). Ces résultats confirment nos hypothèses et attestent que ce type d'entraînement est particulièrement pertinent pour aider les enfants à comprendre et maîtriser le principe alphabétique. En aidant efficacement à mémoriser les associations grapho-phonémiques, cet entraînement a permis aux enfants de s'améliorer considérablement en tâches de lecture et d'écriture. Il peut d'ailleurs être noté que ces deux tâches sont étroitement liées : en effet, dans la tâche de décodage, seule la forme visuelle des lettres est présentée à l'enfant qui doit ensuite récupérer la forme auditive alors que dans la tâche de dictée de pseudo-mots, le processus est inversé puisque l'enfant doit écrire selon ce qu'il entend. Vu sous cet angle, il semble alors compréhensible qu'un entraînement ciblant spécifiquement la mémorisation des CGP puisse être efficace. De plus, dans ces deux tâches, une amélioration par rapport aux lettres non-entraînées a été observée, ce qui suggère un transfert indirect des connaissances. Ce résultat réplique les données obtenues par Labat et al. (2015) qui ont également observé des améliorations sur les lettres non-entraînées après un entraînement multisensoriel. Les auteurs interprètent ces résultats comme le résultat d'un transfert dû au partage de caractéristiques importantes entre les lettres entraînées et non-entraînées.

Dans la tâche de copie de lettres, deux indicateurs ont été analysés, la qualité du rendu final de la lettre et la qualité du ductus. Aucune différence entre les groupes n'a été observée en ce qui concerne la qualité finale de la lettre, mais les analyses de la qualité du ductus ont montré une progression plus forte du groupe E uniquement pour les lettres entraînées. Ces résultats sont en accord avec l'étude d'Effenberg et al. (2015) dans laquelle deux mesures ont été utilisées : une première mesure, via l'algorithme DTW (Dynamic Time Warp), axée principalement sur les aspects temporels des mouvements et une seconde mesure, via l'algorithme SM (Shape Matching), axée sur les aspects spatiaux. Les résultats ont montré un effet bénéfique de la sonification uniquement sur la première mesure, ce qui suggère que la sonification serait particulièrement bénéfique pour l'acquisition de la structure temporelle des mouvements écrits. L'oreille est connue pour être très efficace dans la perception des variations temporelles (Fitch & Kramer, 1994). La sonification permettrait alors de fournir des informations plus précises et plus perceptibles sur la structure temporelle de l'écriture de la lettre (i.e., son ductus). En effet, la sonification peut



Figure 7.10. Ductus de la lettre g.

aider les enfants à percevoir correctement la séquence des traits qui composent la lettre, surtout lorsque cette lettre possède plus d'un trait. Par exemple, la lettre g se compose de 3 lignes comme le montre la figure 7.10. La sonification associée à cette lettre comportait donc 2 pauses correspondantes de 500 ms chacune. Ces caractéristiques temporelles de la sonification pourraient donc grandement faciliter l'acquisition de l'ordre et de la séquence des traits formant la lettre : en d'autres termes, le processus séquentiel d'écriture des lettres serait renforcé par la présence de ruptures.

Enfin, les analyses des mesures cinématiques ont mis en évidence deux effets significatifs du groupe. L'analyse de la durée totale du tracé montre que les enfants du groupe C ont le plus réduit leur temps d'écriture, suivis du groupe CS puis du groupe E. Une tendance très similaire est observée en ce qui concerne la mesure du temps de crayon en l'air. Étonnamment, bien qu'ils aient fait plus de progrès que les autres groupes d'un point de vue qualitatif (i.e., ductus des lettres), les enfants du groupe E ne semblent pas avoir gagné en termes de temps d'écriture. Cependant, ces résultats ne sont pas contradictoires ; le fait que ces deux mesures soient des mesures temporelles ne semble pas fortuit. Comme la sonification semble jouer un rôle important dans l'acquisition de la structure temporelle de la lettre, ce gain d'acquisition peut également avoir un impact sur l'écriture manuscrite et les temps de pause. En effet, la sonification incitant les enfants à lever le doigt au bon moment, à accélérer ou à réduire le rythme pendant certaines phases de l'écriture manuscrite, cette information temporelle peut amener les enfants à respecter ces timings, même lorsque la forme de la lettre est bien maîtrisée. La sonification apporte des contraintes de temps, mais ces contraintes contribuent au renforcement de l'apprentissage. Ainsi, la sonification renforce la connaissance de la forme, oblige l'enfant à suivre la séquence temporelle et, en fin de compte, favorise le développement des habiletés de littératie précoce.

Conclusions

Les résultats de cette étude ont montré une efficacité globale de l'apprentissage multisensoriel et une supériorité de l'apprentissage comprenant une sonification de la lettre par rapport aux deux autres conditions. L'acquisition de l'écriture résulte de l'interaction entre des processus périphériques (sélection et activation des programmes moteurs) et des processus centraux (sélection et activation des représentations orthographiques) (Kandel & Perret, 2015). L'originalité de cette étude est de montrer qu'en plus de favoriser les processus périphériques (Danna & Velay, 2017b), cette technique pourrait être bénéfique dans l'acquisition des correspondances grapho-phonémiques. La sonification joue alors un rôle de média, permettant de faire le lien entre la forme visuelle et auditive de la lettre et favorisant ainsi l'intégration de ces différentes représentations dans une représentation unifiée. Cette sonification semble particulièrement efficace pour les lettres composées de plusieurs traits : la présence de pauses permet rythmer le tracé et favorise ensuite la mémorisation de la séquence de mouvements à exécuter pour tracer la lettre. Cette particularité pourrait faire l'objet de recherches complémentaires afin d'améliorer cette technique et d'en tirer des situations d'apprentissage optimales.

Discussion générale

DISCUSSION GÉNÉRALE

8.1 SYNTHÈSE DE L'ENSEMBLE DES RÉSULTATS

Au total, 11 études ont été réalisées et décrites dans ce document. Parmi ces 11 études, 4 d'entre-elles ont été effectuées auprès d'enfants ou d'adolescents pré-lecteurs et 7 ont été réalisées sur une population adulte. L'ensemble de ces études avaient pour objectif commun l'élaboration d'une situation d'apprentissage et l'obtention d'un effet bénéfique de la motricité. Le fil rouge commun à toutes ces études était la quête d'une compréhension toujours plus pointue du rôle de la motricité dans de tels apprentissage ainsi que la tentative d'élaboration d'une situation d'apprentissage la plus optimale possible.

Chez les enfants, les études 1 et 2 ont permis de tester, auprès d'enfants typiques et atteints d'une déficience intellectuelle, l'effet bénéfique d'une exploration motrice sur l'apprentissage des CGP via un dispositif sur ordinateur. Les enfants répartis en deux groupes devaient suivre avec le doigt sur l'écran (non tactile) un curseur qui parcourait la lettre tandis que le son de la lettre était simultanément présenté. Dans l'étude 6, ce dispositif a été transféré sur tablette tactile afin que les enfants puissent réellement produire les lettres grâce à leur mouvement en les traçant avec le doigt. Cette étude a mis

en lumière des effets bénéfiques du tracé des lettres sur tablettes tactiles sur l'écriture. Pour finir, l'étude 9 a permis de mettre en avant l'effet bénéfique de l'ajout d'une sonification du mouvement afin d'aider les enfants dans leurs habiletés en lecture et en écriture.

Chez les adultes, l'étude 3a était une tentative d'élaboration d'une situation analogue à celle de l'étude 1 chez les enfants. Cependant, l'étude 3b a pu montrer que la motricité dans cette étude 3a était mal opérationnalisée et que la co-localisation du geste et de la forme visuelle était une condition essentielle à l'intégration. Ainsi les études 4a et 4b visaient à améliorer ce paradigme afin d'obtenir une situation plus écologique et plus à même de faire ressortir un effet bénéfique de la motricité. Cependant un tel effet n'a pas été obtenu. Les études 5 et 7, sur tablette tactile ont permis de mettre en lumière le lien étroit existant entre la motricité et la forme visuelle des lettres. Bien que la motricité ne semble pas avoir été bénéfique dans l'apprentissage des associations, elle l'a été dans l'apprentissage des formes seules. En réalité, un pattern de résultats semblable a été obtenu chez les enfants lors de l'étude 6. Pour finir, l'étude 8 a permis d'élaborer une situation d'apprentissage avec sonification du geste moteur.

