

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -  
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>



Université Claude Bernard Lyon 1  
Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation  
Département Orthophonie

**N° de mémoire 1911**

---

Mémoire de Grade Master 2 en Orthophonie

présenté pour l'obtention du

**Grade de Master 2 en Orthophonie**

Par

**MICHALLAND Astrid**

**Effet de la sonification dans un apprentissage multisensoriel des lettres chez des enfants de cinq ans.**

Directeurs de Mémoire

**MAGNAN Annie - ECALLE Jean**

**LABAT Hélène - BOISSON Arthur**

Date de soutenance

**24 mai 2018**

Membres du jury

**BEAUVAIS Lucie**

**BATILLY-GONIN Lydie**

**MAGNAN Annie**

**BOISSON Arthur**

Président  
**Frédéric FLEURY**

Vice-président CFVU  
**CHEVALIER Philippe**

Vice-président CA  
**REVEL Didier**

Vice-président CS  
**VALLEE Fabrice**

Directeur Général des Services  
**MARCHAND Dominique**

## Secteur Santé

U.F.R. de Médecine Lyon Est  
Directeur  
**Pr. RODE Gilles**

U.F.R d'Odontologie  
Directeur  
**Pr. BOURGEOIS Denis**

U.F.R de Médecine Lyon-Sud  
Charles Mérieux  
Directrice  
**Pr BURILLON Carole**

Institut des Sciences Pharmaceutiques  
et Biologiques  
Directrice  
**Pr VINCIGUERRA Christine**

Département de Formation et  
Centre de Recherche en Biologie  
Humaine  
Directeur  
**Pr SCHOTT Anne-Marie**

Institut des Sciences et Techniques de  
Réadaptation  
Directeur  
**Dr Xavier PERROT**

Comité de Coordination des  
Etudes Médicales (CCEM)  
**Pr COCHAT Pierre**

---

## **Institut Sciences et Techniques de Réadaptation Département ORTHOPHONIE**

Directeur ISTR  
**Xavier PERROT**

### **Equipe de direction du département d'orthophonie :**

Directeur de la formation  
**Agnès BO**

Responsables des travaux de recherche  
**Nina KLEINSZ**  
**Agnès WITKO**

Responsables de l'enseignement clinique  
**Johanne BOUQUAND**  
**Ségolène CHOPARD**  
**Claire GENTIL**

Chargées de l'évaluation des aptitudes aux études  
en vue du certificat de capacité en orthophonie

**Solveig CHAPUIS**  
**Céline GRENET**

Coordinateur de cycle 2  
**Solveig CHAPUIS**

Responsable de la formation continue  
**Johanne BOUQUAND**

Secrétariat de direction et de scolarité  
**Aurélie CHATEAUNEUF**  
**Véronique LEFEBVRE**  
**Olivier VERON**

## RESUME

La connaissance des lettres de l'alphabet chez les enfants de GSM est un des meilleurs prédictors des compétences futures de lecture. Pour améliorer l'apprentissage des lettres plusieurs études ont été menées sur les apprentissages multisensoriels issus de la pédagogie Montessori. Il a été montré qu'un apprentissage multisensoriel, haptique ou graphomoteur, améliorerait l'état des connaissances : toucher des lettres en relief ou apprendre les mouvements d'écriture soutiendrait la connaissance des lettres et permettrait d'associer plus facilement un son à un symbole graphique. Un support de plus en plus utilisé pour ces apprentissages multisensoriels est la tablette tactile qui permet de regrouper plusieurs modalités et augmente la motivation de l'enfant. Elle permet également l'écriture des lettres avec la motricité digitale plus accessible pour les jeunes enfants que par l'intermédiaire d'un outil scripteur. L'apport d'un feedback auditif permet d'apporter des précisions sur le mouvement effectué lors de l'écriture. La sonification, qui est le fait d'associer des sons aux variables du mouvement et qui permet de donner du sens à un son et de le relier à une forme graphique particulière, a montré des résultats intéressants dans l'apprentissage des mouvements d'écriture. Si la sonification permet d'améliorer l'apprentissage de ces mouvements, notre hypothèse est qu'elle pourrait également servir de lien entre le son de la lettre et sa forme pour enrichir l'association lettre-son et optimiser son apprentissage. Nous avons réalisé une étude avec un paradigme classique pré-test / entraînement / post-test sur 46 enfants de GSM pour tester notre hypothèse. Nous avons comparé les scores à plusieurs tâches de trois groupes différents : le groupe expérimental avec sonification des lettres lors de l'entraînement ; le groupe contrôle son avec mélodie présente lors de l'entraînement mais sans lien avec les lettres ; le groupe contrôle sans son lors de l'entraînement.

## MOTS-CLEFS

Enfants de 5 ans – Lecture – Ecriture – Connaissance des lettres – Entraînement multisensoriel – Sonification – Tablettes tactiles

## ABSTRACT

The knowledge of the alphabet in kindergartners is one of the best predictors of future reading skills. To improve the acquisition of letters, several studies have been conducted on multi-sensory learning using Montessori pedagogy. It has been shown that multi-sensory learning, haptic or graphomotor, improves the acquisition of reading: touching embossed letters or practicing writing movements would support letters learning and make it easier to associate a sound with a graphic symbol. A device increasingly used for this multi-sensory learning is the touchscreen tablet. It allows to use several modalities and increases the child motivation. It also allows handwriting practice using digital motor skills more accessible for young children than with a scripting tool. The contribution of a hearing feedback helps to provide precision on the movement performed during the writing. Sonification, which is the association of sounds with the variables of movement and which gives meaning to a sound and links it to a particular graphic form, has shown interesting results in the acquisition of writing movements. If sonification improves these movements acquisition, our hypothesis is that it could also be used as a link between the sound of the letter and its form to enrich the letter-sound association and optimize its acquisition. To test our hypothesis, we conducted a study with a classical paradigm pre-test / training / post-test on 46 kindergartners. We compared the scores on several tasks from three different groups: an experimental group with sonification of letters during the training; a sound control group with melody present during the training but not related to the letters; a control group without sound during the training.

## KEY WORDS

Children 5 years – Reading – Writing – Knowledge of the letters – Multi-sensory training – Sonification – touchscreen tablet

## REMERCIEMENTS

Je tiens en premier lieu à remercier les enfants qui ont participé avec gentillesse à notre étude, ainsi que leurs parents qui nous ont accordé leur confiance. Je remercie également les institutrices, les directeurs et la directrice qui nous ont ouvert leur école et leur classe : merci pour l'intérêt que vous avez porté à notre recherche, pour le temps que vous nous avez consacré et pour l'accueil que vous nous avez réservé.

Je remercie Léonie et Julie qui m'ont donné accès aux écoles dans lesquelles elles enseignent : merci pour votre aide précieuse.

Je remercie mes directeurs de mémoire et relecteurs : Arthur Boisson, Hélène Labat, Annie Magnan et Jean Ecalle. Merci pour votre confiance et pour l'intérêt que vous avez porté à mon mémoire : vos observations et vos remarques constructives m'ont permis de clarifier ma pensée et d'améliorer mon travail. Je remercie en particulier Arthur pour tout le temps qu'il m'a consacré en heures d'expérimentations, d'analyse des résultats, d'explications et de réponses à mes questionnements. Merci à tous les quatre de m'avoir associée à votre recherche et d'avoir donné une direction à mon mémoire.

Je remercie Anne-Sophie de Fromont, Anne-Angélique et Olivier Fauvet, pour leurs précieux conseils. Je remercie également Anne Gouhrant pour ses conseils bibliographiques, pour la formation zotero qu'elle dispense avec patience et pédagogie. Merci pour le temps que vous avez accordé à mon travail.

Je remercie ma famille, mes frères et sœurs, et en particulier mes parents : merci d'avoir été présents tout au long de ce mémoire et de ces études, de m'avoir donné et redonné confiance en moi et en mes capacités. Merci de m'avoir guidé vers l'orthophonie et de m'avoir offert la chance de réaliser ces études durant cinq ans.

Je remercie enfin mes fidèles amies qui m'ont accompagné pendant cinq ans et ont partagé ma passion de l'orthophonie et la vie de tous les jours : merci Eldrid, Juliette, Séverine, Constance, Chloé. Et vive l'orthofolie !!

## Sommaire

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| I Partie théorique .....           | 1  |
| 1 Introduction .....               | 1  |
| 2 Revue de littérature.....        | 1  |
| 3 Problématique et hypothèses..... | 9  |
| II Méthode.....                    | 11 |
| 1 Participants .....               | 11 |
| 2 Matériel .....                   | 11 |
| 3 Procédure .....                  | 14 |
| III Résultats.....                 | 16 |
| 1 Traitement des données .....     | 16 |
| IV Discussion.....                 | 23 |
| V Conclusion .....                 | 30 |
| Références .....                   | 31 |



# **I Partie théorique**

## **1 Introduction**

La capacité de lecture, semble être nécessaire pour pouvoir suivre un parcours scolaire classique et se repérer dans notre société actuelle. Cette compétence nécessite un apprentissage qu'il faut préparer en sensibilisant les enfants à certaines connaissances sur le langage oral, sur la structure phonologique de leur langue ou encore sur la connaissance des lettres de l'alphabet. C'est pourquoi, en termes de prévention, comprendre les processus cognitifs sous-jacents à ces connaissances permettrait de les transmettre le plus adéquatement possible à un maximum d'enfants. Pour cela, une revue des études réalisées sur ces différentes problématiques décrira quelques prédicteurs des futures habiletés de lecture afin de prévenir les risques de difficultés. Les études sur l'ajout de la modalité haptique dans les apprentissages multisensoriels permettront de comprendre le bénéfice de la multimodalité pour soutenir et améliorer les apprentissages de la lecture et de l'écriture. Nous nous intéresserons également aux tablettes tactiles comme support privilégié pour combiner plusieurs modalités. Enfin, notre travail expérimental vise à étudier si la sonification du mouvement, qui est le fait de donner du sens à un son pour renseigner sur le mouvement effectué, pourrait soutenir et favoriser la connaissance des lettres chez des enfants de grande section de maternelle (GSM), la sonification étant une modalité auditive ajoutée à une approche classique audio-visuelle.

## **2 Revue de littérature**

### **2.1 Compétences alphabétiques**

Dans une étude de 2004, Demont et Gombert s'intéressent à plusieurs modèles proposés pour décrire l'apprentissage de la lecture, dont des modèles interactifs dans lesquels les connaissances implicites sur le traitement du langage oral préexistent à l'instruction explicite du langage écrit permettant la compréhension du système alphabétique puis orthographique. En effet, l'écriture dans un système alphabétique consiste en une représentation graphique des sons de la parole. La maîtrise de ce principe alphabétique nécessite une prise de conscience des caractéristiques du langage (Alegria & Morais, 1979) en particulier, de l'existence des segments phonétiques qui sont les plus petites unités de représentations (Gentaz & Collignon, 2004). Il faut connaître les lettres pour pouvoir faire correspondre les phonèmes à des graphèmes et pouvoir ensuite lire ou écrire. Pour comprendre le système

alphabétique, il est nécessaire de pouvoir associer trois identités à une représentation unique de la lettre : le symbole visuel (la forme de la lettre) ; le nom de la lettre ; et enfin sa valeur phonémique (Bara, Lannuzel, Pronost, & Calvarin, 2013). Parmi les meilleurs prédicteurs de la compétence future de lecture, on retrouve la conscience phonologique et la connaissance des lettres, en particulier lorsque ces deux compétences sont combinées (Biot-Chevrier, Ecalle, & Magnan, 2008; Evans, Bell, Shaw, Moretti, & Page, 2006; Foulon, 2007; Hillairet de Boisferon, Colé, & Gentaz, 2010; Share, 2004). Par conséquent, pour faciliter l'apprentissage ultérieur de la lecture et de l'écriture, s'intéresser à l'apprentissage et à la connaissance des lettres de l'alphabet permettrait d'en adapter les pratiques et méthodes d'enseignement.

## **2.2 Apprentissages multisensoriels**

Le processus d'apprentissage est constitué de deux étapes fondamentales : la perception et le stockage en mémoire. En conséquence, améliorer l'un ou l'autre devrait améliorer l'apprentissage et nous nous penchons ici sur la perception. Une perception multimodale qui combinerait plusieurs sens pourrait permettre d'augmenter l'efficacité de l'apprentissage (Bara & Gentaz, 2011). En effet, un apprentissage multisensoriel permet de générer plusieurs codages simultanés qui laissent une trace en mémoire constituée de multiples propriétés. La réactivation des connaissances ultérieures est alors facilitée car la présence d'un seul indice initialement présent suffirait à réactiver l'ensemble des modalités liées à la représentation (Labat, Ecalle, Baldy, & Magnan, 2014; Marieke Longcamp, Zerbato-Poudou, & Velay, 2005). De plus, les stimuli multimodaux sont généralement perçus de manière plus précise et plus rapide que les stimuli unimodaux. L'effet McGurk a montré une perception multimodale de la parole par l'être humain qui utilise autant la vision que l'audition pour comprendre un message (MacDonald & McGurk, 1978; McGurk & MacDonald, 1976). Voir la personne parler ajouterait des informations qui permettraient de mieux la comprendre si les informations perçues sont congruentes. De la même manière, nous supposons qu'un apprentissage multisensoriel des lettres devrait permettre de mieux mémoriser et connaître ces dernières.

## **2.3 La Modalité Haptique.**

Plusieurs types d'entraînements multisensoriels ont été proposés pour améliorer l'apprentissage des lettres, en se basant sur l'action motrice et la modalité haptique.