8.2 DES MÉCANISMES DIFFÉRENTS CHEZ LES ADULTES ET LES ENFANTS ?

Alors que les études auprès d'une population d'enfants ont globalement validé les hypothèses en soulignant un effet bénéfique de la motricité dans l'apprentissage des CGP et dans l'acquisition du principe alphabétique, les études chez les adultes n'ont pas révélé d'effet facilitateur de la motricité. Au contraire, certaines études ont même obtenu un effet interférent (e.g., étude 5). Pourtant, dans la littérature, des études utilisant un alphabet artificiel auprès d'adultes obtiennent des résultats similaires à ceux obtenus chez les enfants (e.g., Longcamp et al., 2005, 2006). Les différences obtenues traduisent-elles des mécanismes sous-jacents différents chez les adultes et chez les enfants ? La motricité pourrait-elle favoriser l'intégration uniquement lors d'une phase développementale ? Sans pour autant considérer que les mécanismes d'apprentissage sont parfaitement identiques chez les deux populations, nous pensons que les différences observées lors des présentes



Figure 8.1. La forme bieup utilisée lors de l'étude 3a.

études sont en réalité majoritairement dû à des différences dans les paradigmes. Deux pistes majoritaires d'explications peuvent notamment être avancées : la piste des biais attentionnels et motivationnels ainsi que la piste de l'intensité des apprentissages.

8.2.1 Des biais attentionnels et motivationnels

La plupart des études sur l'intégration multisensorielle insistent sur l'importance des effets attentionnels (Treisman & Gelade, 1980 ; Allen et al., 2006 ; Baddeley et al., 2011). Or, des biais attentionnels ont plusieurs fois été évoqués au cours de ce document concernant les études chez les adultes. Cependant ils auraient également pu être mentionnés dans les études chez les enfants. En effet lors de la comparaison de deux situations d'apprentissage, l'une avec motricité et l'autre sans motricité, les ressources attentionnelles que demandent les deux conditions sont inégales. Cependant cette inégalité a un effet qui nous semble être différentiel selon la population.

Chez les adultes, la situation contrôle est privilégiée : en l'absence d'une obligation de tracer les lettres, les adultes peuvent plus librement se concentrer sur la mémorisation des associations en tentant par exemple de créer des moyens mnémotechniques. Par exemple, pour mémoriser la forme « bieup » utilisée lors de l'étude 3a (voir figure 8.1), certains sujets ont remarqué que cette forme ressemblait à un verre à moitié rempli. De plus, le pseudo-mot « bieup » ressemble au mot « bière », cette association d'idée leur a permis de facilement mémoriser l'association. En condition VAM, ce type de stratégie ne pouvait pas être mise en place puisque les sujets étaient cognitivement occupés à tracer les lettres. En revanche les enfants n'adoptent pas ce type de stratégies mnésiques. Ainsi, pendant les situations contrôles dans lesquelles les enfants possédaient une certaine liberté en termes de ressources cognitives, les enfants ont en réalité pu être enclin à se distraire et à perdre

leur concentration sur la tâche en cours. En effet, lors d'une activité, les jeunes enfants nécessitent d'être fréquemment stimulés afin de garder leur attention sur la tâche en cours (Ruff & Capozzoli, 2003). Par conséquent les effets bénéfiques de la motricité pourraient également s'expliquer par des effets bénéfiques attentionnels et motivationnels. Les enfants du groupe VAM étaient systématiquement davantage sollicités par le dispositif et donc davantage concentrés et motivés tandis que les enfants du groupe VA pouvaient s'ennuyer ou fréquemment se désengager de la tâche en cours.

Bien que nous soyons conscients de ces potentiels biais attentionnels à la fois chez les adultes et chez les enfants, ceux-ci sont malheureusement très difficiles à contrôler lorsqu'il s'agit de comparer des situations avec ou sans motricité. Aucune situation contrôlée ne semble réellement parfaite et dépourvue de biais.

8.2.2 Des entraînements intensifs et du sommeil

Une autre piste d'explication des différences obtenues est en rapport avec l'intensité des entraînements. Alors que tous les protocoles auprès des enfants étaient longs et progressifs, notamment en entraînant 2 lettres par jour sur plusieurs jours avec la présence d'une ultime séance de révision le dernier jour permettant de revoir toutes les lettres, les protocoles chez les adultes étaient tous très courts et les apprentissages étaient effectués en 30 minutes environ. Lors de l'étude 5, dans laquelle la question du sommeil a été abordée, seul un post-test a été effectué après un délai de 24h cependant l'apprentissage n'a pas été répété après la nuit de sommeil. Nous pensons qu'il aurait été plus intéressant et plus pertinent de tenter d'élaborer des protocoles sur plusieurs jours avec plusieurs sessions d'apprentissages. Par exemple, une situation d'apprentissage étalée sur une semaine avec 4 sessions d'apprentissage de 5 associations auraient pu constituer un protocole beaucoup plus écologique. Les études sur le sommeil rapportent de façon unanime un effet bénéfique du sommeil sur l'acquisition des nouvelles connaissances (Stickgold & Walker, 2005) et ce notamment concernant des connaissances incluant une dimension motrice (Fischer, Hallschmid, Elsner, & Born, 2002). Cette différence entre les protocoles chez les enfants et chez les adultes est donc extrêmement importante et pourrait être en grande partie responsable des différences observées.

8.3 LA MOTRICITÉ, UN FACTEUR FAVORISANT L'INTÉGRATION ?

Ces différentes réflexions nous amènent inévitablement à remettre en cause l'hypothèse intrinsèque de cette thèse : la motricité permet-elle vraiment de favoriser l'intégration ? En réalité, les études présentées dans ce document ne remettent pas en cause cette hypothèse déjà largement validée. D'ailleurs, les études que nous avons réalisées auprès d'enfants tendent à prouver qu'effectivement, la motricité joue un rôle bénéfique manifeste dans l'intégration des connaissances. Cependant l'ensemble de nos études chez l'adultes tendent à montrer que cet effet n'est pas si simple et banal qu'il le paraît. Ainsi, n'importe quelle type de motricité ne pas pas favoriser l'intégration de connaissances, de plus, cet effet bénéfique nécessitent certaines conditions sine qua non. Tout d'abord, la synchronicité et la co-localisation du geste et de la cible perceptive semblent primordiales. Notre étude 3b a démontré que lorsque le geste est dissocié, son effet bénéfique est moindre ou absent. De plus, pour qu'il ait un caractère intégratif, le geste doit impérativement posséder un lien avec la cible. Notamment, un lien causal semble efficace. L'étude 7 a notamment montré que le fait de tracer les lettres permettaient de spécifiquement mémoriser les formes visuelles mais pas les sons ni les associations. La particularité des formes visuelles est qu'elles étaient produites par le geste. Pour finir, le caractère intégratif de la motricité est lent et progressif. Le sommeil pourrait notamment jouer un rôle important en venant consolider les liens intégratifs qui lient le geste aux autres modalités de la trace mnésique.

8.3.1 L'effet bénéfique de la motricité dans le contexte du modèle Act-In

Replacé dans le cadre du modèle Act-In, les études de ce document ne suggèrent pas que la motricité ne joue uniquement le rôle d'un liant comme cela a pu être avancé précédemment. Le terme « liant » ne semble pas inapproprié, cependant il semble réducteur. Lors de la mémorisation d'une association audio-visuelle, la motricité ne serait pas un simple arbitre ni une sorte de glue entre ces deux composants, au contraire elle serait une

dimension à part entière qui possède des liens plus ou moins forts avec les deux autres modalités. Ces différents liens entre ces trois modalités seraient asymétriques mais dans leur ensemble constituerait une trace mnésique plus riche que si deux dimensions seulement étaient impliquées. D'un point de vue incarné, un geste constitue une expérience sensorimotrice au même titre que la perception d'une forme visuelle. L'activation cérébrale entraînée par ce geste contribuera à former une trace mnésique de cette expérience. Ainsi, lorsque j'effectue un geste pour tracer une lettre, et que par la même occasion je perçois visuellement cette lettre que j'ai produite, une co-activation cérébrale de zones motrices et visuelles a lieu. Selon les principes énoncés par Hebb (1949), l'activation conjointe de ces zones neuronales va permettre le renforcement des connexions synaptiques et donc la création d'une sorte de lien. Ainsi, l'effet bénéfique de la motricité observé dans les études chez les enfants pourrait majoritairement s'expliquer en termes de richesse et de distinctivité des traces mnésiques (Brunel et al., 2010). Le geste est causalement lié à la dimension visuelle des lettres. De plus, les dimensions visuelles, auditives et motrices sont fréquemment activées conjointement (i.e., de manière synchrone) ce qui renforce progressivement les liens entre la dimension auditive et les deux autres dimensions. Ce renforcement, c'est à dire cette intégration progressive permet l'élaboration d'une connaissance de plus en plus unifiée. Ainsi, lorsque nous sommes exposés à l'une des dimensions, par exemple la forme visuelle d'une lettre, la forme auditive, bien qu'elle ne soit pas perceptiblement présente, serait automatiquement activée par un processus de diffusion intra-trace qui faciliterait son émergence.