La modalité haptique est à la fois la perception tactile transmise par la peau, et la perception kinesthésique transmise par les muscles et tendons pour ressentir la posture du corps (Sigrist, Rauter, Riener, & Wolf, 2013). Dans le cadre d'un apprentissage alphabétique, la modalité haptique peut être le fait de toucher activement l'objet, (Labat, Vallet, Magnan, & Ecalle, 2015) comme des lettres en relief ou de tracer la lettre avec le doigt à l'intérieur de formes en creux par exemple. Plusieurs expériences montrent les effets bénéfiques de l'ajout d'une exploration haptique des lettres dans l'apprentissage de la lecture et de l'écriture (Bara, Gentaz, Colé, & Sprenger-Charolles, 2004; Fredembach, de Boisferon, & Gentaz, 2009; Gentaz, Cole, & Bara, 2003; Mangen & Velay, 2010; Yu, Hinojosa, Howe, & Voelbel, 2012; Yu, Howe, & Hinojosa, 2012). L'action du sujet, à travers la manipulation physique des lettres, facilite la construction d'une représentation stable des lettres entraînées : les différentes informations perçues permettent d'enrichir une représentation unique (Boisferon, 2010; Gentaz et al., 2003; Labat, Ecalle, & Magnan, 2013; Labat, Ecalle, & Magnan, 2017). Par ailleurs, la modalité manuelle haptique, qui utilise la fonction perceptive des mains, pourrait permettre de faciliter et de favoriser la connexion, complexe à établir, entre une lettre et un son. En effet, la vision fonctionne sur un mode simultané alors que l'audition fonctionne sur un mode séquentiel. De plus, les symboles alphabétiques sont abstraits et il n'existe pas de lien logique entre la forme et le son de la lettre. La modalité haptique qui implique à la fois un fonctionnement séquentiel et une modalité spatiale pourrait alors permettre d'établir un lien entre la vision et l'audition. Fredembach et al., (2009) parlent de « bond effect » ou d'un *effet de liaison* de l'exploration haptique dans l'apprentissage arbitraire entre des stimuli visuels et auditifs et Labat, Ecalle, et Magnan, (2010) suggèrent l'existence d'un « *transfert intermodal de connaissances de la modalité sensorielle tactilo-kinesthésique à la modalité sensorielle visuelle* ». Divers moyens ont été sollicités pour stimuler l'apprentissage multisensoriel basé sur la modalité haptique : exploration manuelle ; suivi de contour avec l'index (Bara, Fredembach, & Gentaz, 2010) ; utilisation du corps entier pour percevoir les lettres (Bara et al., 2013). Ces méthodes d'apprentissage multisensoriel semblent bien adaptées aux enfants d'âge préscolaire : en effet, la modalité visuo-haptique est la modalité perceptive utilisée de manière préférentielle par les enfants pour explorer le monde et prendre connaissance des propriétés des objets qui les entourent (Dinehart & Manfra, 2013). En outre, l'exploration haptique rend l'enfant actif dans l'apprentissage et apporte un aspect

ludique, indispensable pour éveiller l'intérêt de l'enfant (Bara, Gentaz, & Colé, 2004). Par ailleurs, ces entraînements sont facilement transférables en classe si les professeurs des écoles reçoivent une formation adaptée. Il a aussi été montré que l'entraînement multisensoriel est efficace en remédiation pour des enfants ayant des difficultés dans l'apprentissage de la lecture mais également en prévention pour les enfants issus des milieux défavorisés avec plus de risque de développer des difficultés par manque de stimulation des compétences alphabétiques précoces et implicites (Bara, Gentaz, & Colé, 2007). Tous ces résultats amènent à penser que les apprentissages multisensoriels incluant la modalité haptique sont efficaces et devraient être privilégiés dans l'enseignement des lettres de l'alphabet (pour une revue, voir Hillairet de Boisferon, Bara, Gentaz, & Colé, 2007; Longcamp, Lagarrigue, & Velay, 2010). En particulier, la modalité haptique semble renforcer le lien entre la modalité auditive et la modalité visuelle, favorisant l'association lettre-son.

#### **2.4 Graphomotricité et mouvements d'écriture.**

Un autre mouvement moteur que l'on peut naturellement associer à une lettre est son mouvement d'écriture. La représentation sensorimotrice d'une lettre serait associée à sa représentation visuelle du fait de l'apprentissage concomitant de la lecture et de l'écriture. Longcamp, Anton, Roth, & Velay, (2003) ont montré, à l'aide d'une étude en IRMf, que visualiser simplement une lettre suffit à activer l'aire motrice correspondante, également activée lors de l'écriture de la lettre, chez des adultes connaissant le système alphabétique. Les capacités de connaissance des lettres et de mouvement d'écriture exerceraient l'une sur l'autre une influence réciproque (Bara, Morin, Alamargot, & Bosse, 2016; Vinter & Chartrel, 2008). L'apprentissage de l'écriture nécessite de connaître la forme des lettres pour guider la production motrice et, parallèlement, d'apprendre et maîtriser le geste moteur (Chartrel & Vinter, 2008). L'enfant doit donc acquérir : les représentations visuelles et motrices des lettres ainsi que les capacités de motricité fine nécessaires pour tracer leur symbole (Bara & Gentaz, 2010). Percevoir précisément et stocker efficacement en mémoire la forme d'une lettre permet de mieux l'écrire (pour une revue voir Bara & Gentaz, 2010). Réciproquement, les mouvements d'écriture, en créant des connexions sensori-motrices, facilitent la spécialisation neurale et favorisent la reconnaissance des lettres. (Kersey & James, 2013). Plusieurs études ont ainsi été menées pour montrer l'importance des mouvements d'écriture pour la représentation interne et une meilleure

reconnaissance ultérieure des lettres, le mouvement d'écriture étant relié à la forme de la lettre (Kiefer et al., 2015; Vinci-Booher, James, & James, 2016; Wollscheid, Sjaastad, Tømte, & Løver, 2016). En effet, nos mouvements et actions organisent nos perceptions et permettent de construire nos représentations spatio-temporelles. Les mouvements d'écriture pourraient donc contribuer à la mémorisation de la forme et de l'orientation des lettres et participer à leur reconnaissance visuelle (James & Engelhardt, 2012; Labat et al., 2014; Labat et al., 2015; Longcamp et al., 2008; Longcamp, Boucard, Gilhodes, & Velay, 2006; Longcamp et al., 2005; Velay, Longcamp, & Zerbato-Poudou, 2004). Pour améliorer les mouvements d'écriture et la représentation interne des lettres, certains chercheurs ont étudié quel pouvait être l'apport de guidages haptiques extérieurs au scripteur (Bluteau, Coquillart, Payan, & Gentaz, 2008; Palluel-Germain et al., 2007). Ces dispositifs sont constitués d'interfaces qui génèrent une force qui attire le stylo et qui oblige l'enfant à suivre des lignes virtuelles prédéfinies pour reproduire la forme de la lettre. Ils apportent des indices proprioceptifs supplémentaires et semblent efficaces, mais leur forme les rend peu aisés à mettre en place et à utiliser à l'échelle d'une classe. Dans le même objectif d'apprentissage du décodage et du tracé des lettres, une recherche a porté sur l'exploration visuo-haptique de lettres en creux qui a montré un impact favorable sur l'apprentissage du décodage et des répercussions positives sur l'apprentissage du geste moteur dans le sens conventionnel de l'écriture. (Bara, Fredembach, & Gentaz, 2010). La motricité manuelle mise en jeu pendant l'apprentissage de l'écrit participerait à la représentation et à la mémorisation des lettres car l'acte moteur crée et ancre une représentation conceptuelle (feedback visuel) et une représentation procédurale (acte moteur) associées de la lettre (Labat, Magnan, & Ecalle, 2011). De manière générale, la mémoire motrice serait plus stable dans le temps, le modèle moteur interne se construisant graduellement et se consolidant avec le temps, et pourrait soutenir la mémoire visuelle (Longcamp et al., 2006). Enfin, une fois que le mouvement est complètement appris et automatisé, la mémoire motrice peut maintenir à long terme le mouvement. En revanche, le contrôle moteur fin nécessaire aux mouvements d'écriture se développe avec l'âge. Il convient donc de respecter une certaine temporalité dans l'apprentissage de l'écrit, la motricité fine étant une variable clé dans le développement de l'écriture (Dinehart, 2015). Là encore, la multi-sensorialité offerte par les mouvements d'écriture semble permettre à l'apprenant une meilleure connaissance des lettres de l'alphabet en enrichissant leur représentation interne.

Pour mettre en place un apprentissage multisensoriel, il convient de trouver un outil adapté, facilitant la multimodalité, et qui soit facile d'utilisation pour un jeune enfant, de manière autonome. Un outil récent qui combine ces caractéristiques est la tablette tactile et plusieurs auteurs se sont intéressés aux pratiques et aux usages dans le milieu scolaire et universitaire (Alamargot & Morin, 2015; Berninger, Nagy, Tanimoto, Thompson, & Abbott, 2015; Taipale, 2015; Vincent, 2016; Wollscheid, Sjaastad, & Tømte, 2016).

## **2.5 L'utilisation des tablettes tactiles**

La tablette est une interface visuo-haptique via le sens du toucher et les jeunes enfants ont accès très facilement à cet outil digital déjà très présent dans les familles et dans certaines écoles (Neumann, 2014; Neumann & Neumann, 2014). Dans une étude de 2016, Neumann relève que les enfants, même très jeunes savent interagir de façon autonome avec un écran de tablette. Ces outils appartenant au quotidien des enfants, il apparaît opportun de les utiliser pour faire émerger les compétences alphabétiques comme le nom des lettres. Dans l'ensemble, les recherches examinées suggèrent que les tablettes et applications sont des outils positifs pouvant soutenir certains aspects de l'alphabétisation émergente comme la connaissance et l'écriture des lettres (Jolly & Gentaz, 2013; Neumann & Neumann, 2017). D'autre part, la tablette apporte un véritable bénéfice au niveau de sa modalité tactile. Patchan et Puranik, (2016) ont comparé 3 conditions pour apprendre les formes des lettres : papier-crayon ; tablette-doigt ; tablette-stylet et montrent que le développement de l'écriture chez les jeunes enfants serait meilleur lorsqu'ils utilisent leur doigt directement sur la tablette. En effet, cette expérience tactile enrichie est différente de celle apportée par la médiation du papier ou du stylet et offre des informations proprioceptives supplémentaires qui résultent du contact direct du doigt. De plus, comme nous l'avons vu auparavant, la motricité fine nécessite une maturation du système moteur qui permet à l'enfant d'exécuter les gestes fins, nécessaires à l'écriture, or les mouvements digitaux sont moins fins que ceux liés à l'utilisation d'un outil scripteur et l'utilisation du doigt serait plus aisée pour les jeunes enfants. Il existe d'autres avantages liés à l'utilisation de la tablette tactile : son utilisation rapide et sa portabilité ; son utilisation indépendante car l'enfant peut travailler à son rythme et recevoir une aide adaptée à ses problèmes spécifiques ; et enfin, ce qui n'est pas négligeable, cet outil augmente le niveau de motivation des élèves et améliore leur engagement dans l'activité (Ecalte et al., 2016).

En revanche, il faut être vigilant lors de la création d'un environnement avec dispositif digital : les parents comme les enseignants ont un rôle à jouer dans les propositions qu'ils font à l'enfant sur la tablette en privilégiant et en favorisant les interactions humaines. Il convient aussi d'être attentif aux applications proposées pour un apprentissage ergonomique : simplifier au maximum l'interface pour faciliter son utilisation et ne pas rajouter de charge cognitive à l'enfant en plus du travail pédagogique. Il est clair aussi que ce n'est pas l'outil lui-même qui impacte les performances, malgré son aspect novateur et attrayant qui suscite une certaine motivation, mais bien l'utilisation qu'on en fait, nécessitant une formation initiale et un soutien indispensable. Si la tablette n'est pas un outil magique, elle comporte cependant de nombreux avantages et se présente surtout comme un support permettant un apprentissage multimodal en générant plusieurs modalités à la fois : l'audition car elle produit du son ; la vision par ce qui s'affiche à l'écran ; et la modalité haptique via son interface tactile. La tablette présente par ailleurs, deux intérêts majeurs dans l'apprentissage : elle permet d'enregistrer des mouvements d'écriture et elle apporte deux types de feedback à l'utilisateur (Danna, Paz-Villagrán, & Velay, 2013). Un feedback intrinsèque, renvoyé par les modalités sensorielles qui donne une double information sur l'écriture : l'information visuelle laissée par la trace et l'information sensorielle naturelle kinesthésique qui résulte du mouvement. Et un feedback extrinsèque donné par la tablette qui peut se présenter sous forme de retour visuel, auditif, haptique ou multimodal. Cette information élaborée par une source externe permet de relier la performance individuelle de l'apprenant à une performance souhaitée.

## **2.6 La sonification**

Dans le cadre de l'apprentissage de l'écriture, le retour auditif apparaît pertinent comme rétroaction augmentée pour informer sur l'exactitude d'un mouvement en cours. En effet, l'audition permet une perception temporelle fine et dynamique des mouvements, enrichie par la transformation de certains paramètres cinématiques ou dynamiques en sons appropriés. De plus cette modalité permet de donner des informations en temps réel sans interférer directement avec le feedback visuel et proprioceptif. Il existe plusieurs types de feedbacks auditifs parmi lesquels la sonification du mouvement, qui associe des variables choisies du mouvement à des paramètres sonores. Dans le cadre de l'écriture, la sonification des mouvements