8.3.2 La sonification du point de vue d'Act-In

Du point de vue du modèle Act-In, l'effet positif de la sonification lors de l'étude 9 pourrait s'expliquer par des mécanismes sous-jacents identiques. La mémorisation d'une association visuelle-auditive arbitraire telle qu'une correspondance grapho-phonémique consiste à créer un lien entre ces deux dimensions. La sonification constituerait une dimension supplémentaire dont les liens avec les dimensions visuelles, auditives et motrices sont forts. Par nature, cette sonification est intrinsèquement liée à la forme de la lettre puisqu'elle est créée en fonction des caractéristiques spatiales et temporelles des mouvements qui tracent cette lettre. De plus, la sonification est de nature auditive, ce caractère

intramodal pourrait faciliter la création d'un lien avec la forme auditive de la lettre. Cette idée rejoint la notion de « bond effect » (Fredembach et al., 2009) : ces auteurs ont observé un effet facilitant de l'exploration haptique sur la mémorisation d'associations audiovisuelles arbitraires. Ils émettent l'hypothèse d'un « bond effect » entre les stimuli visuels et auditifs. Selon eux, cette exploration haptique serait bénéfique car elle permettrait de créer ou de renforcer le lien entre ces deux dimensions grâce aux informations redondantes fournies par l'exploration haptique. De plus, dans la littérature, l'efficacité de l'haptique est régulièrement expliquée en fonction des spécificités des modes d'exploration (Bara & Gentaz, 2011 ; Bara et al., 2007, 2004). La vision nécessite généralement un traitement global, tandis que l'audition nécessite un traitement séquentiel. Cependant, la modalité haptique partage des caractéristiques à la fois visuelles et auditives, ce qui aiderait à créer un lien entre ces deux modalités. La sonification pourrait donc jouer un rôle similaire puisqu'elle est intrinsèquement liée à la forme visuelle mais nécessite un traitement typiquement séquentiel. En créant un lien entre les deux dimensions de l'association, cette sonification renforcerait ainsi l'intégration des traces mnésiques.

Ces différentes explications sur l'aspect bénéfique de la motricité et de la sonification nous amènent à nous demander si l'ajout de n'importe quelle modalité supplémentaire ne pourrait pas ainsi favoriser l'intégration. Or, nous faisons ici l'hypothèse que non puisque l'effet bénéfique des gestes d'écriture ou de la sonification sont grandement dus aux liens naturels que possèdent ces modalités avec les dimensions auditives et visuelles. C'est pourquoi la suite de note aléatoire qui constituait la condition CS lors de l'étude 9 n'a pas facilité les apprentissages.

8.4 VERS DES SITUATIONS D'APPRENTISSAGE ENCORE PLUS OPTIMALES

Pour finir, peut-on à partir de la compréhension de ces mécanismes mnésiques imaginer des situations d'apprentissage encore plus optimales ? Très probablement, l'un des aspects majeurs évoqué lors de cette discussion est la recherche de liens. Des associations audio-visuelles sont difficiles à mémoriser parce-qu'initialement, leur lien est totalement

arbitraire. Cependant reprenons l'exemple de la forme « bieup » évoquée précédemment. Pourriez-vous la reconnaître parmi d'autres formes ou encore la tracer ? Si vous avez été attentifs lors de la fin de ce document, ou que vous appréciez particulièrement les boissons à base de houblon, vous pourrez probablement vous souvenir que cette forme ressemble à un verre à moitié plein. Ce moyen mnémotechnique semble efficace, pourquoi donc ? Tout simplement parce qu'un lien logique a été créé entre la forme visuelle et le son. Le pseudo-mot « bieup » est phonologiquement proche du mot « bière », or la forme ressemble à un verre de bière. En créant du lien, l'association est facilement mémorisable. De nombreux exemples peuvent être trouvés pour faciliter les apprentissages chez les enfants. Par exemple, dans les livres, la lettre S est fréquemment associée au mot serpent. Or, à quoi ressemble un serpent ? À un S. De plus, par quelle lettre commence le mot serpent et quel bruit fait-il avec sa langue ? Alors que pour un enfant pré-lecteur, la lettre s, et le son /s/ sont deux dimensions qui n'ont pas de lien logique, un simple lien peut être créé en passant par le pont que constitue le serpent. Dans nos études, la motricité ou la sonification jouerait également ce rôle de pont.

CONCLUSION

Nous commençons ce document en citant Sébastien Martinez ([Martinez et al., 2018](#)) qui n'est pas un scientifique spécialisé dans la cognition mais un « champion de la mémoire » capable de mémoriser en un temps record un grand nombre d'informations. Ses capacités rendent sa vision de la mémoire intéressante. Pour lui, la mémoire n'est pas un grand placard dans lequel on entasse des affaires mais plutôt une toile d'araignée. Ainsi selon lui, apprendre une nouvelle information consiste à l'incorporer dans cette toile c'est à dire à créer du lien entre une information nouvelle et une information connue. Curieusement, cette vision de la mémoire sonne parfaitement juste et fait écho avec les travaux incarnés dont nous avons parlé tout au long de ce document. Ainsi, quiconque se lance dans une quête visant à concevoir une situation d'apprentissage optimale devrait simplement chercher à créer du lien là où initialement il n'y en a pas.

Les travaux de cette thèse ouvrent sur des perspectives appliquées intéressantes. Les supports tactiles, et notamment le système d'applications, offrent des possibilités remarquables qui devraient davantage être exploités à des fins pédagogiques. Lors de mes travaux de thèse, j'ai tenté de revêtir à la fois la casquette du chercheur et du développeur. Cependant mes compétences en développement sont loin d'être équivalentes à celles de développeurs professionnels. J'espère que mes travaux pourront inspirer de futures études visant à élaborer des applications pédagogiques. La sonification est notamment un procédé qui me paraît particulièrement prometteur et qui pourrait tout à fait être amélioré et exploité dans toute sortes de situations mêlant apprentissages et gestes moteurs.

RÉFÉRENCES

- Acapela Groupe. (2010). *Acapela box : create your text to speech messages*.
- Allen, R. (2015). Memory Binding. In *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 140–146). Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-08-097086-8.51046-0
- Allen, R., Baddeley, A., & Hitch, G. (2006). Is the binding of visual features in working memory resource-demanding? *Journal of Experimental Psychology : General*, *135*(2), 298.
- Allor, J. H., Mathes, P. G., Roberts, J. K., Jones, F. G., & Champlin, T. M. (2010). Teaching Students with Moderate Intellectual Disabilities to Read : An Experimental Examination of a Comprehensive Reading Intervention. *Education and Training in Autism and Developmental Disabilities*, *45*(1), 3–22.
- Aravena, P., Hurtado, E., Riveros, R., Cardona, J. F., Manes, F., & Ibáñez, A. (2010, juillet). Applauding with Closed Hands : Neural Signature of Action-Sentence Compatibility Effects. *PLOS ONE*, *5*(7), e11751. doi: 10.1371/journal.pone.0011751
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968, janvier). Human Memory : A Proposed System and its Control Processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 2, pp. 89–195). Academic Press. doi: 10.1016/S0079-7421(08)60422-3
- Atwell, J. A., Connors, F. A., & Merrill, E. C. (2003, janvier). Implicit and Explicit Learning in Young Adults With Mental Retardation. *American Journal on Mental Retardation*, *108*(1), 56–68. doi: 10.1352/0895-8017(2003)108<0056:IAELIY>2.0.CO;2
- Baayen, R. H., Davidson, D. J., & Bates, D. M. (2008, novembre). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, *59*(4), 390–412. doi: 10.1016/j.jml.2007.12.005
- Bach, J.-F., Houdé, O., & Léna, P. (2015). *L'enfant et les écrans. Un Avis de l'Académie des sciences*. Le Pommier.
- Baddeley, A., Allen, R., & Hitch, G. (2011, mai). Binding in visual working memory : The role of the episodic buffer. *Neuropsychologia*, *49*(6), 1393–1400. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.042