« silencieux » peut alors être exploitée pour créer une représentation cognitive plus stable et plus précise des mouvements ; c'est-à-dire rendre les variables cachées de l'écriture perceptibles pour un examinateur externe ou pour le scripteur lui-même en leur associant des sons intuitifs pour en faciliter l'analyse ou accompagner la continuité du geste en temps réel. Une étude sur la possibilité d'utiliser les sons de frottement du crayon sur le papier, naturellement présents, pour renseigner sur les formes graphiques a également montré des résultats positifs (Thoret, 2014; Thoret, Aramaki, Kronland-Martinet, Velay, & Ystad, 2014). Les effets positifs de la procédure de sonification ont été montrés chez des adultes experts (Danna et al., 2015) et chez des enfants dysgraphiques (Danna, Velay, et al., 2013). La sonification de certaines caractéristiques dynamiques du mouvement comme la pression, la vitesse et les pics de vitesse semble être un outil pertinent et utile pour le diagnostic et la réhabilitation de certaines difficultés d'écriture liées à des déficiences développementales telles que la dysgraphie ou à des déficiences acquises comme celles liées à la maladie de Parkinson (Danna, Paz-Villagran, et al., 2013; Danna, Paz-Villagrán, Thoret, et al., 2013; Danna, Velay, et al., 2013; Danna & Velay, 2015). En outre, cette nouvelle modalité apporte une motivation pour l'enfant par son aspect ludique, émotionnel et esthétique (Andersen & Zhai, 2010). Il faut donc veiller à ce que les sons génèrent une réaction positive chez les enfants. Toutefois l'impact de ce feedback auditif dépend de l'interprétation intuitive correcte de la sonification du mouvement. Il importe donc d'associer des sons interprétables aux variables spécifiques du mouvement de l'écriture, ce qui nécessite de trouver les variables du mouvement les plus pertinentes, puis de trouver la ou les dimensions auditives appropriées pour cartographier les mouvements d'écriture (pour une revue de synthèse sur le sujet voir Danna et al., 2015). Il faut également tenir compte du phénomène de dépendance au feedback selon lequel la rétroaction auditive pourrait induire une accoutumance à cette information ce qui nuirait alors à la performance lorsque la rétroaction est retirée. La conception d'une rétroaction auditive peut utiliser plusieurs paramètres et dimensions sonores : le volume, le timbre, la hauteur et il a été montré que la hauteur était un choix intuitif pour la position des mouvements verticaux (Sigrist et al., 2013). Effenberg, Schmitz, Baumann, Rosenhahn, & Kroeger, (2015) proposent une nouvelle méthode de sonification du mouvement appelée « Soundscript » pour soutenir l'apprentissage de l'écriture des lettres par les enfants de cinq ans. Un feedback auditif en temps réel est fourni au scripteur : un son généré par voie électronique sur la base d'un timbre de



saxophone, pendant la réalisation du caractère et pendant tout le temps que dure le processus d'écriture. Les lettres sont présentées dynamiquement sur la tablette « en train de se tracer », et le système traduit simultanément la trace écrite en son. Les variables retenues sont les suivantes : la fréquence ou la hauteur du son pour la position verticale haut-bas ; l'amplitude ou le volume du son pour la pression de la pointe du stylo ; et enfin la composition spectrale du son pour la position horizontale droite-gauche. L'écriture du caractère par le scripteur génère également une trace auditive simultanée à la trace écrite visuelle. Les résultats montrent des effets positifs sur le processus d'acquisition de l'écriture, dans la condition avec sonification comparativement à un apprentissage avec un son statique (sans lien avec la forme de la lettre) et à un apprentissage sans ajout de son, comprenant seulement le bruit naturellement produit par le stylo sur le papier, sans amplification. Les auteurs notent également une plus grande précision de la forme de chaque caractère car les sujets sont capables d'une différenciation plus fiable entre les caractères proches visuellement. Les résultats de cette étude proposent une nouvelle utilisation possible de la sonification dans l'apprentissage de l'écriture et semblent montrer de réels bénéfices. Approfondir ces recherches permettrait de savoir si la sonification, à la manière de la modalité haptique, pourrait également servir de lien entre la forme visuelle et la forme auditive des lettres et pourrait, en plus de soutenir l'écriture, soutenir l'association lettre-son contenue dans la représentation interne de la lettre.

### **3 Problématique et hypothèses**

L'apprentissage de la lecture et de l'écriture par les jeunes enfants nécessite d'acquérir certaines connaissances sur le langage oral (conscience phonémique) et sur le langage écrit (connaissance des lettres de l'alphabet). Ce travail porte sur la connaissance des lettres. Pour associer la forme graphique et le son d'une lettre en une unique représentation il faut pouvoir traiter parallèlement la modalité auditive et la modalité visuelle. Pour cela, les modalités haptique et graphomotrice intégrées dans un apprentissage multimodal semblent faciliter la création d'un lien entre ces deux premières modalités. De plus, la multi-sensorialité favorise l'apprentissage en enrichissant les représentations internes. De cette manière, l'apprentissage concomitant de l'écriture et de la lecture est bénéfique et permet une bonne connaissance des lettres. Pour soutenir et renforcer l'apprentissage de l'écriture, la sonification, qui transmet du sens sur un mouvement ou une forme à travers un son,

utilisée comme feedback en temps réel, a déjà montré des résultats positifs sur l'apprentissage des mouvements d'écriture. Cette nouvelle modalité auditive, qui permet de faciliter le couplage sensori-moteur entre la perception auditive d'un évènement et la représentation motrice qui en est déduite, ainsi que les recherches sur le traitement haptique permettant de faire le lien entre deux modalités, amènent à se demander si la sonification pourrait également permettre de faciliter la correspondance entre le son et la forme de la lettre et ainsi favoriser l'apprentissage des correspondances graphèmes-phonèmes nécessaires à la lecture et à la transcription. En effet, la sonification donne des indications sur la forme visuelle et elle partage la modalité auditive du son de la lettre ; elle pourrait donc créer un « pont » entre la représentation auditive et la représentation visuelle de la lettre. En conséquence, l'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de la sonification des mouvements de tracé des lettres au cours d'un entraînement multimodal sur la connaissance des lettres. Cet entraînement cible la connaissance des correspondances graphème-phonème et la compréhension du principe alphabétique chez des enfants de grande section de maternelle. L'entraînement multisensoriel a lieu sur une tablette tactile et il est composé des modalités auditive, visuelle et kinesthésique car il est demandé à l'enfant de tracer les lettres sur lesquelles portent l'entraînement. Nous postulons que l'ajout de la sonification lors d'un entraînement multisensoriel devrait améliorer et maximiser la connaissance des lettres de l'alphabet et ainsi donner de meilleures performances que dans la condition d'entraînement multisensoriel sans sonification.

## II Méthode

### 1 Participants

46 enfants français (20 filles et 26 garçons) d'une moyenne d'âge de 5 ans 9 mois (de 5 ans 3 mois à 6 ans 2 mois) ont participé à cette étude. Tous les enfants étaient scolarisés dans trois classes de grande section de maternelle de Lyon (69) provenant de deux écoles privées sous contrat et d'une école publique (milieux socio-culturels variés). 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), (cf. tableau 3).

### 2 Matériel

#### 2.1 Matériel d'évaluation utilisé en pré- et post-tests

Nous avons utilisé 5 tâches présentées dans un ordre aléatoire aux enfants :

##### 2.2.1 Tâche de reconnaissance des phonèmes (score /32).

L'enfant entend le nom d'un personnage fictif énoncé par l'expérimentateur (« pazi »). Il doit montrer sur une planche contenant 8 lettres, la ou les lettres dont « il a entendu le son ». L'expérimentateur énonce 16 items contenant 2 consonnes à chaque fois et la liste des mots est donnée en annexe A. Chaque item possède une planche spécifique contenant les deux consonnes cibles ainsi que six autres consonnes qui servent de distracteurs. Une des planches utilisées est proposée en annexe B.

##### 2.2.2 Tâche de décodage (score /32).

Dans cette tâche de décodage de pseudo-mots (PM), l'enfant doit lire des étiquettes comprenant le « nom » de personnages fictifs (cf. annexe C).

##### 2.2.3 Tâche de dictée de pseudo-mots (score /24).

Dans la tâche de dictée de pseudo-mots bisyllabiques (adaptation de Biot-Chevrier, Ecalle, & Magnan, 2008), il est demandé aux enfants d'écrire le nom « de drôles de petits personnages ». Nous avons remis en annexe D le support proposé aux enfants et la liste des pseudo-mots en annexe E.

##### 2.2.4 Tâche de reconnaissance des lettres (Temps de réaction).

Cette tâche de reconnaissance visuelle des lettres, présentée sur tablette tactile, consistait pour l'enfant à décider, parmi 8 lettres apprises et 8 symboles inconnus, s'il

reconnaissait le symbole présenté comme étant une lettre ou non en appuyant sur une touche tactile verte ou rouge. Une image de l'écran donne un exemple de cette tâche en annexe F. On mesure les temps de réaction en pré- et post-test ce qui devrait nous permettre de marquer une différence entre les lettres entraînées (E) et celles qui ne le sont pas (NE) : les enfants devraient reconnaître plus rapidement les lettres E.

#### *2.2.5 Tâche de copie de lettres (évaluation extérieure par des juges).*

Cette tâche consiste en une copie de lettre sur tablette tactile. Un modèle est présenté à gauche et l'enfant doit reproduire la lettre à droite de l'écran sur une surface blanche. Une copie de l'écran est proposée en annexe G. Cette tâche porte sur les 8 lettres entraînées et sur 8 lettres non-entraînées, et chaque lettre est présentée 2 fois. L'évaluation de la qualité graphique de la lettre se fait sur une échelle de 0 à 4 par un jury composé de trois personnes qui évaluent l'aspect statique (rendu) et l'aspect dynamique (ductus) du graphisme. Cette tâche de copie de lettres sur tablette tactile en pré- et post-test peut nous permettre d'évaluer le graphisme et de confirmer des études antérieures sur le bénéfice de l'ajout de la sonification dans un apprentissage multisensoriel du mouvement graphique.

On utilise également un **test d'intelligence non verbale issu de la BREV, Batterie Rapide d'Evaluation des Fonctions cognitives**, (Billard et al., 2001) : La tâche utilisée de complétion de formes, pour le pré-test uniquement, permet de répartir les enfants dans les groupes de manière homogène. Cette tâche s'inspire des matrices de Raven et consiste à retrouver, parmi des intrus, la forme la plus adaptée pour compléter la figure.

Dans chacune des tâches, nous évaluons les lettres entraînées (E) et des lettres non entraînées (NE). Chaque tâche donne donc un score total, divisé en deux sous-scores égaux, un pour chaque catégorie de lettres E et NE. Les lettres entraînées sont présentées avec leurs traits phonétiques dans le tableau 1 et un seul trait phonétique permet de distinguer les deux lettres de chaque couple.

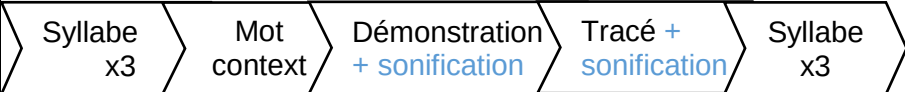
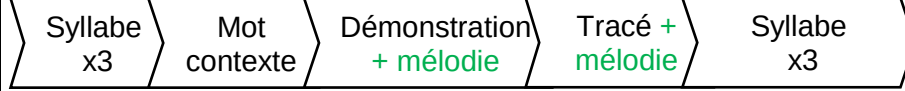
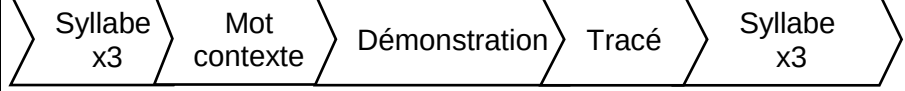
Tableau 1. Caractéristiques phonétiques des lettres entraînées.

| Lettres entraînées | Traits phonétiques                           |
|--------------------|----------------------------------------------|
| <b>P</b>           | Constrictive occlusive sourde bilabiale      |
| <b>B</b>           | Constrictive occlusive sonore bilabiale      |
| <b>T</b>           | Constrictive occlusive sourde apico-dentale  |
| <b>D</b>           | Constrictive occlusive sonore apico-dentale  |
| <b>K</b>           | Constrictive occlusive sourde dorso-palatale |
| <b>G</b>           | Constrictive occlusive sonore dorso-palatale |
| <b>F</b>           | Constrictive fricative sourde labio-dentale  |
| <b>V</b>           | Constrictive fricative sonore labio-dentale  |

### 2.3 Matériel pour la session d'entraînement et de révision

Pour les sessions d'entraînement et de révision, toutes les tâches se réalisent sur tablette tactile avec un casque audio. Une syllabe écrite apparaît sur la partie gauche de la tablette et l'enfant entend son nom trois fois. Puis il entend un mot qui contient cette syllabe (tous les mots de contexte sont présentés en annexe H). Il voit ensuite une démonstration du tracé de la lettre cible : la consonne se trace progressivement et la voyelle reste fixe. Cette démonstration s'accompagne, en fonction du groupe, de la sonification (E), d'un son neutre (CS), ou de silence (C). L'enfant garde le modèle visible sur une moitié de l'écran et il doit reproduire la forme de la consonne sur l'autre partie de l'écran. Il trace la lettre à partir d'un modèle grisé déjà présent qui lui sert de support et d'aide. Le tracé de la lettre par l'enfant s'accompagne de la même modalité auditive que lors de la démonstration initiale : sonification, son ou silence. La lettre ne se colore en noir que si l'enfant la trace dans le sens conventionnel d'écriture : avec les bons points de reprise et dans le bon sens de tracé. Lorsque l'enfant a terminé de tracer la lettre, il entend à nouveau le nom de la syllabe trois fois. Puis l'entraînement passe à une autre lettre insérée dans une nouvelle syllabe. Le déroulé des types d'entraînement est présenté dans le tableau 2. Chaque session d'entraînement comporte un couple de 2 lettres et chaque lettre est présentée 12 fois ce qui nécessite 24 présentations au total pour une séance qui dure environ 20 minutes. Pour la session de révision, la séance se déroule de la même manière mais avec une présentation de toutes les lettres dans la même séance avec 24 présentations au total, chaque lettre étant présentée 3 fois. Un exemple des images successives apparaissant à l'écran lors de l'entraînement ou de la révision est présenté en annexe I.

Tableau 2. Les types d'entraînement en fonction des groupes.

| Groupe | Procédure des sessions d'entraînement                                              | Nombre d'enfants |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| E      |  | 15               |
| CS     |  | 15               |
| C      |  | 16               |

### 3 Procédure

La procédure utilisée est de type pré-test, entraînement, révision, post-test. L'ensemble de la procédure est décrit dans le tableau 3. L'entraînement est multimodal puisqu'il comprend la modalité visuelle : l'enfant voit ce qui s'affiche sur l'écran ; la modalité auditive qui comprend deux situations : la modalité auditive « pure » qui correspond au son des syllabes et des mots et la modalité auditive ajoutée lors de l'entraînement dans deux conditions (cf. tableau 2) ; et enfin la modalité haptique car il est demandé à l'enfant de reproduire la forme de la lettre avec le doigt (cf. Annexe I). La sonification utilisée a été créée en s'inspirant de l'étude de Effenberg, Schmitz, Baumann, Rosenhahn, et Kroeger, (2015). Les variables de sonification retenues sont principalement spatiales : au niveau vertical le son varie en hauteur (aigu pour le haut – grave pour le bas) et au niveau horizontal, le son varie au niveau du timbre (plus le mouvement va vers la droite et plus le son est « riche »). Un exemple de sonification d'une lettre (fa) et un exemple de mélodie appliquée sur la lettre (ba) dans la condition contrôle son sont disponibles en ligne (Boisson, 2018). Les enfants sont répartis en trois groupes, chaque groupe suit un entraînement spécifique : « Expérimental : E » ; « Contrôle Son : CS » et « Contrôle : C » (cf. tableau 2). Les enfants sortent de leur classe pour réaliser la séance sur la tablette et ils portent un casque audio sur les oreilles tout au long de la séance. Les expérimentations ont eu lieu entre fin janvier et début avril 2018 avec un écart de deux mois entre la première école et la dernière. Les mesures réalisées lors du pré-test nous ont permis d'homogénéiser les groupes en constituant ces derniers à partir des trois écoles et de mesurer une évolution en comparant ces mesures à celles réalisées lors du post-test. Les groupes ont été

constitués à partir des résultats au pré-test et en particulier : le score total cumulé sur les tests 1, 2 et 3 et le nombre de bonnes réponses dans la tâche de reconnaissance visuelle des lettres sur tablette ainsi que les résultats à la BREV réalisée le premier jour. Le test ANOVA de comparaison de variances n'indiquait pas d'effet significatif du groupe sur le score obtenu aux différentes tâches du pré-test ( $F < 1$ ). Le choix de groupes inter-sujet permet d'éviter un transfert possible des apprentissages en condition de sonification aux apprentissages sans sonification. Le groupe contrôle son nous permet de contrôler si les améliorations qui pourraient être observées dans la condition avec sonification sont liées à la sonification elle-même (per se) et au fait que le son ait un lien avec la forme de la lettre ou à la motivation apportée par l'environnement sonore. Les enfants n'ont pas encore été confrontés à un apprentissage de la lecture. En revanche, ils possèdent déjà certaines connaissances sur les lettres script. Nous avons donc choisi d'utiliser l'écriture cursive pour éviter un effet plafond de notre entraînement.

Tableau 3. Procédure complète de l'étude.

| Temps  | t0                      | t1                      | t2                | t3                |
|--------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|
| Jour   | J1                      | J2 J3 J4 J5             | J6                | J7                |
| Phase  | <b>Pré-tests</b>        | <b>Entraînement</b>     | <b>Révision</b>   | <b>Post-tests</b> |
| Tâches | Tests 1 2 3 4 5<br>BREV | (b/p) (t/d) (f/v) (k/g) | (b/p/t/d/f/v/k/g) | Tests 1 2 3 4 5   |

Nous pensons observer un effet bénéfique de l'ajout de la sonification dans l'apprentissage des lettres de l'alphabet et nous nous attendons à observer une progression dans la condition expérimentale E avec sonification entre le pré- et le post-test (Hypothèse 1). Les résultats aux post-tests devraient être meilleurs, comparativement aux pré-tests, dans toutes les conditions du fait de l'entraînement (Hypothèse 2), mais l'entraînement expérimental E devrait causer une progression plus élevée que les deux autres conditions. Nous ne pensons pas observer de différence entre les progressions du groupe contrôle et du groupe contrôle son. Enfin, nous pensons obtenir une progression pour les lettres E que nous ne pensons pas observer pour les lettres NE (Hypothèse 3).

### III Résultats

#### 1 Traitement des données

La procédure utilisée pour cette étude était un paradigme classique pré-test / entraînement / révision / post-test, avec trois groupes indépendants, qui évaluait deux types de lettres entraînées et non entraînées (E / NE). Parmi nos variables indépendantes nous possédions donc trois facteurs : Le facteur inter-sujet **groupe** qui possède trois conditions (C / CS / E) ; le facteur intra-sujet **temps** avec deux conditions (pré- et post-test) ; et le facteur intra-sujet **type** de lettres qui possède deux conditions (E et NE).

La variable dépendante **réponse correcte** était mesurée par le score cumulé aux tâches 1, 2 et 3. Pour rappel, la tâche 1 consiste en une tâche de reconnaissance des sons des lettres : l'enfant entend un mot bisyllabique et il doit montrer sur une planche contenant plusieurs lettres, celles dont il pense avoir entendu le son dans le mot énoncé. La tâche 2 est une tâche de décodage de pseudo-mots bisyllabiques. Et la tâche 3 est une tâche de dictée de pseudo-mots bisyllabiques. La variable dépendante **temps de réponse (TR)** était mesurée par la tâche 4 de reconnaissance des lettres. Enfin, la variable dépendante de la tâche 5 de copie de lettres était un **jugement**. L'évaluation de la qualité graphique de la lettre se fait sur une échelle de 0 à 4 par un jury composé de trois personnes qui évaluent l'aspect statique (rendu) et l'aspect dynamique (ductus) du graphisme. Les trois juges étaient une étudiante en orthophonie, une institutrice et un doctorant en neuropsychologie ; et une moyenne des notes attribuées a été calculée pour chaque lettre. Il y avait donc deux mesures pour cette tâche. Toutes ces tâches nous permettent de tester les lettres entraînées E et des lettres non entraînées NE. Afin d'analyser ces résultats, nous avons réalisé des analyses de variance à l'aide du logiciel JASP (JASP Team, 2018).

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., Entraînées et Non-Entraînées) en tant que facteur intra-sujets. Lorsque nécessaire, des tests post-hoc de Student ont été réalisés afin d'approfondir les résultats des ANOVAs. L'ensemble des moyennes pour chaque tâche et pour chaque groupe est présenté dans le tableau 4 pour le pré-test et dans le tableau 5 pour le post-test.



Les résultats obtenus sont présentés dans les figures 1, 2 et 3. Dans ces figures, seule la différence entre le post-test et le pré-test de chaque tâche est représentée. Ainsi, un enfant ayant obtenu 5 au pré-test et 9 au post-test aura une progression de +4 par exemple, et un enfant ayant obtenu 0 puis 3 aura une progression de +3. Cela nous permet de représenter nos trois facteurs pour chaque test : le groupe, le type de lettre et la progression entre pré-test et post-test. Les groupes étaient les suivants : E ou expérimental avec sonification des lettres lors de l'entraînement ; CS ou contrôle son avec mélodie mais sans lien avec la forme de la lettre pendant l'entraînement ; et C ou contrôle, sans son durant l'entraînement.

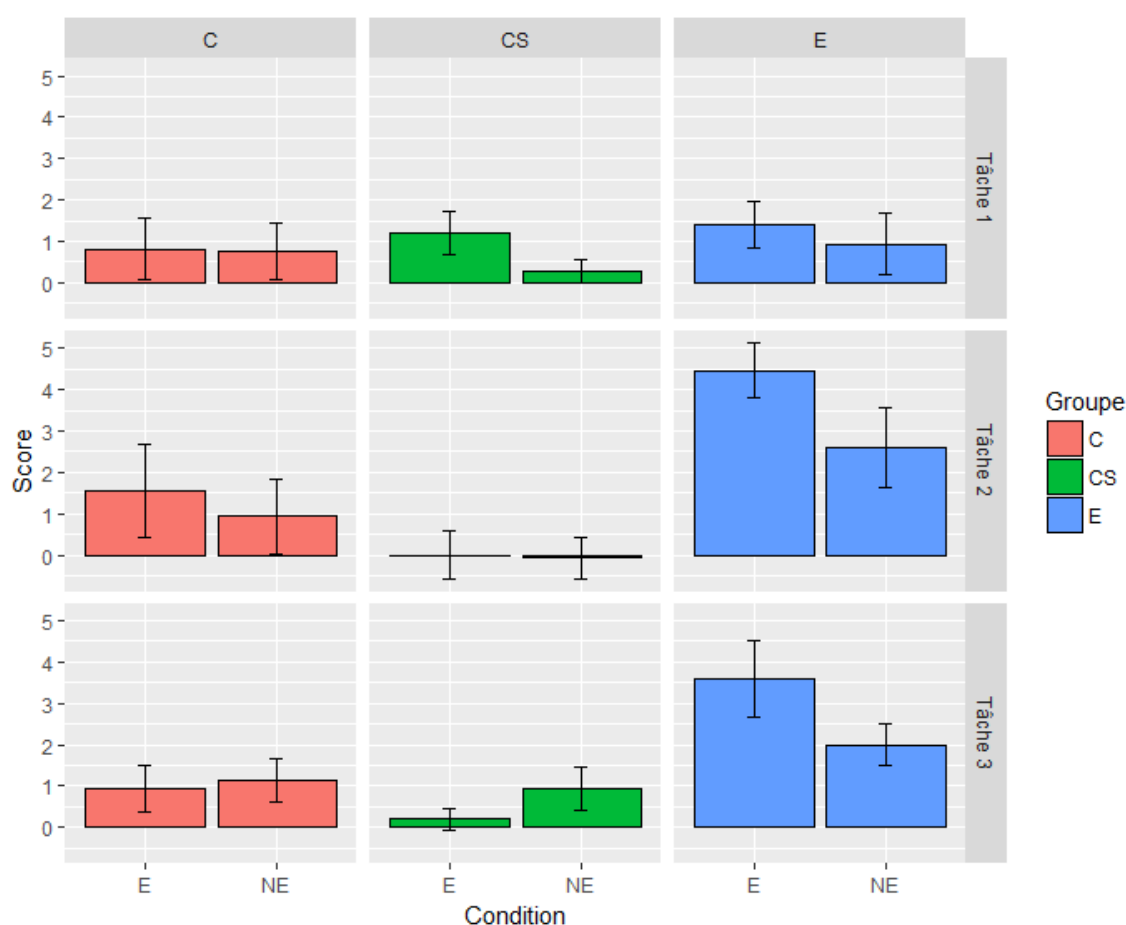


Figure 1. Moyennes et erreurs standards de la progression obtenue entre le pré- et le post-test en fonction des groupes et du type de lettres (i.e., Entraînées / Non Entraînées) pour les tâches 1, 2 et 3.

### **1.1 Tâche de reconnaissance des phonèmes**

Cette tâche nous permet d'évaluer si l'enfant associe le son de la lettre à son symbole graphique, sans aucune production de la part de l'enfant puisqu'il doit désigner seulement la lettre sans production écrite ou orale. L'ANOVA met en évidence un effet significatif du temps sur les scores obtenus au test 1,  $F(1, 43) = 9.76, p < .01$ . Plus précisément, Les enfants ont obtenu de meilleures performances au post-test qu'au pré-test. Aucune différence significative n'a été mise en évidence pour les autres facteurs,  $p > 0.10$ .

### **1.2 Tâche de décodage de pseudo-mots**

Cette épreuve est une tâche de décodage et nous permet de voir si l'enfant reconnaît le symbole graphique et s'il peut lui associer un son. L'ANOVA met en évidence un effet significatif du temps sur les scores obtenus  $F(1, 43) = 15.04, p < .01$ . Les scores sont donc significativement meilleurs au post-test qu'au pré-test. Il existe également un effet du type de lettres  $F(1, 43) = 12.67, p < .01$ , en faveur des lettres entraînées. Enfin, il existe un effet d'interaction Groupe\*Temps,  $F(2, 43) = 6.40, p < .01$ . 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 pré-test et post-test est significativement supérieure à celle des enfants des deux autres groupes réunis ( $M = 1.26$ ),  $t(44) = 3.61, p < .01$ . L'analyse de variance n'a révélé aucun autre effet significatif,  $p > .10$ .

### **1.3 Tâche de dictée de pseudo-mots**

Cette tâche de dictée de pseudo-mots demande aux enfants d'écrire et d'utiliser la conversion phono-graphémique : ils doivent traduire un son en un symbole graphique. L'ANOVA met en évidence un effet du temps sur les résultats,  $F(1, 43) = 31.68, p < .01$ . En particulier, les scores sont supérieurs au post-test qu'au pré-test. Il existe également un effet d'interaction Groupe\*Temps  $F(2, 43) = 6.71, p < .01$ . La progression entre pré-test et post-test diffère donc significativement selon le Groupe. De la même la 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 deux autres groupes réunis ( $M = +1.61$ ),  $t(44) = 3.61$ ,  $p < .01$ . . L'analyse de variance n'a révélé aucun autre effet significatif,  $p > .10$ .

#### 1.4 Tâche de reconnaissance des lettres

Le test 4 de reconnaissance des lettres demandait aux enfants de reconnaître visuellement les symboles graphiques comme étant des lettres appartenant au système alphabétique ou non. La figure 2 présente le gain de temps entre le pré-test et le post-test. Le groupe E a été plus rapide d'environ 1500 ms au post-test par rapport au pré-test. La figure présente des différences entre les groupes, mais la variabilité est importante et les tests ANOVAs réalisés ne révèlent pas d'effet significatif d'interaction groupe\*temps,  $p > 0.10$

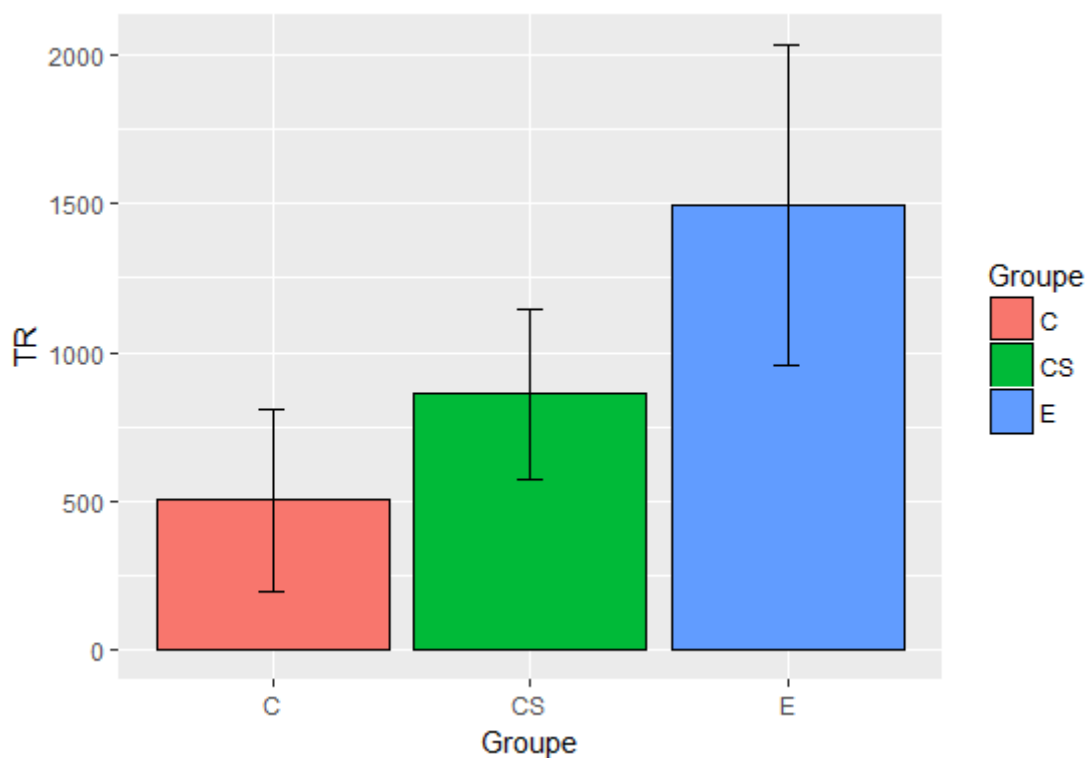


Figure 2. Gain en temps de réaction entre le pré- et le post-test au test 4 de reconnaissance des lettres pour les trois groupes.