- Baddeley, A., & Wilson, B. (1994, janvier). When implicit learning fails : Amnesia and the problem of error elimination. *Neuropsychologia*, *32*(1), 53–68. doi: 10.1016/0028-3932(94)90068-X
- Bara, F., Fredembach, B., & Gentaz, d. (2010). Rôle des procédures exploratoires manuelles dans la perception haptique et visuelle de formes chez des enfants scolarisés en cycle 2. *L'Année psychologique*, *110*(2), 197–225. doi: 10.4074/S0003503310002022
- Bara, F., & Gentaz, E. (2011, août). Haptics in teaching handwriting : The role of perceptual and visuo-motor skills. *Human Movement Science*, *30*(4), 745–759. doi: 10.1016/j.humov.2010.05.015
- Bara, F., Gentaz, E., & Colé, P. (2007, novembre). Haptics in learning to read with children from low socio-economic status families. *British Journal of Developmental Psychology*, *25*(4), 643–663. doi: 10.1348/026151007X186643
- Bara, F., Gentaz, E., Colé, P., & Sprenger-Charolles, L. (2004, juillet). The visuo-haptic and haptic exploration of letters increases the kindergarten-children's understanding of the alphabetic principle. *Cognitive Development*, *19*(3), 433–449. doi: 10.1016/j.cogdev.2004.05.003
- Bara, F., Lannuzel, C., Pronost, C., & Calvarin, D. (2013). Utiliser son corps pour apprendre à reconnaître et à tracer les lettres en grande section de maternelle. *ANAE - Approche Neuropsychologique des Apprentissages Chez L'enfant*, *20*.
- Bara, F., & Morin, M.-F. (2013, juin). Does the Handwriting Style Learned in First Grade Determine the Style Used in the Fourth and Fifth Grades and Influence Handwriting Speed and Quality ? A Comparison Between French and Quebec Children. *Psychology in the Schools*, *50*(6), 601–617. doi: 10.1002/pits.21691
- Barsalou, L. W. (1999, août). Perceptions of perceptual symbols. *Behavioral and Brain Sciences*, *22*(4), 637–660. doi: 10.1017/S0140525X99532147
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*(1), 617–645. doi: 10.1146/annurev.psych.59.103006.093639
- Bartolomeo, P., Bachoud-Lévi, A.-C., Chokron, S., & Degos, J.-D. (2002, janvier). Visually- and motor-based knowledge of letters : evidence from a pure alexic patient. *Neuropsychologia*, *40*(8), 1363–1371. doi: 10.1016/S0028-3932(01)00209-3
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects

- models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. doi: 10.18637/jss.v067.i01
- Baur, B., Fürholzer, W., Marquardt, C., & Hermsdörfer, J. (2009, avril). Auditory Grip Force Feedback in the Treatment of Writer’s Cramp. *Journal of Hand Therapy*, 22(2), 163–171. doi: 10.1016/j.jht.2008.11.001
- Bavelier, D., Green, C. S., & Dye, M. W. G. (2010, septembre). Children, Wired : For Better and for Worse. *Neuron*, 67(5), 692–701. doi: 10.1016/j.neuron.2010.08.035
- Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H., Adolphs, R., Rockland, C., & Damasio, A. R. (1995, août). Double dissociation of conditioning and declarative knowledge relative to the amygdala and hippocampus in humans. *Science*, 269(5227), 1115–1118. doi: 10.1126/science.7652558
- Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H., & Damasio, A. R. (1996, mars). Failure to Respond Autonomically to Anticipated Future Outcomes Following Damage to Prefrontal Cortex. *Cerebral Cortex*, 6(2), 215–225. doi: 10.1093/cercor/6.2.215
- Bhalla, M., & Proffitt, D. R. (1999). Visual–motor recalibration in geographical slant perception. *Journal of experimental psychology : Human perception and performance*, 25(4), 1076.
- Billard, C., Vol, S., Livet, M. O., Motte, J., Vallée, L., Gillet, P., & Marquet, T. (2002). BREV : une batterie rapide clinique d’évaluation des fonctions cognitives chez les enfants d’âge scolaire et préscolaire : Etalonnage chez 500 enfants de référence et validation chez 202 enfants épileptiques. *Revue neurologique*, 158(2), 167–175.
- Biot-Chevrier, C., Ecalle, J., & Magnan, A. (2008, janvier). Pourquoi la connaissance du nom des lettres est-elle si importante dans l’apprentissage de la langue écrite ? *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*(162), 15–27. doi: 10.4000/rfp.741
- Bélanger, O. (2015). *PyO : dedicated Python module for digital signal processing*.
- Boersma, P., & Weenink, D. (2011). *Praat : Doing phonetics by computer [Computer program]. Version 5.3. 03. 2011*.
- Boisson, A. (2018, apr). *Sonification*. Consulté sur <https://osf.io/qy3da/> doi: 10.17605/OSF.IO/QY3DA
- Brunel, L. (2010). *Vers une réintroduction de l’efficacité mnésique : l’apport des modèles à traces multiples* (thesis). Lyon 2.
- Brunel, L., Goldstone, R. L., Vallet, G., Riou, B., & Versace, R. (2013, janvier). When

- Seeing a Dog Activates the Bark. *Experimental Psychology*, 60(2), 100–112. doi: 10.1027/1618-3169/a000176
- Brunel, L., Labeye, E., Lesourd, M., & Versace, R. (2009). The sensory nature of episodic memory : sensory priming effects due to memory trace activation. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 35(4), 1081.
- Brunel, L., Oker, A., Riou, B., & Versace, R. (2010, décembre). Memory and consciousness : Trace distinctiveness in memory retrievals. *Consciousness and Cognition*, 19(4), 926–937. doi: 10.1016/j.concog.2010.08.006
- Byrne, B. (2014). *The foundation of literacy : The child's acquisition of the alphabetic principle*. Psychology Press.
- Camus, T. (2016). *Action et intégration : le rôle fonctionnel de la motricité dans la construction des connaissances sensori-motrices* (PhD Thesis). Montpellier 3.
- Camus, T., Brouillet, D., & Brunel, L. (2016). Assessing the functional role of motor response during the integration process. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 42(11), 1693.
- Cherdiou, M., Versace, R., Rey, A. E., Vallet, G. T., & Mazza, S. (2018, juin). Sleep on your memory traces : How sleep effects can be explained by Act–In, a functional memory model. *Sleep Medicine Reviews*, 39, 155–163. doi: 10.1016/j.smrv.2017.09.001
- Clements, G. N. (1990). The role of the sonority cycle in core syllabification. *Papers in laboratory phonology*, 1, 283–333.
- Cohen, J., MacWhinney, B., Flatt, M., & Provost, J. (1993, juin). PsyScope : An interactive graphic system for designing and controlling experiments in the psychology laboratory using Macintosh computers. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 25(2), 257–271. doi: 10.3758/BF03204507
- Congedo, M., Lécuyer, A., & Gentaz, E. (2006, juin). The Influence of Spatial Delocation on Perceptual Integration of Vision and Touch. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 15(3), 353–357. doi: 10.1162/pres.15.3.353
- Connors, F. A., Rosenquist, C. J., Sligh, A. C., Atwell, J. A., & Kiser, T. (2006, mars). Phonological reading skills acquisition by children with mental retardation. *Research in Developmental Disabilities*, 27(2), 121–137. doi: 10.1016/j.ridd.2004.11.015
- Danna, J., Paz-Villagrán, V., & Velay, J.-L. (2013, décembre). Signal-to-Noise velocity peaks difference : A new method for evaluating the handwriting movement fluency

- in children with dysgraphia. *Research in Developmental Disabilities*, *34*(12), 4375–4384. doi: 10.1016/j.ridd.2013.09.012
- Danna, J., & Velay, J. (2017a, avril). Handwriting Movement Sonification : Why and How? *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, *47*(2), 299–303. doi: 10.1109/THMS.2016.2641397
- Danna, J., & Velay, J.-L. (2017b). On the Auditory-Proprioception Substitution Hypothesis : Movement Sonification in Two Deafferented Subjects Learning to Write New Characters. *Front. Neurosci.*, *11*. doi: 10.3389/fnins.2017.00137
- Desgranges, B., & Eustache, F. (2011). Les conceptions de la mémoire déclarative d’Endel Tulving et leurs conséquences actuelles. *Revue de neuropsychologie*, *me 3*(2), 94–103. doi: 10.3917/rne.032.0094
- Detable, C., & Vinter, A. (2004). Le maintien dans le temps des effets d’un apprentissage implicite chez des enfants et adolescents avec retard mental. *L’Année psychologique*, *104*(4), 751–770. doi: 10.3406/psy.2004.29687
- Diekelmann, S., & Born, J. (2010, février). The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*(2), 114–126. doi: 10.1038/nrn2762
- Dinehart, L., & Manfra, L. (2013, février). Associations Between Low-Income Children’s Fine Motor Skills in Preschool and Academic Performance in Second Grade. *Early Education and Development*, *24*(2), 138–161. doi: 10.1080/10409289.2011.636729
- Dinehart, L. H. (2015, mars). Handwriting in early childhood education : Current research and future implications. *Journal of Early Childhood Literacy*, *15*(1), 97–118. doi: 10.1177/1468798414522825
- Dworak, M., Schierl, T., Bruns, T., & Strüder, H. K. (2007, novembre). Impact of Singular Excessive Computer Game and Television Exposure on Sleep Patterns and Memory Performance of School-aged Children. *Pediatrics*, *120*(5), 978–985. doi: 10.1542/peds.2007-0476
- Ecalte, J., Biot-Chevrier, C., & Magnan, A. (2008, mai). Alphabet knowledge and early literacy skills in French beginning readers. *European Journal of Developmental Psychology*, *5*(3), 303–325. doi: 10.1080/17405620600901714
- Ecalte, J., Kleinsz, N., & Magnan, A. (2013, juillet). Computer-assisted learning in young poor readers : The effect of grapho-syllabic training on the development of word reading and reading comprehension. *Computers in Human Behavior*, *29*(4),