#### 1.5 Tâche de copie de lettres

Deux mesures différentes ont été analysées pour cette tâche : 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. 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. Des exemples de l'écran lors de la notation sont présentés en annexe J pour le rendu et en annexe K pour le ductus.

En ce qui concerne le rendu final, la figure 2 présente les résultats obtenus. L'analyse de variance révèle un effet significatif du facteur temps,  $F(1, 43) = 5.22$ ,  $p < 0.05$  indiquant des performances des enfants globalement supérieures au post-test qu'au pré-test. L'ANOVA révèle également un effet significatif de la condition,  $F(1, 43) = 16.15$ ,  $p < 0.05$ , les lettres E obtenant des scores plus élevés que les lettres NE. Il n'existe pas d'autres effets significatifs ( $p > 0.10$ ).

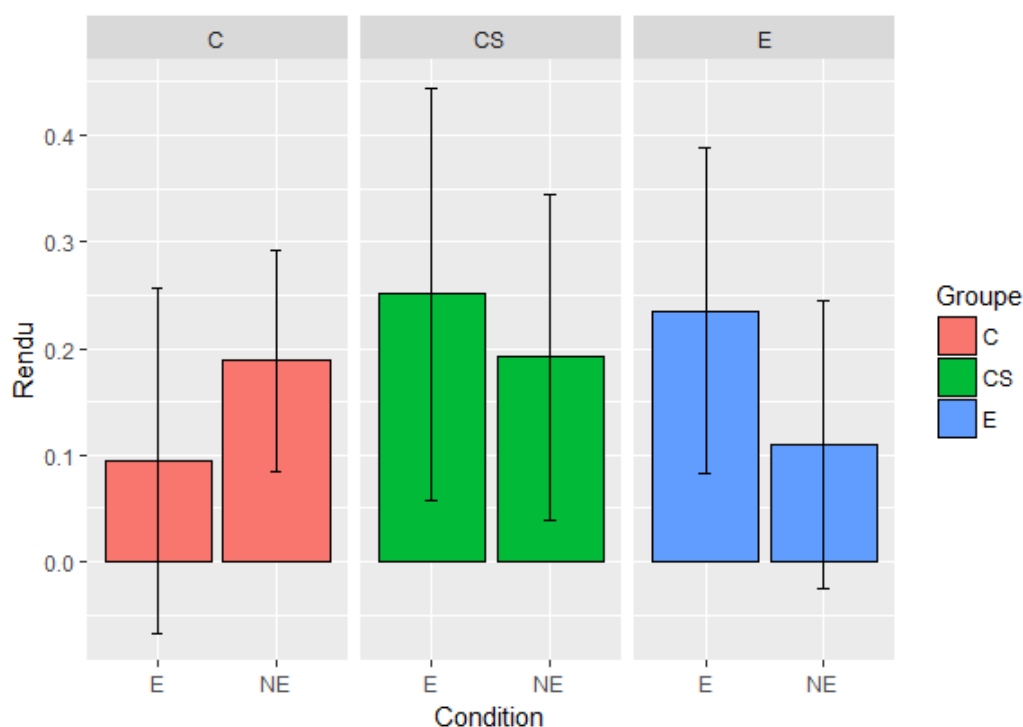


Figure 2. Moyennes et erreurs standards de la progression obtenue entre le pré- et le post-test aux mesures du rendu final des lettres en fonction des groupes et du type de lettres (i.e., Entraînées / Non Entraînées) pour la tâche 5.

Concernant le ductus, les résultats obtenus sont présentés dans la figure 3. L'analyse de variance révèle un effet significatif du facteur Temps,  $F(1, 43) = 6.21, p < .05$ , 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,  $F(2, 43) = 3.73, p < .05$ , et Temps\*Condition,  $F(2, 43) = 15.60, p < .01$ . Ces deux effets d'interactions sont modérés par un effet d'interaction double Groupe\*Temps\*Condition significatif,  $F(2, 43) = 5.60, p < .05$ . 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 et CS ( $M = -0.03$ ) concernant les lettres NE (i.e., Non Entraînées),  $t < 1$ . En revanche, les enfants du groupe E ont significativement plus progressé ( $M = +0.67$ ) que les enfants des groupes C et CS réunis ( $M = +0.09$ ) concernant les lettres E (i.e., Entraînées),  $t(44) = 3.89, p < .01$ .

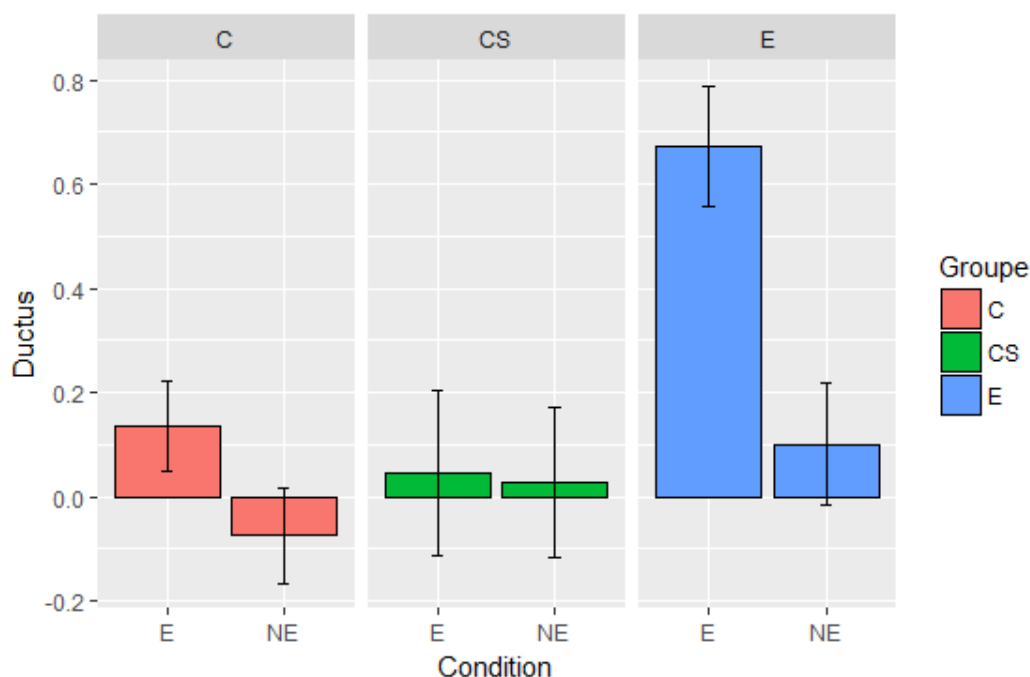


Figure 3. Moyennes et erreurs standards de la progression obtenue entre le pré- et le post-test aux mesures du ductus du tracé des lettres en fonction des groupes et du type de lettres (i.e., Entraînées / Non Entraînées) pour la tâche 5.

Tableau 4. Moyennes des scores obtenus aux tâches 1, 2 et 3 au **pré-test** en fonction des groupes et du type de lettres (entraînées E vs. non entraînées NE)

| TÂCHE    | GROUPE    |              |              |
|----------|-----------|--------------|--------------|
|          | Contrôle  | Contrôle Son | Expérimental |
| <b>1</b> | E : 3.06  | E : 3.20     | E : 2.47     |
|          | NE : 3.12 | NE : 3.33    | NE : 3.07    |
| <b>2</b> | E : 1.44  | E : 3.33     | E : 1.27     |
|          | NE : 4.06 | NE : 3.53    | NE : 3.80    |
| <b>3</b> | E : 4.12  | E : 4.73     | E : 4.27     |
|          | NE : 4.69 | NE : 4.73    | NE : 5.67    |

Tableau 5. Moyennes des scores obtenus aux tâches 1, 2 et 3 au **post-test** en fonction des groupes et du type de lettres (entraînées E vs. non entraînées NE)

| TÂCHE    | GROUPE    |              |              |
|----------|-----------|--------------|--------------|
|          | Contrôle  | Contrôle Son | Expérimental |
| <b>1</b> | E : 3.88  | E : 4.40     | E : 3.87     |
|          | NE : 3.88 | NE : 3.60    | NE : 4.00    |
| <b>2</b> | E : 3.00  | E : 3.33     | E : 5.73     |
|          | NE : 5.00 | NE : 3.47    | NE : 6.40    |
| <b>3</b> | E : 5.00  | E : 4.93     | E : 7.87     |
|          | NE : 5.81 | NE : 5.67    | NE : 7.67    |

## IV Discussion

Le but de cette étude était d'évaluer les effets d'un entraînement multisensoriel sur les lettres, comprenant une sonification des symboles graphiques, chez des enfants de grande section de maternelle (GSM). Nous avons comparé trois types d'entraînements multisensoriels dont la modalité auditive variait : avec sonification (E), avec mélodie sans lien avec la forme de la lettre (CS), sans aucun son (C). Cet apprentissage sur tablette était multimodal car il sollicitait simultanément la modalité visuelle, auditive et tactile. Tous les entraînements concernaient les huit mêmes lettres : (b/d), (p/t), (k/g), (f/v) et pour comparer l'efficacité de ces entraînements nous avons utilisé une procédure classique pré-test / entraînement / post-test. Les tests utilisés permettaient de tester la reconnaissance des lettres et des phonèmes, le décodage, la transcription et le graphisme avant et après l'entraînement. Nous nous attendions à ce que l'ajout de la sonification favorise le lien lettre-son. De ce fait, les enfants du groupe avec sonification devaient donc obtenir de meilleurs scores après l'entraînement, au post-test, comparés aux enfants des groupes sans sonification (hypothèse 1) même si tous les groupes devaient améliorer leurs résultats après l'entraînement, par rapport au pré-test (hypothèse 2). De plus, les lettres entraînées E devaient être globalement mieux connues que les lettres non entraînées NE (hypothèse 3), c'est-à-dire obtenir de meilleures performances aux tâches avec des scores et une meilleure évaluation par les juges à la tâche de copie. Dans un premier temps nous reviendrons sur les résultats présentés puis nous chercherons à comprendre si nos hypothèses sont validées ou non et quelle sont les explications que nous pouvons apporter à ce que nous avons observé en tenant compte de la validité et des biais de nos résultats. Enfin, nous discuterons des intérêts et des limites de notre protocole mais aussi des perspectives possibles pour de futures études.

Les résultats de cette étude ont montré une efficacité globale de l'apprentissage multisensoriel et une supériorité de cet apprentissage en présence de sonification de la lettre en comparaison aux apprentissages multisensoriels classiques et multisensoriel avec l'ajout d'une mélodie lors du tracé de la lettre sans lien avec la forme de la lettre. A la tâche 1, de connaissance des phonèmes, les résultats indiquent un effet significatif du temps (les résultats sont supérieurs au post-test qu'au pré-test) ce qui indique l'efficacité de manière générale des apprentissages multisensoriels. En

revanche il n'existe pas d'effet de groupe pour cette épreuve. Ce résultat est probablement lié à la difficulté de la tâche pour les enfants qui cherchaient souvent les voyelles, alors que seules des consonnes étaient présentées sur les planches, et ne connaissaient pas ou ne reconnaissaient pas toujours les lettres cursives présentées. Or ils étaient confrontés à cette situation sans autre choix possible contrairement à la tâche de dictée dans laquelle ils avaient la possibilité d'écrire les lettres en script majuscule s'ils ne connaissaient pas l'écriture cursive de la lettre dont ils avaient besoin. Pour l'épreuve de décodage de pseudo-mots, nous observons un effet significatif du temps (tous les groupes s'améliorent en post-test après l'entraînement par rapport au pré-test) et un effet du type de lettre : les scores sont meilleurs pour les lettres entraînées E que pour les lettres non entraînées NE. Nous observons également un effet d'interaction groupe\*temps ce qui signifie que tous les groupes améliorent leurs résultats au post-test, mais le groupe expérimental de manière plus importante que les autres. L'ajout de la sonification semble donc maximiser et améliorer davantage l'apprentissage que les entraînements multisensoriels sans sonification utilisés comme contrôle (groupe contrôle et groupe contrôle son). Pour la dictée de pseudo-mots qui consiste en une tâche d'écriture pour les enfants nécessitant de leur part une conversion phono-graphémique et la compréhension du principe alphabétique, nous observons un effet de temps ce qui signifie que l'entraînement multisensoriel est globalement efficace. Nous observons en plus un effet d'interaction groupe-temps ce qui signifie que si tous les groupes améliorent leurs connaissances au post-test, les résultats du groupe expérimental sont supérieurs à ceux des autres. Nos observations qualitatives révèlent en outre que les enfants ont plus de facilité lorsqu'ils entendent le nom de la lettre vs. le son de la lettre (par exemple : dans le pseudo-mot « pémo », on entend le nom de la lettre P mais seulement le son de la lettre M. Alors que dans le pseudo-mot « pidé », on entend le son de la lettre P et le nom de la lettre D). Là encore, les résultats semblent donc montrer un effet positif de la sonification sur l'apprentissage des lettres et des associations d'un son à un symbole visuel. Pour l'épreuve de reconnaissance des lettres, nous observons que les enfants du groupe expérimental sont plus rapides à identifier les lettres au post-test qu'au pré-test de 1500 ms alors que les enfants du groupe contrôle son ne le sont que de 800 ms et ceux du groupe contrôle le sont de 500 ms. Cependant, ces différences ne sont pas significatives et ne peuvent donc pas être interprétées en faveur de nos hypothèses. Il existe en effet une forte variabilité



inter-individuelle dans les groupes mais également une variabilité intra-individuelle chez un même enfant, les mesures de temps de réaction étant souvent difficiles à interpréter chez de jeunes enfants. Pour obtenir des résultats plus probants, une population plus grande serait donc nécessaire. En outre, cette mesure des temps de réaction est un indicateur de l'automatisation. En début d'apprentissage et de développement des représentations cette mesure est donc peut-être moins pertinente. Enfin, la tâche de copie de lettre permettait d'évaluer deux aspects de l'écriture de la lettre par les enfants : l'aspect statique ou le rendu final et l'aspect dynamique ou le ductus qui est la manière de tracer la lettre. Pour le rendu final, une amélioration globale est observée chez tous les enfants mais aucune différence entre les groupes : l'interaction groupe\*temps n'est pas significative. Pour le ductus, en revanche, une progression entre le pré-test et le post-test pour les lettres entraînées dans le groupe expérimental est observée ce qui valide notre hypothèse de progression plus grande pour le groupe expérimental et pour les lettres entraînées E.