- 1368–1376. doi: 10.1016/j.chb.2013.01.041
- Ecalles, J., & Magnan, A. (2015). *L'apprentissage de la lecture et ses difficultés-2e éd.* Dunod.
- Ecalles, J., Magnan, A., & Calmus, C. (2009). How computer-assisted learning using ortho-phonological units could improve literacy skills in low-progress readers. *Computers & Education*, 52(3), 554–561.
- Ecalles, J., Navarro, M., Labat, H., Gomes, C., Cros, L., & Magnan, A. (2017). Concevoir des applications sur tablettes tactiles pour stimuler l'apprentissage de la lecture : avec quelles hypothèses scientifiques ?
- Ecker, U., Maybery, M., & Zimmer, H. (2013). Binding of intrinsic and extrinsic features in working memory. *Journal of Experimental Psychology : General*, 142(1), 218–234. doi: 10.1037/a0028732
- Effenberg, A. O., Schmitz, G., Baumann, F., Rosenhahn, B., & Kroeger, D. (2015). Sound-Script - Supporting the acquisition of character writing by multisensory integration. *Open Psychology Journal 8 (2015), Nr. 1*, 8(1), 230–237. doi: <http://dx.doi.org/10.15488/817>
- Ehri, L. C., Nunes, S. R., Willows, D. M., Schuster, B. V., Yaghoub-Zadeh, Z., & Shanahan, T. (2001, juillet). Phonemic Awareness Instruction Helps Children Learn to Read : Evidence From the National Reading Panel's Meta-Analysis. *Reading Research Quarterly*, 36(3), 250–287. doi: 10.1598/RRQ.36.3.2
- Ehri, L. C., & Saltmarsh, J. (1995, septembre). Beginning readers outperform older disabled readers in learning to read words by sight. *Reading and Writing*, 7(3), 295–326. doi: 10.1007/BF03162082
- Ellenbogen, J. M., Hulbert, J. C., Stickgold, R., Dinges, D. F., & Thompson-Schill, S. L. (2006, juillet). Interfering with Theories of Sleep and Memory : Sleep, Declarative Memory, and Associative Interference. *Current Biology*, 16(13), 1290–1294. doi: 10.1016/j.cub.2006.05.024
- Evans, M. A., Bell, M., Shaw, D., Moretti, S., & Page, J. (2006). Letter names, letter sounds and phonological awareness : An examination of kindergarten children across letters and of letters across children. *Reading and writing*, 19(9), 959–989.
- Falloon, G. (2013, octobre). Young students using iPads : App design and content influences on their learning pathways. *Computers & Education*, 68, 505–521. doi:

10.1016/j.compedu.2013.06.006

- Fischer, S., Hallschmid, M., Elsner, A. L., & Born, J. (2002, septembre). Sleep forms memory for finger skills. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *99*(18), 11987–11991. doi: 10.1073/pnas.182178199
- Fitch, W. T., & Kramer, G. (1994). Sonifying the body electric : Superiority of an auditory over a visual display in a complex, multivariate system. In *SANTA FE INSTITUTE STUDIES IN THE SCIENCES OF COMPLEXITY-PROCEEDINGS VOLUME-* (Vol. 18, pp. 307–307). Addison-Wesley Publishing Co.
- Fodor, J. A. (1985, mars). Précis of The Modularity of Mind. *Behavioral and Brain Sciences*, *8*(1), 1–5. doi: 10.1017/S0140525X0001921X
- Fogassi, L., & Gallese, V. (2004). Action as a binding key to multisensory integration. *The handbook of multisensory processes*, 425–441.
- Foulin, J. N. (2007, décembre). La connaissance des lettres chez les prélecteurs : aspects pronostiques, fonctionnels et diagnostiques. *Psychologie Française*, *52*(4), 431–444. doi: 10.1016/j.psfr.2006.12.004
- Fox, J., & Weisberg, S. (2011). *An R companion to applied regression* (Second éd.). Thousand Oaks CA : Sage. Consulté sur <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Frankland, P. W., & Bontempi, B. (2005, février). The organization of recent and remote memories. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*(2), 119–130. doi: 10.1038/nrn1607
- Fredembach, B., Boisferon, A. H. d., & Gentaz, E. (2009, mars). Learning of Arbitrary Association between Visual and Auditory Novel Stimuli in Adults : The “Bond Effect” of Haptic Exploration. *PLOS ONE*, *4*(3), e4844. doi: 10.1371/journal.pone.0004844
- Gallese †, V., & Lakoff, G. (2005, mai). The Brain’s concepts : the role of the Sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive Neuropsychology*, *22*(3-4), 455–479. doi: 10.1080/02643290442000310
- Gentaz, E., Colé, P., & Bara, F. (2003). Évaluation d’entraînements multi-sensoriels de préparation à la lecture pour les enfants en grande section de maternelle : une étude sur la contribution du système haptique manuel. *L’Année psychologique*, *103*(4), 561–584. doi: 10.3406/psy.2003.29652
- Gibson, J. (1979). *The ecological approach to human perception*. Boston : Houghton

- Mifflin.
- Gibson, J. J. (1950). *The perception of the visual world*. Oxford, England : Houghton Mifflin.
- Gibson, J. J. (1966). The senses considered as perceptual systems.
- Glenberg, A. M., Witt, J. K., & Metcalfe, J. (2013, septembre). From the Revolution to Embodiment : 25 Years of Cognitive Psychology. *Perspectives on Psychological Science*, 8(5), 573–585. doi: 10.1177/1745691613498098
- Goldstone, R. L. (1995, septembre). Effects of Categorization on Color Perception. *Psychological Science*, 6(5), 298–304. doi: 10.1111/j.1467-9280.1995.tb00514.x
- Goldstone, R. L. (2000). Unitization during category learning. *Journal of Experimental Psychology : Human perception and performance*, 26(1), 86.
- Gourevitch, V., & Galanter, E. (1967). A significance test for one parameter isosensitivity functions. *Psychometrika*, 32(1), 25–33.
- Graf, P., & Schacter, D. L. (1989). Unitization and grouping mediate dissociations in memory for new associations. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 15(5), 930–940. doi: 10.1037/0278-7393.15.5.930
- Green, D. M., & Swets, J. A. (1966). Signal detectability and psychophysics. *New York*.
- Hale, L., & Guan, S. (2015, juin). Screen time and sleep among school-aged children and adolescents : A systematic literature review. *Sleep Medicine Reviews*, 21, 50–58. doi: 10.1016/j.smr.2014.07.007
- Hatwell, Y., Streri, A., & Gentaz, E. (2000). *Toucher pour connaître : Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*. Presses Universitaires de France.
- Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004, janvier). Somatotopic Representation of Action Words in Human Motor and Premotor Cortex. *Neuron*, 41(2), 301–307. doi: 10.1016/S0896-6273(03)00838-9
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior : A neurophysiological approach*. Wiley.[JH].
- Hillairet de Boisferon, A., Bara, F., Gentaz, E., & Colé, P. (2007). Préparation à la lecture des jeunes enfants : effets de l’exploration visuo-haptique des lettres et de la perception visuelle des mouvements d’écriture. *L’Année psychologique*, 107(4), 537–564.
- Hintzman, D. L. (1984, mars). MINERVA 2 : A simulation model of human memory.

- Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 16(2), 96–101. doi: 10.3758/BF03202365
- Hintzman, D. L. (1986). " Schema abstraction" in a multiple-trace memory model. *Psychological review*, 93(4), 411.
- Hintzman, D. L. (1988). Judgments of frequency and recognition memory in a multiple-trace memory model. *Psychological review*, 95(4), 528.
- Hommel, B., & Colzato, L. S. (2009, janvier). When an object is more than a binding of its features : Evidence for two mechanisms of visual feature integration. *Visual Cognition*, 17(1-2), 120–140. doi: 10.1080/13506280802349787
- Howell, D., Bestgen, Y., Yzerbyt, V., & Rogier, M. (2008). *Méthodes statistiques en sciences humaines*.
- Howell, D., Bestgen, Y., Yzerbyt, V., Rogier, M., & others. (2008). *Méthodes statistiques en sciences humaines*.
- Jacoby, L. L. (1991, octobre). A process dissociation framework : Separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of Memory and Language*, 30(5), 513–541. doi: 10.1016/0749-596X(91)90025-F
- Jacquier-Roux, M., Valdois, S., & Zorman, M. (2005). *Odédys : Outil de dépistage des dyslexiques (version 2)[Odedys : Screening tool dyslexic (Version 2)]*. Grenoble : Laboratoire Cognisciences.
- Jolly, C., & Gentaz, E. (2013). Évaluation des effets d'entraînements avec tablette tactile destinés à favoriser l'écriture de lettres cursives chez des enfants de Cours Préparatoire. *Revue des sciences et techniques de l'information et de la communication pour l'éducation et la formation*, 20.
- Jorm, A. F., & Share, D. L. (1983, juin). An invited article : Phonological recoding and reading acquisition. *Applied Psycholinguistics*, 4(02), 103–147. doi: 10.1017/S0142716400004380
- Kandel, S., & Perret, C. (2015, mars). How does the interaction between spelling and motor processes build up during writing acquisition? *Cognition*, 136, 325–336. doi: 10.1016/j.cognition.2014.11.014
- Keizer, A. W., Nieuwenhuis, S., Colzato, L. S., Teeuwisse, W., Rombouts, S. A., & Hommel, B. (2008, octobre). When moving faces activate the house area : an fMRI study of object-file retrieval. *Behavioral and Brain Functions*, 4(1), 50. doi:

10.1186/1744-9081-4-50

- Kennedy, E. J., & Flynn, M. C. (2003, janvier). Training phonological awareness skills in children with Down syndrome. *Research in Developmental Disabilities, 24*(1), 44–57. doi: 10.1016/S0891-4222(02)00168-3
- Kersey, A. J., & James, K. H. (2013). Brain activation patterns resulting from learning letter forms through active self-production and passive observation in young children. *Front. Psychol., 4*. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00567
- Kiefer, M., Schuler, S., Mayer, C., Trumpp, N. M., Hille, K., & Sachse, S. (2015, décembre). Handwriting or Typewriting? The Influence of Pen- or Keyboard-Based Writing Training on Reading and Writing Performance in Preschool Children. *Adv Cogn Psychol, 11*(4), 136–146. doi: 10.5709/acp-0178-7
- Kiefer, M., & Trumpp, N. M. (2012, décembre). Embodiment theory and education : The foundations of cognition in perception and action. *Trends in Neuroscience and Education, 1*(1), 15–20. doi: 10.1016/j.tine.2012.07.002
- King, A. J. (2005, mai). Multisensory Integration : Strategies for Synchronization. *Current Biology, 15*(9), R339–R341. doi: 10.1016/j.cub.2005.04.022
- Kleinsz, N., Potocki, A., Ecalle, J., & Magnan, A. (2017, juillet). Profiles of French poor readers : Underlying difficulties and effects of computerized training programs. *Learning and Individual Differences, 57*, 45–57. doi: 10.1016/j.lindif.2017.05.009
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2007). NEPSY-II : Clinical and interpretive manual. *San Antonio, TX : The Psychological Corporation.*
- Kumari, S., & Ahuja, S. (2010, mai). Video Viewing and Cognitive Development in Preadolescents. *Social Science Computer Review, 28*(2), 170–176. doi: 10.1177/0894439309334815
- Labat, H., Ecalle, J., Baldy, R., & Magnan, A. (2014, janvier). How can low-skilled 5-year-old children benefit from multisensory training on the acquisition of the alphabetic principle? *Learning and Individual Differences, 29*, 106–113. doi: 10.1016/j.lindif.2013.09.016
- Labat, H., Ecalle, J., & Magnan, A. (2010). Effet d’entraînements bi-modaux à la connaissance des lettres : approche développementale. *Psychologie Française, 113–127.*
- Labat, H., Ecalle, J., & Magnan, A. (2013). Étude de l’effet d’une exploration auditive et haptique et des capacités de transfert intermodal sur l’apprentissage des lettres

auprès d'un enfant porteur de trisomie 21. , 8.

- Labat, H., Ecalle, J., & Magnan, A. (2017). L'apprentissage de la lecture-écriture. *Psychologie du développement*, 227.
- Labat, H., Magnan, A., & Ecalle, J. (2011). Effet d'une exploration multisensorielle séquentielle orientée sur le développement de la compréhension du principe alphabétique chez les enfants de 5 ans faibles connaisseurs de lettres. *L'Année psychologique*, 111(4), 641–671. doi: 10.4074/S0003503311004027
- Labat, H., Vallet, G., Magnan, A., & Ecalle, J. (2015, mai). Facilitating Effect of Multi-sensory Letter Encoding on Reading and Spelling in 5-Year-Old Children. *Applied Cognitive Psychology*, 29(3), 381–391. doi: 10.1002/acp.3116
- Labeye, E., Oker, A., Badard, G., & Versace, R. (2008, septembre). Activation and integration of motor components in a short-term priming paradigm. *Acta Psychologica*, 129(1), 108–111. doi: 10.1016/j.actpsy.2008.04.010
- Lahl, O., Wispel, C., Willigens, B., & Pietrowsky, R. (2008, mars). An ultra short episode of sleep is sufficient to promote declarative memory performance. *Journal of Sleep Research*, 17(1), 3–10. doi: 10.1111/j.1365-2869.2008.00622.x
- Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1987, juillet). Hand movements : A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, 19(3), 342–368. doi: 10.1016/0010-0285(87)90008-9
- Lewald, J., Ehrenstein, W. H., & Guski, R. (2001, juin). Spatio-temporal constraints for auditory–visual integration. *Behavioural Brain Research*, 121(1), 69–79. doi: 10.1016/S0166-4328(00)00386-7
- Lewkowicz, D. J. (1996). Perception of auditory–visual temporal synchrony in human infants. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 22(5), 1094.
- Liberman, I. Y., Shankweiler, D., & Liberman, A. M. (1989). The Alphabetic Principle and Learning To Read.
- Lillard, A. S. (2012, juin). Preschool children's development in classic Montessori, supplemented Montessori, and conventional programs. *Journal of School Psychology*, 50(3), 379–401. doi: 10.1016/j.jsp.2012.01.001
- Longcamp, M., Anton, J.-L., Roth, M., & Velay, J.-L. (2003, août). Visual presentation of single letters activates a premotor area involved in writing. *NeuroImage*, 19(4),

- 1492–1500. doi: 10.1016/S1053-8119(03)00088-0
- Longcamp, M., Boucard, C., Gilhodes, J.-C., Anton, J.-L., Roth, M., Nazarian, B., & Velay, J.-L. (2008, janvier). Learning through Hand- or Typewriting Influences Visual Recognition of New Graphic Shapes : Behavioral and Functional Imaging Evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(5), 802–815. doi: 10.1162/jocn.2008.20504
- Longcamp, M., Boucard, C., Gilhodes, J.-C., & Velay, J.-L. (2006, octobre). Remembering the orientation of newly learned characters depends on the associated writing knowledge : A comparison between handwriting and typing. *Human Movement Science*, *25*(4), 646–656. doi: 10.1016/j.humov.2006.07.007
- Longcamp, M., Zerbato-Poudou, M.-T., & Velay, J.-L. (2005, mai). The influence of writing practice on letter recognition in preschool children : A comparison between handwriting and typing. *Acta Psychologica*, *119*(1), 67–79. doi: 10.1016/j.actpsy.2004.10.019
- Macmillan, N. A., & Kaplan, H. L. (1985). Detection theory analysis of group data : Estimating sensitivity from average hit and false-alarm rates. *Psychological Bulletin*, *98*(1), 185–199. doi: 10.1037/0033-2909.98.1.185
- Macri, A., Boisson, A., & Versace, R. (soumis). How does action improve memory ? an integrated answer.
- Macri, A., Pavard, A., & Versace, R. (2018, août). The beneficial effect of contextual emotion on memory : the role of integration. *Cognition and Emotion*, *32*(6), 1355–1361. doi: 10.1080/02699931.2017.1387101
- Magnan, A., & Ecalle, J. (2006, mai). Audio-visual training in children with reading disabilities. *Computers & Education*, *46*(4), 407–425. doi: 10.1016/j.compedu.2004.08.008
- Magnan, A., Ecalle, J., Veillet, E., & Collet, L. (2004, mai). The effects of an audio-visual training program in dyslexic children. *Dyslexia*, *10*(2), 131–140. doi: 10.1002/dys.270
- Mangen, A., & Schilhab, T. (2012). An embodied view of reading : Theoretical considerations, empirical findings, and educational implications. *Skriv*, 285–300.
- Mangen, A., & Velay, J.-L. (2010). Digitizing literacy : reflections on the haptics of writing. In *Advances in haptics*. InTech.