Les résultats observés nous permettent donc de valider en partie nos hypothèses. Ainsi, notre première hypothèse selon laquelle le groupe expérimental, avec présence de sonification du tracé dans l'entraînement multisensoriel, devait obtenir une progression plus grande que les autres groupes entre le pré- et le post-test est validée pour les tâches de décodage, de dictée et de copie. Elle n'est pas validée pour la tâche de reconnaissance des phonèmes qui demandait probablement une analyse trop fine aux enfants. En effet cette tâche nécessitait deux étapes, d'analyse des phonèmes puis de reconnaissance des lettres, et la première étape était probablement trop difficile pour les enfants qui n'avaient pas reçus d'entraînement phonologique. Les enfants ont donc obtenus des scores relativement bas et d'un point de vue qualitatif, nous avons pu observer que certains d'entre eux désignaient les lettres au hasard dans cette tâche. Notre deuxième hypothèse selon laquelle les trois types d'entraînements proposés devaient entraîner une progression des résultats est totalement validée car on observe une progression entre le pré- et le post-test dans tous les groupes et dans toutes les tâches. Cette expérience enrichit les études précédentes menées sur les entraînements multisensoriels puisque les trois entraînements que nous avons proposés ont permis un apprentissage, ce qui soutient l'idée que les apprentissages multisensoriels sont bénéfiques pour les enfants et sont à favoriser et à développer davantage dans les écoles (Bara & Gentaz, 2011; Bara et

al., 2007, 2013; Bara, Gentaz, & Colé, 2004; Bara, Gentaz, Colé, et al., 2004; Gentaz et al., 2003; Hillairet de Boisferon et al., 2007; Labat et al., 2014; Labat et al., 2015). De plus l'ajout de la sonification dans ces entraînements multisensoriels ajoute un bénéfice par rapport aux conditions sans cette sonification et facilite davantage encore l'apprentissage. Enfin, notre troisième hypothèse, selon laquelle les lettres E obtiendraient une progression plus importante que les lettres NE, est partiellement validée. En effet, ces observations ne se retrouvent que pour une partie seulement de la tâche 5, aux mesures du ductus. Pour rappel, le ductus est la manière de tracer la lettre : nous avons demandé à des juges d'évaluer les points de reprise et le sens du tracé. Ainsi, nous observons une amélioration plus grande pour les lettres E pour le groupe expérimental au post-test comparativement au pré-test. Ce qui valide également notre première hypothèse. Il n'est pas étonnant de retrouver cette observation dans la tâche évaluant le graphisme en particulier, l'étude de Effenberg et al., (2015) ayant déjà montré des résultats similaires dans l'apprentissage des mouvements d'écriture avec présence de sonification dans l'entraînement. On retrouve également cette différence de progression entre les lettres E et NE dans la tâche de décodage de pseudo-mots. Là encore, la différence observée peut s'expliquer : dans cette tâche, il était nécessaire que les enfants reconnaissent l'écriture cursive des lettres pour pouvoir décoder le mot. Or, comme l'ont montré Longcamp et al., (2008, 2005) et Velay et al., (2004), une bonne connaissance de l'écriture de la lettre faciliterait sa reconnaissance. Une meilleure connaissance de l'écriture de la lettre qui se retrouve dans une bonne maîtrise du ductus dans la tâche 5 de copie des lettres permettrait une meilleure connaissance de la lettre et donc un meilleur décodage dans la tâche 2. Si cette différence entre les lettres E et NE n'est pas retrouvée pour les autres tests, c'est peut-être que la tâche de reconnaissance des phonèmes était parasitée par l'étape première de segmentation des phonèmes tandis qu'à la tâche de dictée, les enfants pouvaient écrire les lettres en script s'ils ne connaissaient pas leur forme cursive.

Les résultats statistiques significatifs observés pour la tâche de décodage, la tâche de dictée et la tâche de copie concernant le groupe expérimental montrent que la condition de sonification ajoutée à un entraînement multisensoriel améliore davantage la connaissance des lettres qu'en l'absence de sonification ce qui confirme notre hypothèse principale. Les résultats du groupe contrôle son semblent appuyer ces

observations car ils n'obtiennent pas de score équivalent à ceux du groupe expérimental, et leurs scores regroupés avec ceux du groupe contrôle sont significativement plus bas que ceux du groupe expérimental. Si le son ajouté n'a pas de lien avec la forme des lettres, il ne peut donc améliorer l'apprentissage et semble même freiner celui-ci. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que le son ajouté, n'ayant pas de lien avec le reste de la tâche déconcentre l'enfant en lui proposant un stimulus supplémentaire à traiter ce qui surcharge sa mémoire de travail de manière superflue et réduit les ressources attentionnelles et cognitives qui aurait dû être allouée au traitement de l'association lettre-son (i.e. effet d'interférence). Il est donc primordial que le son puisse apporter du sens. En comparaison, si la sonification semble améliorer l'apprentissage des lettres nous supposons que cet effet est permis par la création d'un « pont » entre la modalité auditive et la modalité visuelle en donnant « du sens » au symbole graphique à la manière de la modalité haptique qui partageait à la fois un fonctionnement séquentiel avec la modalité auditive et à la fois une composante spatiale avec la modalité visuelle (Fredembach et al., 2009). Trouver une modalité qui partage des caractéristiques de traitement avec les deux modalités sensorielles initiales à associer pourrait permettre de favoriser cette association. Dans le cadre de la sonification, cette dernière partage la dimension auditive contenue dans le son de la lettre et elle partage le sens lié à la forme avec la modalité visuelle : le son issu de la sonification est relié à la forme de la lettre ce qui crée un lien plus évident entre le son de la lettre qui partage la même modalité auditive et le symbole graphique visuel qui prend sens grâce à la sonification.

Dans le domaine de l'orthophonie, les « gestes borel » inventés par Suzanne Borel-Maisonny partagent des caractéristiques communes avec notre étude du fait de la dimension multisensorielle associée à l'apprentissage. A l'origine, la méthode Borel-Maisonny est un ensemble de gestes ayant pour but de faciliter l'entrée dans le langage. D'abord utilisée auprès d'enfants sourds cette méthode a ensuite été utilisée pour faciliter l'apprentissage de la lecture par l'intermédiaire de gestes symboliques. Il existe un geste par phonème (et non par graphie) et les gestes renvoient à l'image articulatoire du phonème ou à la forme de la lettre. Ainsi chaque phonème de la langue est associé à un geste précis. Ce geste formé par les mains peut faire référence à la forme graphique visuelle de la lettre (par exemple pour les lettres i, o, u, v), ou peut faire référence à un ou plusieurs points d'articulation du phonème (par exemple pour

les phonèmes l, g, t, p) ou encore à ces deux informations réunies (par exemple m, n, o). En effet, de même que nous avons essayé de mettre du lien entre la forme visuelle de la lettre et le son qu'elle porte, les gestes borel cherchent, par l'intermédiaire d'un geste de la main, à donner du sens au phonème. Cette pratique orthophonique très utilisée se fonde surtout sur des observations cliniques. Or le fondement scientifique sur lequel elle s'appuie est peu détaillé et valider l'effet de cette méthode de manière expérimentale pourrait permettre de comprendre de quelle manière agit cette approche sur les processus cognitifs sous-jacents. Aller investiguer cette méthode pourrait permettre de valider objectivement certains aspects et donc de comprendre pourquoi la méthode est réellement efficace et quelles peuvent être ses limites afin d'en avoir une utilisation plus précise. Dans une démarche identique, il serait donc plus précis de reproduire notre expérimentation avec des enfants en difficultés tels que les enfants avec déficience intellectuelle par exemple. Cela pourrait permettre d'envisager des limites possibles et de mieux cerner les contours de nos hypothèses théoriques. Dans la même démarche, une étude avait évalué l'impact de l'exploration motrice des lettres dans l'apprentissage de la lecture chez un jeune enfant trisomique (Labat et al., 2013) afin de comprendre où se situent les limites de l'apport de l'exploration haptique dans l'apprentissage des lettres en fonction des caractéristiques de cette pathologie. Les auteurs relèvent en effet que les enfants trisomiques, par rapport à des enfants tout-venant, utilisent plus longtemps la lecture logographique, qu'ils utilisent préférentiellement la voie lexicale et qu'ils rencontrent des difficultés pour appliquer les règles de correspondance graphophonologiques. Les auteurs s'étaient alors demandé si un enfant trisomique possédait les capacités de transfert intermodal lui permettant d'extraire des informations présentées dans une modalité sensorielle (haptique) pour les utiliser dans une autre modalité sensorielle (visuelle). Leur conclusion était que les coordinations intermodales ne sont pas efficaces chez un enfant trisomique 21. Il pourrait donc être intéressant d'évaluer les effets de notre entraînement chez des enfants trisomiques, puisque notre entraînement ne demande pas de transfert intermodal (qui est difficile à réaliser pour des enfants trisomiques) mais qu'il ajoute un étayage pour lier le son à la lettre correspondante. La présence de sonification pourrait donc aider les enfants trisomiques à appliquer les règles de correspondance graphophonologique. Dans l'ensemble, les gestes borel comme notre entraînement avec sonification cherchent à donner du sens aux connaissances pour mieux les retenir et pour augmenter l'apprentissage. C'est donc ce qui pourrait

expliquer l'efficacité de la sonification qui permet de donner du sens à une forme par l'intermédiaire d'un son. Outre le sens lié aux variables choisies, la sonification propose un rythme qui peut également aider à l'intégration et l'activation des informations, contrairement à la mélodie proposée dans le groupe contrôle son qui ne s'arrêtait jamais et était émise en continu. Ce rythme permettrait de faciliter l'apprentissage des points de reprises et des mouvements qu'il faut lier, en codant un son continu ou des interruptions pour les points de reprise.

Pris dans leur ensemble, ces résultats suggèrent que l'ajout de la sonification dans un entraînement multisensoriel des lettres permettrait de favoriser l'intégration visuo-auditive et contribue à la construction des connaissances sur les lettres de l'alphabet. En d'autres termes, l'ajout de cette modalité permettrait de renforcer le lien entre les représentations graphiques et phonologiques des lettres améliorant ainsi les compétences de décodage des enfants. Cependant, cette étude reste exploratoire en raison de la taille de l'échantillon. De plus, elle est réalisée durant sept jours calendaires sur une période de 2 semaines d'école consécutives. On pourrait envisager de réaliser des entraînements plus longs et des post-tests différés dans le temps pour évaluer le maintien de l'apprentissage dans le temps. En outre il n'y a pas eu de contrôle du milieu socio-culturel des enfants et l'entraînement ne portait que sur certaines lettres. D'autres perspectives sont à envisager, comme la possibilité d'adapter la présentation de l'écran sur la tablette à la latéralité de l'enfant : gaucher ou droitier. En effet, dans notre étude, la tablette présentait toujours le même écran plus adapté aux droitiers puisque les enfants devaient écrire sur la partie droite de l'écran. Il est aussi possible d'envisager, dans une démarche d'application clinique, la présence d'un adulte donnant des indications et invitant les enfants à faire attention au sens du tracé pour permettre de focaliser leur attention sur le sens du mouvement d'écriture et d'améliorer encore l'apprentissage. Dans notre étude, l'expérimentateur était présent à côté de l'enfant lors de l'entraînement mais il ne donnait pas d'indications. Il rappelait seulement à l'enfant de se concentrer sur la tablette si celui-ci détournait son attention ailleurs et ne semblait plus attentif. Enfin, la sonification présentée dans notre étude pourrait permettre d'ancrer en mémoire les lettres à risque de confusion auditive et visuelle en insistant sur les différences perceptuelles visuelles via les informations supplémentaires apportées par la sonification.

## V Conclusion

Dans une société où la lecture est la base des apprentissages et du fonctionnement quotidien des nombreux services qu'elle propose, cette compétence doit être acquise grâce à un apprentissage ciblé en milieu scolaire. Pour cela, il convient de travailler certains prérequis comme la connaissance des lettres de l'alphabet, nécessaire à la conversion graphophonologique. La connaissance des lettres, c'est à dire la connaissance du nom, du son et de la forme des lettres, a été identifiée comme l'un des prédictors 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 à investiguer d'un point de vue éducatif et préventif. L'ensemble des études analysées auparavant suggère qu'un apprentissage multisensoriel, avec notamment une exploration motrice des lettres, pourrait être une méthode pédagogique intéressante à mettre en place avec des jeunes enfants pré-lecteurs. L'originalité de notre étude proposait l'ajout d'une modalité auditive dans les entraînements multisensoriels : la sonification. Cette fonctionnalité permet de donner du sens à un son et de relier le son entendu à une forme graphique. Nous avons suggéré que la sonification pouvait améliorer l'association symbole-son contenue dans la lettre. Les résultats obtenus semblent confirmer notre hypothèse, mais il faut encore approfondir ces recherches avec un échantillon plus important notamment et en travaillant sur l'ensemble des lettres de l'alphabet. Répliquer cette expérience avec une population présentant des difficultés d'apprentissage de la lecture, tels que des enfants avec déficience mentale dans le cadre d'une trisomie 21 pourrait aussi présenter un intérêt majeur. L'ajout de la sonification pourrait en effet aider ces enfants à appliquer les règles de correspondance graphophonologique. En résumé l'ajout de la sonification dans un entraînement multisensoriel semble faciliter l'association du son d'une lettre à son symbole graphique. Cette observation suggère l'existence ou la création d'un « pont » entre les caractéristiques visuelles et auditives des lettres qui permettrait d'unifier les caractéristiques multimodales de la lettre en une représentation unique. L'utilisation de cette nouvelle modalité dans des apprentissages multisensoriels pourrait favoriser la connaissance des lettres de l'alphabet, et donc l'apprentissage ultérieur de la lecture, chez les enfants.