- Martinez, S., Wenger, E., & Raut, J. (2018). *La mémoire est un jeu - Ce qu'il faut savoir pour tout savoir*. Premier Parallèle.
- Martins, S., Guillery-Girard, B., & Eustache, F. (2006, septembre). Modèles de la mémoire humaine : concepts et modèles en neuropsychologie de l'adulte et de l'enfant. *Epilepsies*, *18*(2), 4–14.
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012, juin). OpenSesame : An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, *44*(2), 314–324. doi: 10.3758/s13428-011-0168-7
- Mcgurk, H., & Macdonald, J. (1976, décembre). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, *264*(5588), 746–748. doi: 10.1038/264746a0
- Medler, D. A. (1998). A Brief History of Connectionism. *Neural Computing Surveys*, *1*, 61–101.
- Michael, G. A. (2007, mars). A significance test of interaction in 2 x K designs with proportions. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, *3*(1), 1–7. doi: 10.20982/tqmp.03.1.p001
- Minogue, J., & Jones, M. G. (2006, septembre). Haptics in Education : Exploring an Untapped Sensory Modality. *Review of Educational Research*, *76*(3), 317–348. doi: 10.3102/00346543076003317
- Montessori, M. (1915). *The Montessori Method : Scientific Pedagogy as Applied to Child Education*. Heinemann.
- Nather, F. C., Bueno, J. L. O., Bigand, E., & Droit-Volet, S. (2011, mai). Time Changes with the Embodiment of Another's Body Posture. *PLoS ONE*, *6*(5), e19818. doi: 10.1371/journal.pone.0019818
- Neumann, M. M. (2016, juin). Young children's use of touch screen tablets for writing and reading at home : Relationships with emergent literacy. *Computers & Education*, *97*, 61–68. doi: 10.1016/j.compedu.2016.02.013
- Neumann, M. M., & Neumann, D. L. (2014, juillet). Touch Screen Tablets and Emergent Literacy. *Early Childhood Education Journal*, *42*(4), 231–239. doi: 10.1007/s10643-013-0608-3
- Neumann, M. M., & Neumann, D. L. (2017, juin). The use of touch-screen tablets at home and pre-school to foster emergent literacy. *Journal of Early Childhood Literacy*, *17*(2), 203–220. doi: 10.1177/1468798415619773

- New, B., Pallier, C., Ferrand, L., & Matos, R. (2001). Une base de données lexicales du français contemporain sur internet : LEXIQUETM//A lexical database for contemporary french : LEXIQUETM. *L'Année psychologique*, *101*(3), 447–462. doi: 10.3406/psy.2001.1341
- Nisbet, S. D. (1939, février). Non-Dictated Spelling Tests. *British Journal of Educational Psychology*, *9*(1), 29–44. doi: 10.1111/j.2044-8279.1939.tb03191.x
- Paivio, A. (1990). *Mental representations : A dual coding approach*. Oxford University Press.
- Palluel-Germain, R., Bara, F., De Boisferon, A. H., Hennion, B., Gouagout, P., & Gentaz, E. (2007). A visuo-haptic device-telemaque-increases kindergarten children's handwriting acquisition. In *EuroHaptics Conference, 2007 and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. World Haptics 2007. Second Joint* (pp. 72–77). IEEE.
- Palmis, S., Danna, J., Velay, J.-L., & Longcamp, M. (2017, mai). Motor control of handwriting in the developing brain : A review. *Cognitive Neuropsychology*, *34*(3-4), 187–204. doi: 10.1080/02643294.2017.1367654
- Parkinson, J., Dyson, B. J., & Khurana, B. (2010, mars). Line by line : the ERP correlates of stroke order priming in letters. *Exp Brain Res*, *201*(3), 575–586. doi: 10.1007/s00221-009-2077-x
- Patchan, M. M., & Puranik, C. S. (2016, novembre). Using tablet computers to teach preschool children to write letters : Exploring the impact of extrinsic and intrinsic feedback. *Computers & Education*, *102*, 128–137. doi: 10.1016/j.compedu.2016.07.007
- Proffitt, D. R. (2006, juin). Embodied Perception and the Economy of Action. *Perspectives on Psychological Science*, *1*(2), 110–122. doi: 10.1111/j.1745-6916.2006.00008.x
- Proffitt, D. R., & Linkenauger, S. A. (2013). Perception viewed as a phenotypic expression. *Action science : Foundations of an emerging discipline*, *171*.
- Puolakanaho, A., Ahonen, T., Aro, M., Eklund, K., Leppänen, P. H. T., Poikkeus, A.-M., ... Lyytinen, H. (2007, septembre). Very early phonological and language skills : estimating individual risk of reading disability. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *48*(9), 923–931. doi: 10.1111/j.1469-7610.2007.01763.x
- Puranik, C. S., Lonigan, C. J., & Kim, Y.-S. (2011, octobre). Contributions of emergent

literacy skills to name writing, letter writing, and spelling in preschool children. *Early Childhood Research Quarterly*, 26(4), 465–474. doi: 10.1016/j.ecresq.2011.03.002

R Core Team. (2013). R : A language and environment for statistical computing [Manuel de logiciel]. Vienna, Austria. Consulté sur <http://www.R-project.org/>

Ratz, C., & Lenhard, W. (2013, mai). Reading skills among students with intellectual disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, 34(5), 1740–1748. doi: 10.1016/j.ridd.2013.01.021

Rausch, J. R., Maxwell, S. E., & Kelley, K. (2003, août). Analytic Methods for Questions Pertaining to a Randomized Pretest, Posttest, Follow-Up Design. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, 32(3), 467–486. doi: 10.1207/S15374424JCCP3203_15

Reinitz, M. T., Lammers, W. J., & Cochran, Barbara Pitts. (1992). Memory-conjunction errors : Miscombination of stored stimulus features can produce illusions of memory. *Memory & Cognition*, 20(1), 1–11.

Rey, A. (2014). *Liens entre mémoire et perception : vers des mécanismes communs* (thesis). Lyon 2.

Riener, C. R., Stefanucci, J. K., Proffitt, D. R., & Clore, G. (2011, janvier). An effect of mood on the perception of geographical slant. *Cognition and Emotion*, 25(1), 174–182. doi: 10.1080/02699931003738026

Ruff, H. A., & Capozzoli, M. C. (2003). Development of attention and distractibility in the first 4 years of life. *Developmental Psychology*, 39(5), 877–890. doi: 10.1037/0012-1649.39.5.877

Schatschneider, C., Fletcher, J. M., Francis, D. J., Carlson, C. D., & Foorman, B. R. (2004). Kindergarten prediction of reading skills : A longitudinal comparative analysis. *Journal of Educational Psychology*, 96(2), 265.

Schmidt, M. E., & Vandewater, E. A. (2008). Media and attention, cognition, and school achievement. *The Future of children*, 63–85.

Schnall, S., Zadra, J. R., & Proffitt, D. R. (2010, avril). Direct Evidence for the Economy of Action : Glucose and the Perception of Geographical Slant. *Perception*, 39(4), 464–482. doi: 10.1068/p6445

Schwellnus, H., Cameron, D., & Carnahan, H. (2012). Which to choose : Manuscript or

- cursive handwriting? A review of the literature. *Journal of occupational therapy, schools, & early intervention*, 5(3-4), 248–258.
- Seki, K., Yajima, M., & Sugishita, M. (1995, mai). The efficacy of kinesthetic reading treatment for pure alexia. *Neuropsychologia*, 33(5), 595–609. doi: 10.1016/0028-3932(94)00138-F
- Share, D. (2004, juillet). Knowing letter names and learning letter sounds : A causal connection. *Journal of Experimental Child Psychology*, 88(3), 213–233. doi: 10.1016/j.jecp.2004.03.005
- Share, D. L. (1999). Phonological recoding and orthographic learning : A direct test of the self-teaching hypothesis. *Journal of experimental child psychology*, 72(2), 95–129.
- Sigrist, R., Rauter, G., Riener, R., & Wolf, P. (2013, février). Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning : A review. *Psychon Bull Rev*, 20(1), 21–53. doi: 10.3758/s13423-012-0333-8
- Snodgrass, J. G., & Vanderwart, M. (1980). A standardized set of 260 pictures : Norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *Journal of Experimental Psychology : Human Learning and Memory*, 6(2), 174–215. doi: 10.1037/0278-7393.6.2.174
- Stevenson, N. C., & Just, C. (2014, janvier). In Early Education, Why Teach Handwriting Before Keyboarding? *Early Childhood Educ J*, 42(1), 49–56. doi: 10.1007/s10643-012-0565-2
- Stickgold, R., & Walker, M. P. (2005, août). Memory consolidation and reconsolidation : what is the role of sleep? *Trends in Neurosciences*, 28(8), 408–415. doi: 10.1016/j.tins.2005.06.004
- Swing, E. L., Gentile, D. A., Anderson, C. A., & Walsh, D. A. (2010, juillet). Television and Video Game Exposure and the Development of Attention Problems. *Pediatrics*, peds.2009–1508. doi: 10.1542/peds.2009-1508
- Tardif, S. (2014). Processus associatifs en mémoire épisodique dans le vieillissement normal et dans le trouble cognitif léger de type amnésique.
- Treiman, R., & Rodriguez, K. (1999, juillet). Young Children Use Letter Names in Learning to Read Words. *Psychological Science*, 10(4), 334–338. doi: 10.1111/1467-9280.00164
- Treisman, A. (1996, avril). The binding problem. *Current Opinion in Neurobiology*, 6(2),

171–178. doi: 10.1016/S0959-4388(96)80070-5

Treisman, A., & Gelade, G. (1980, janvier). A feature-integration theory of attention.