## Références

- Alamargot, D., & Morin, M.-F. (2015). Does handwriting on a tablet screen affect students' graphomotor execution? A comparison between grades two and nine. *Human movement science*, 44, 32–41.
- Alegria, J., & Morais, J. (1979). Le développement de l'habileté d'analyse phonétique consciente de la parole et l'apprentissage de la lecture. *Archives de psychologie*, 183, 251–270.
- Andersen, T. H., & Zhai, S. (2010). « Writing with music »: Exploring the use of auditory feedback in gesture interfaces. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 7(3).
- Bara, F., Fredembach, B., & Gentaz, É. (2010). Rôle des procédures exploratoires manuelles dans la perception haptique et visuelle de formes chez des enfants scolarisés en cycle 2. *Année psychologique*, 110(2), 197.
- Bara, F., & Gentaz, E. (2010). Apprendre à tracer les lettres : une revue critique. *Psychologie Française*, 55(2), 129-144.  
<https://doi.org/10.1016/j.psfr.2010.01.001>
- Bara, F., & Gentaz, E. (2011). Haptics in teaching handwriting: The role of perceptual and visuo-motor skills. *Human Movement Science*, 30(4), 745-759.  
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2010.05.015>
- Bara, F., Gentaz, É., & Colé, P. (2004). Les effets des entraînements phonologiques et multisensoriels destinés à favoriser l'apprentissage de la lecture chez les jeunes enfants, SUMMARY. *Enfance*, 56(4), 387-403.  
<https://doi.org/10.3917/enf.564.0387>
- Bara, F., Gentaz, E., & Colé, P. (2007). Haptics in learning to read with children from low socio-economic status families. *British Journal of Developmental Psychology*, 25(4), 643-663. <https://doi.org/10.1348/026151007X186643>

- Bara, F., Gentaz, E., Colé, P., & Sprenger-Charolles, L. (2004). The visuo-haptic and haptic exploration of letters increases the kindergarten-children's understanding of the alphabetic principle. *Cognitive development*, 19(3), 433–449.
- 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*, 25(2). Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01146897>
- Bara, F., Morin, M.-F., Alamargot, D., & Bosse, M.-L. (2016). Learning different allographs through handwriting: The impact on letter knowledge and reading acquisition. *Learning and Individual Differences*, 45, 88–94.
- Berninger, V. W., Nagy, W., Tanimoto, S., Thompson, R., & Abbott, R. D. (2015). Computer instruction in handwriting, spelling, and composing for students with specific learning disabilities in grades 4–9. *Computers & education*, 81, 154–168.
- Billard, C., Livet, M. O., Motte, J., Vallée, L., Gillet, P., Galloux, A., & Piller, A. G. (2001). La BREV: une batterie clinique d'évaluation des fonctions cognitives chez les enfants d'âges scolaire et préscolaire. *Archives de Pédiatrie*, 8(5), 545–552.
- Biot-Chevrier, C., Ecalle, J., & Magnan, A. (2008). Pourquoi la connaissance du nom des lettres est-elle si importante dans l'apprentissage de la langue écrite? *Revue française de pédagogie*, (162), 15–27.
- Bluteau, J., Coquillart, S., Payan, Y., & Gentaz, E. (2008). Haptic Guidance Improves the Visuo-Manual Tracking of Trajectories. *PLoS ONE*, 3(3), e1775. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001775>
- Boisferon, A. H. de. (2010, décembre 1). *Apprentissage multisensoriel de lettres et de formes abstraites chez les jeunes enfants et les adultes* (Thèse de sciences



- cognitives). Université de Grenoble. Consulté à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00649864/document>
- Boisson, A. (2018). Sonification. Consulté à l'adresse [osf.io/qy3da](https://osf.io/qy3da)
- Chartrel, E., & Vinter, A. (2008). The impact of spatio-temporal constraints on cursive letter handwriting in children. *Learning and Instruction*, 18(6), 537–547.
- Danna, J., Fontaine, M., Paz-Villagrán, V., Gondre, C., Thoret, E., Aramaki, M., ... Velay, J.-L. (2015). The effect of real-time auditory feedback on learning new characters. *Human Movement Science*, 43, 216-228. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.12.002>
- Danna, J., Paz-Villagran, V., Gondre, C., Aramaki, M., Kronland-Martinet, R., Ystad, S., & Velay, Jean-Luc. (2013). Handwriting sonification for the diagnosis of dysgraphia. In *16th Biennial Conference of the International Graphonomic Society*. Nara, Japan. Consulté à l'adresse [https://www.researchgate.net/profile/Jeremy\\_Danna/publication/272003679\\_Handwriting\\_sonification\\_for\\_the\\_diagnosis\\_of\\_dysgraphia/links/54d876bc0cf2970e4e77c1b9/Handwriting-sonification-for-the-diagnosis-of-dysgraphia.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jeremy_Danna/publication/272003679_Handwriting_sonification_for_the_diagnosis_of_dysgraphia/links/54d876bc0cf2970e4e77c1b9/Handwriting-sonification-for-the-diagnosis-of-dysgraphia.pdf)
- Danna, J., Paz-Villagrán, V. V. P.-A. F., Thoret, E., Gondre, C., Kronland-Martinet, R., Capel, A., ... Velay, J.-L. (2013). Sonifying handwriting movements as real-time auditory feedback for the rehabilitation of dysgraphia. In *IXth International Conference on Progress in Motor Control (PMCIX)*. Montreal, Canada. Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00868825>
- Danna, J., Paz-Villagrán, V., & Velay, J.-L. (2013). 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. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.09.012>

- Danna, J., & Velay, J.-L. (2015). Basic and supplementary sensory feedback in handwriting. *Frontiers in Psychology*, 6(169), 1-11.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00169>
- Danna, J., Velay, J.-L., Paz-Villagrán, V. V. P.-A. F., Capel, A., Petroz, C., Gondre, C., ... Kronland-Martinet, R. (2013). Handwriting Movement Sonification for the Rehabilitation of Dysgraphia. In *10th International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research (CMMR) - Sound, Music & Motion - 15 - 18 oct. 2013 - Marseille, France* (p. 200-208). Marseille, France. Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00874974>
- Demont, É., & Gombert, J.-É. (2004). L'apprentissage de la lecture : évolution des procédures et apprentissage implicite, SUMMARY. *Enfance*, 56(3), 245-257.  
<https://doi.org/10.3917/enf.563.0245>
- Dinehart, L. H. (2015). Handwriting in early childhood education: Current research and future implications. *Journal of Early Childhood Literacy*, 15(1), 97–118.
- Dinehart, L., & Manfra, L. (2013). Associations between low-income children's fine motor skills in preschool and academic performance in second grade. *Early Education & Development*, 24(2), 138–161.
- Ecalte, J., Navarro, M., Labat, H., Gomes, C., Cros, L., & Magnan, A. (2016). Concevoir des applications sur tablettes tactiles pour stimuler l'apprentissage de la lecture : avec quelles hypothèses scientifiques ? *Revue STICEF*, 23(2). Consulté à l'adresse <http://sticef.org/num/vol2016/23.2.2.ecalte/23.2.2.ecalte.htm>
- Effenberg, A. O., Schmitz, G., Baumann, F., Rosenhahn, B., & Kroeger, D. (2015). SoundScript - Supporting the acquisition of character writing by multisensory

- integration. *Open Psychology Journal* 8 (2015), Nr. 1, 8(1), 230-237.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15488/817>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s11145-006-9026-x>
- Foulin, J.-N. (2007). La connaissance des lettres chez les prélecteurs: aspects pronostiques, fonctionnels et diagnostiques. *Psychologie Française*, 52(4), 431-444. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2006.12.004>
- Fredembach, B., de Boisferon, A. H., & Gentaz, E. (2009). Learning of Arbitrary Association between Visual and Auditory Novel Stimuli in Adults: The « Bond Effect » of Haptic Exploration. *PLoS ONE*, 4(3), e4844. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004844>
- Gentaz, E., Cole, 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. <https://doi.org/10.3406/psy.2003.29652>
- Gentaz, E., & Collignon, H. (2004). Apprendre à lire avec les doigts. *Médecine et Enfance*, 388-391.
- 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.
- Hillairet de Boisferon, A., Colé, P., & Gentaz, E. (2010). Connaissance du nom et du son des lettres, habiletés métaphonémiques et capacités de décodage en

- grande section de maternelle. *Psychologie Française*, 55(2), 91-111.  
<https://doi.org/10.1016/j.psfr.2010.05.005>
- James, K. H., & Engelhardt, L. (2012). The effects of handwriting experience on functional brain development in pre-literate children. *Trends in Neuroscience and Education*, 1(1), 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2012.08.001>
- 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. *STICEF*, 20. Consulté à l'adresse [http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2013/02-jolly-atame/sticef\\_2013\\_NS\\_jolly\\_02p.html](http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2013/02-jolly-atame/sticef_2013_NS_jolly_02p.html)
- 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. *Frontiers in Psychology*, 4(567), 1-15.
- Kiefer, M., Schuler, S., Mayer, C., Trumpp, N. M., Hille, K., & Sachse, S. (2015). Handwriting or typewriting? The influence of pen-or keyboard-based writing training on reading and writing performance in preschool children. *Advances in cognitive psychology*, 11(4), 136-146.
- Labat, H., Ecalle, J., Baldy, R., & Magnan, A. (2014). 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.  
<https://doi.org/10.1016/j.lindif.2013.09.016>
- Labat, H., Ecalle, J., & Magnan, A. (2010). Effet d'entraînements bimodaux à la connaissance des lettres. Étude transversale chez des enfants de trois et cinq ans. *Psychologie Française*, 55(2), 113-127.  
<https://doi.org/10.1016/j.psfr.2009.12.002>

- 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. *ANAE. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 123, 212–218.
- Labat, H., Ecalle, J., & Magnan, A. (2017). L'apprentissage de la lecture-écriture. In R. Miljkovitch, F. Morange-Majoux, & E. Sander (Éd.), *Psychologie du développement* (p. 227-235). Issy-les-Moulineaux, France: Elsevier Masson.
- 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. *Année psychologique*, 111(4), 641-671.
- Labat, H., Vallet, G., Magnan, A., & Ecalle, J. (2015). Facilitating Effect of Multisensory Letter Encoding on Reading and Spelling in 5-Year-Old Children: Multisensory letter encoding. *Applied Cognitive Psychology*, 29(3), 381-391. <https://doi.org/10.1002/acp.3116>
- Longcamp, M., Anton, J.-L., Roth, M., & Velay, J.-L. (2003). Visual presentation of single letters activates a premotor area involved in writing. *NeuroImage*, 19(4), 1492-1500. [https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00088-0](https://doi.org/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). 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.
- Longcamp, M., Boucard, C., Gilhodes, J.-C., & Velay, J.-L. (2006). Remembering the orientation of newly learned characters depends on the associated writing

- knowledge: A comparison between handwriting and typing. *Human Movement Science*, 25(4-5), 646-656. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2006.07.007>
- Longcamp, M., Lagarrigue, A., & Velay, J.-L. (2010). Contribution de la motricité graphique à la reconnaissance visuelle des lettres. *Psychologie Française*, 55(2), 181-194. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2010.03.001>
- Longcamp, M., Zerbato-Poudou, M.-T., & Velay, J.-L. (2005). The influence of writing practice on letter recognition in preschool children: A comparison between handwriting and typing. *Acta Psychologica*, 119(1), 67-79. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2004.10.019>
- MacDonald, J., & McGurk, H. (1978). Visual influences on speech perception processes. *Perception & Psychophysics*, 24(3), 253–257.
- Mangen, A., & Velay, J.-L. (2010). Digitizing literacy: Reflections on the haptics of writing. In M. Hosseini Zadeh (Éd.), *Advances in haptics*. InTech.
- McGurk, H., & MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264(5588), 746-748.
- Neumann, M. M. (2014). An examination of touch screen tablets and emergent literacy in Australian pre-school children. *Australian Journal of Education*, 58(2), 109–122.
- Neumann, M. M. (2016). Young children's use of touch screen tablets for writing and reading at home: Relationships with emergent literacy. *Computers & Education*, 97, 61–68.
- Neumann, M. M., & Neumann, D. L. (2014). Touch screen tablets and emergent literacy. *Early Childhood Education Journal*, 42(4), 231–239.

- Neumann, M. M., & Neumann, D. L. (2017). The use of touch-screen tablets at home and pre-school to foster emergent literacy. *Journal of Early Childhood Literacy*, 17(2), 203–220.
- 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 *Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WHC'07)* (p. 72–77). IEEE. Consulté à l'adresse [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4145154](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4145154)
- Patchan, M. M., & Puranik, C. S. (2016). Using tablet computers to teach preschool children to write letters: Exploring the impact of extrinsic and intrinsic feedback. *Computers & Education*, 102, 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.07.007>
- Share, D. L. (2004). Knowing letter names and learning letter sounds: A causal connection. *Journal of experimental child psychology*, 88(3), 213–233.
- Sigrist, R., Rauter, G., Riener, R., & Wolf, P. (2013). Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(1), 21-53. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0333-8>
- Taipale, S. (2015). Bodily dimensions of reading and writing practices on paper and digitally. *Telematics and Informatics*, 32(4), 766–775.
- Thoret, E. (2014, décembre 19). *Caractérisation acoustique des relations entre les mouvements biologiques et la perception sonore : application au contrôle de la synthèse et à l'apprentissage de gestes* (Thèse de physique acoustique). Aix-Marseille Université. Consulté à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01105122/document>

- Thoret, E., Aramaki, M., Kronland-Martinet, R., Velay, J.-L., & Ystad, S. (2014). From sound to shape: Auditory perception of drawing movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(3), 983-994.
- Velay, J.-L., Longcamp, M., & Zerbato-Poudou, M.-T. (2004). De la plume au clavier: Est-il toujours utile d'enseigner l'écriture manuscrite. *Comprendre les apprentissages: Sciences cognitives et éducation*, 69–82.
- Vincent, J. (2016). Students' use of paper and pen versus digital media in university environments for writing and reading—a cross-cultural exploration. *Journal of Print Media and Media Technology Research*, 5(2), 97–106.
- Vinci-Booher, S., James, T. W., & James, K. H. (2016). Visual-motor functional connectivity in preschool children emerges after handwriting experience. *Trends in Neuroscience and Education*, 5(3), 107-120. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2016.07.006>
- Vinter, A., & Chartrel, E. (2008). Visual and proprioceptive recognition of cursive letters in young children. *Acta Psychologica*, 129(1), 147–156.
- Wollscheid, S., Sjaastad, J., & Tømte, C. (2016). The impact of digital devices vs. Pen (cil) and paper on primary school students' writing skills—A research review. *Computers & Education*, 95, 19–35.
- Wollscheid, S., Sjaastad, J., Tømte, C., & Løver, N. (2016). The effect of pen and paper or tablet computer on early writing – A pilot study. *Computers & Education*, 98, 70-80. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.008>
- Yu, T.-Y., Hinojosa, J., Howe, T.-H., & Voelbel, G. T. (2012). Contribution of tactile and kinesthetic perceptions to handwriting in Taiwanese children in first and second grade. *OTJR: Occupation, Participation and Health*, 32(3), 87–94.