Cognitive Psychology, 12(1), 97–136. doi: 10.1016/0010-0285(80)90005-5

Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. *Organization of memory*, 1, 381–403.

Tulving, E. (1995). Organization of memory : Quo vadis. *The cognitive neurosciences*, 839847.

Ungerleider, L. G. (1995, novembre). Functional Brain Imaging Studies of Cortical Mechanisms for Memory. *Science*, 270(5237), 769–775. doi: 10.1126/science.270.5237.769

Vallet, G., Brunel, L., & Versace, R. (2010, janvier). The Perceptual Nature of the Cross-Modal Priming Effect. *Experimental Psychology*, 57(5), 376–382. doi: 10.1027/1618-3169/a000045

van Dam, W. O., & Hommel, B. (2010). How object-specific are object files ? Evidence for integration by location. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 36(5), 1184.

van Galen, G. P. (1991, mai). Handwriting : Issues for a psychomotor theory. *Human Movement Science*, 10(2-3), 165–191. doi: 10.1016/0167-9457(91)90003-G

van Wassenhove, V., Grant, K. W., & Poeppel, D. (2007, janvier). Temporal window of integration in auditory-visual speech perception. *Neuropsychologia*, 45(3), 598–607. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.001

Varela, F., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The embodied mind : cognitive science and human experience*. Cambridge.

Velay, J.-L. (2018). MANUSCRITE OU NUMÉRIQUE : PEUT-ON CHOISIR ENTRE DIFFÉRENTES FORMES D'ÉCRITURE ? , 9.

Velay, J.-L., & Longcamp, M. (2013). Motor skills and written language perception : contribution of writing knowledge to visual recognition of graphic shapes. *Language and action in cognitive neuroscience*, 161–176.

Versace, R., Brouillet, D., & Vallet, G. (2018). *Cognition incarnée : Une cognition située et projetée*. Mardaga.

Versace, R., Labeye, I., Badard, G., & Rose, M. (2009, juin). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *European Journal of Cognitive Psychology*, 21(4), 522–560. doi: 10.1080/09541440801951844

Versace, R., & Nevers, B. (2003, août). Word frequency effect on repetition priming as

- a function of prime duration and delay between the prime and the target. *British Journal of Psychology*, *94*(3), 389–408. doi: 10.1348/000712603767876299
- Versace, R., Nevers, B., & Padovan, C. (2002). *La mémoire dans tous ses états*. Groupe de Boeck.
- Versace, R., Vallet, G. T., Riou, B., Lesourd, M., Labeye, I., & Brunel, L. (2014, avril). Act- In : An integrated view of memory mechanisms. *Journal of Cognitive Psychology*, *26*(3), 280–306. doi: 10.1080/20445911.2014.892113
- VeUILlet, E., Magnan, A., & Ecalle, J. (2004). Déficits auditifs perceptifs et capacités en lecture chez les enfants dyslexiques : effet d'un entraînement audio-visuel. *Revue de neuropsychologie*, *14*(1/2), 103–132.
- Vidal, C., Content, A., & Chetail, F. (2017, décembre). BACS : The Brussels Artificial Character Sets for studies in cognitive psychology and neuroscience. *Behavior Research Methods*, *49*(6), 2093–2112. doi: 10.3758/s13428-016-0844-8
- Vinci-Booher, S., James, T. W., & James, K. H. (2016, septembre). Visual-motor functional connectivity in preschool children emerges after handwriting experience. *Trends in Neuroscience and Education*, *5*(3), 107–120. doi: 10.1016/j.tine.2016.07.006
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2001). Storage of features, conjunctions, and objects in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, *27*(1), 92–114. doi: 10.1037/0096-1523.27.1.92
- Walker, M. P., Brakefield, T., Morgan, A., Hobson, J. A., & Stickgold, R. (2002, juillet). Practice with Sleep Makes Perfect : Sleep-Dependent Motor Skill Learning. *Neuron*, *35*(1), 205–211. doi: 10.1016/S0896-6273(02)00746-8
- Walker, M. P., Brakefield, T., Seidman, J., Morgan, A., Hobson, J. A., & Stickgold, R. (2003, janvier). Sleep and the Time Course of Motor Skill Learning. *Learning & Memory*, *10*(4), 275–284. doi: 10.1101/lm.58503
- Waugh, N. C., & Norman, D. A. (1965). Primary memory. *Psychological review*, *72*(2), 89.
- Weisstein, N., & Harris, C. S. (1974, novembre). Visual Detection of Line Segments : An Object-Superiority Effect. *Science*, *186*(4165), 752–755. doi: 10.1126/science.186.4165.752
- Whittlesea, B. W. (1987). Preservation of specific experiences in the representation of general knowledge. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and*

Cognition, 13(1), 3–17. doi: 10.1037/0278-7393.13.1.3

Wu, L.-l., & Barsalou, L. W. (2009, octobre). Perceptual simulation in conceptual combination : Evidence from property generation. *Acta Psychologica*, 132(2), 173–189. doi: 10.1016/j.actpsy.2009.02.002

Yonelinas, A. P., & Jacoby, L. L. (1994). Dissociations of processes in recognition memory : Effects of interference and of response speed. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 48(4), 516–535. doi: 10.1037/1196-1961.48.4.516

Zmigrod, S., & Hommel, B. (2011, septembre). The relationship between feature binding and consciousness : Evidence from asynchronous multi-modal stimuli. *Consciousness and Cognition*, 20(3), 586–593. doi: 10.1016/j.concog.2011.01.011

Zmigrod, S., & Hommel, B. (2013, janvier). Feature Integration across Multimodal Perception and Action : A Review. *Multisensory Research*, 26(1-2), 143–157. doi: 10.1163/22134808-00002390

Zwaan, R. A., Stanfield, R. A., & Yaxley, R. H. (2002, mars). Language Comprehenders Mentally Represent the Shapes of Objects. *Psychological Science*, 13(2), 168–171. doi: 10.1111/1467-9280.00430

ANNEXE A

Symboles	pseudomots
	/bruc/
	/clat/
	/coci/
	/dirv/
	/fipa/
	/frut/
	/gloul/
	/guejo/
	/hadu/
	/jaci/

Symboles	pseudomots
	/leda/
	/mase/
	/nebe/
	/pnog/
	/prur/
	/psal/
	/renu/
	/scax/
	/sife/
	/svys/

Figure A.1. Associations utilisées lors de l'étude 4a.

ANNEXE B

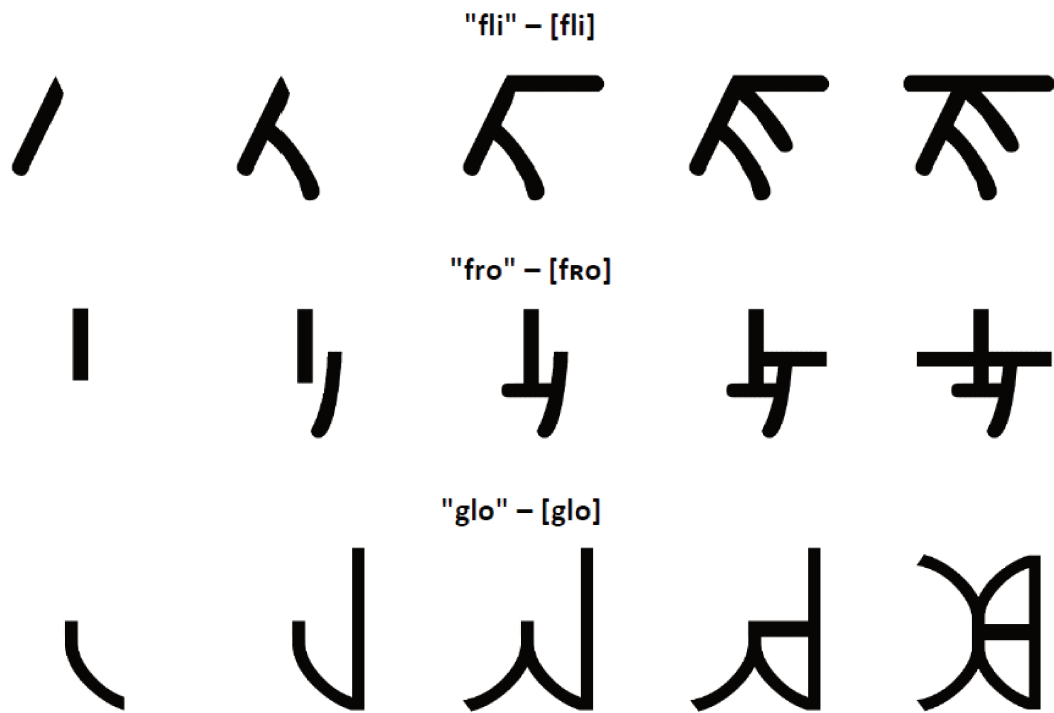


Figure B.1. Illustration de l'apparition progressive d'une forme en condition contrôle.