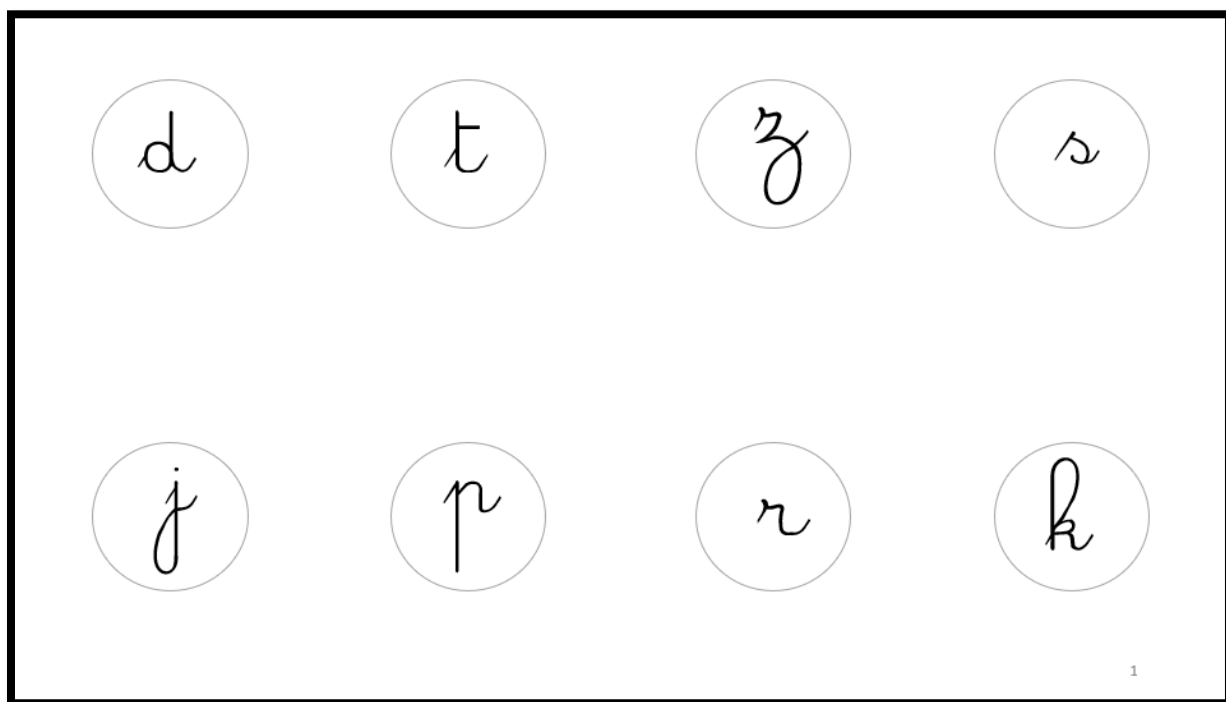
Yu, T.-Y., Howe, T.-H., & Hinojosa, J. (2012). Contributions of haptic and kinesthetic perceptions on handwriting speed and legibility for first and second grade children. *Journal of Occupational Therapy, Schools, & Early Intervention*, 5(1), 43–60.

## Annexes

Annexe A. Liste des mots proposés aux enfants pour la tâche de reconnaissance des phonèmes.

| Item | Planche | P1 | P2 |
|------|---------|----|----|
| pazi | 1       |    |    |
| doju | 2       |    |    |
| kuna | 3       |    |    |
| féma | 4       |    |    |
| taco | 5       |    |    |
| boju | 6       |    |    |
| guri | 7       |    |    |
| vico | 8       |    |    |
| fimo | 9       |    |    |
| sabi | 10      |    |    |
| sadi | 11      |    |    |
| goné | 12      |    |    |
| kiru | 13      |    |    |
| viza | 14      |    |    |
| pola | 15      |    |    |
| tuli | 16      |    |    |

Annexe B. Exemple de planche proposée aux enfants pour la tâche de reconnaissance des phonèmes avec la consigne suivante : « Tu vas écouter les mots que je vais prononcer. Ce sont de drôles de mots, c'est normal si tu ne les connais pas ou ne les comprends pas. Tu dois me montrer sur la feuille les lettres dont tu as entendu le son dans le mot. » La planche donnée en exemple est proposée pour le mot « pazi ».



Annexe C. Exemple « d'étiquettes » proposées en lecture lors de la tâche de décodage avec la consigne suivante : « Tu dois lire le mot écrit sur les étiquettes. Ce sont des mots un peu bizarres, c'est normal si tu ne comprends pas ce qu'ils veulent dire. Ce sont les noms de personnages imaginaires. Est-ce que tu peux me dire comment ils s'appellent ? »



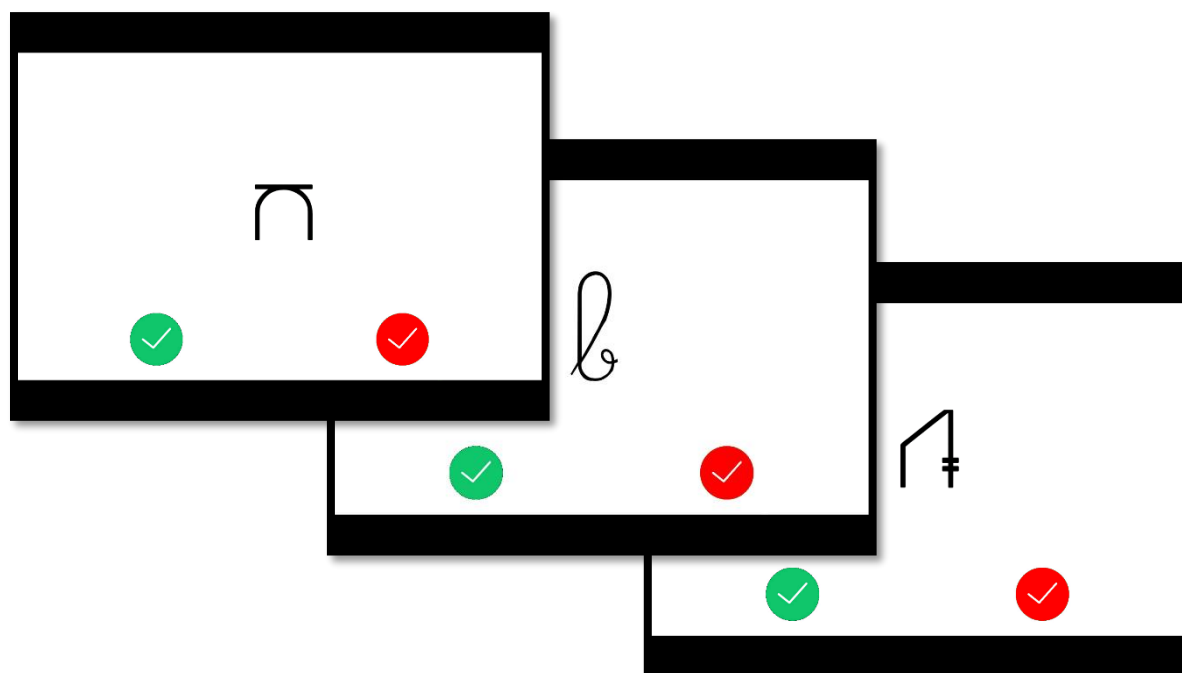
Annexe D. Support remis aux enfants pour la tâche de dictée de pseudo-mots.

|                                                                                   |       |                                                                                   |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|
|  | _____ |  | _____ |
|  | _____ |  | _____ |
|  | _____ |  | _____ |
|  | _____ |  | _____ |

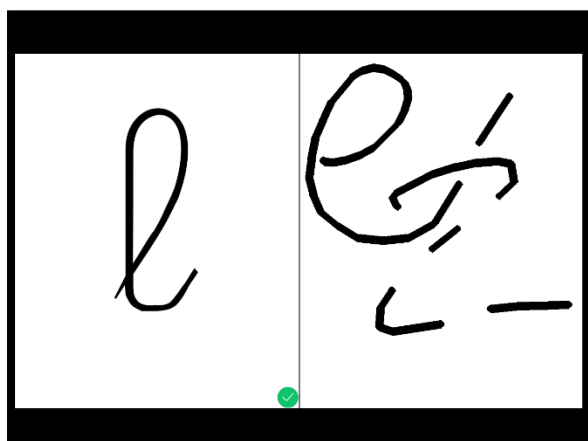
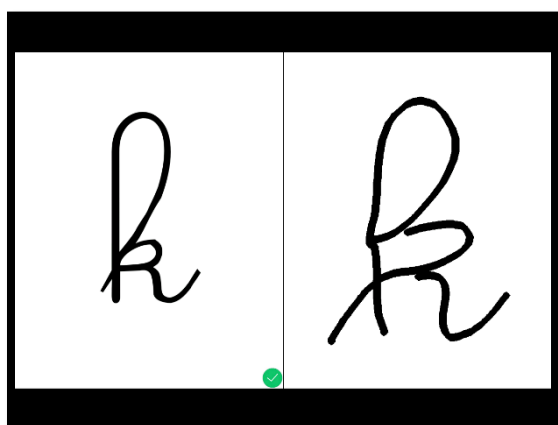
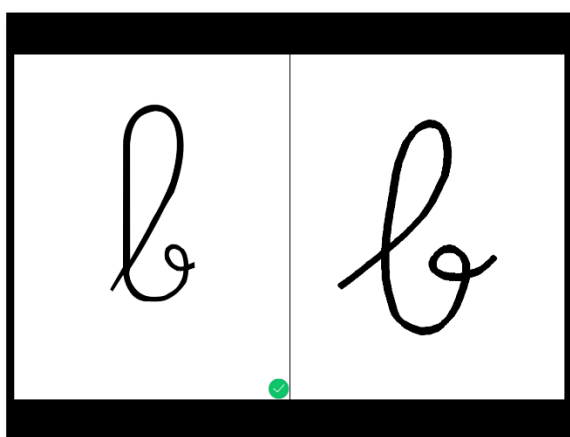
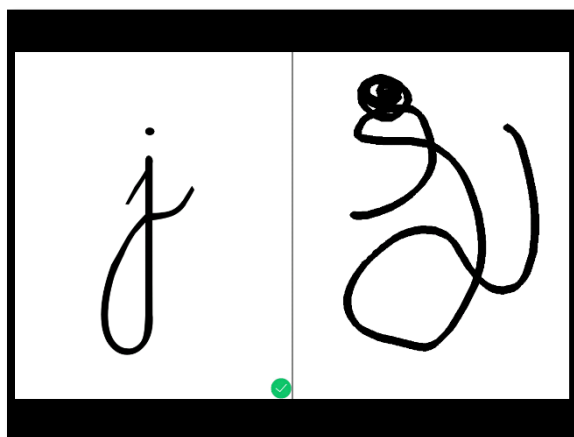
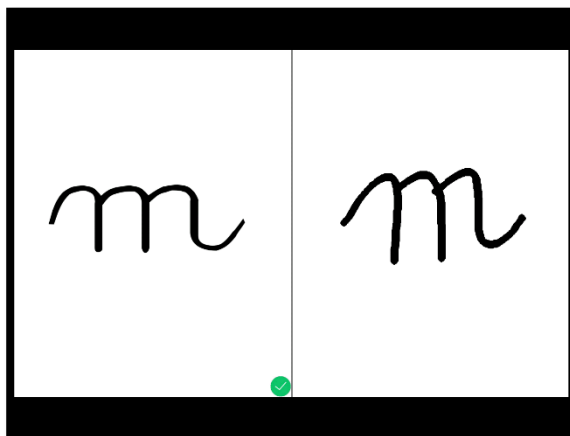
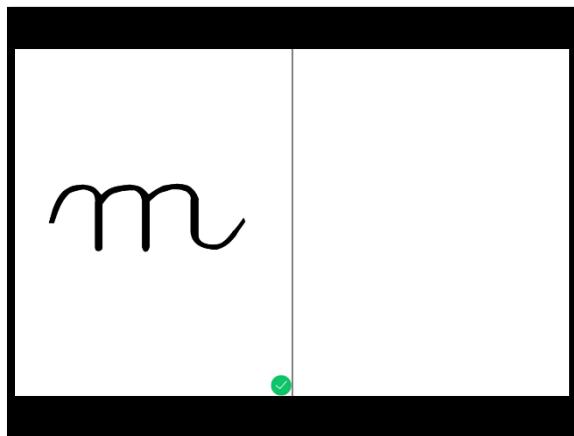
Annexe E. Liste des pseudo-mots dictés dans le tâche 3.

| Item | P1 | P2 |
|------|----|----|
| pémo |    |    |
| pidé |    |    |
| téda |    |    |
| envo |    |    |
| saji |    |    |
| emro |    |    |
| eftu |    |    |
| béfi |    |    |
| elni |    |    |
| juba |    |    |
| esli |    |    |
| erva |    |    |

Annexe F. Copie d'écran de la tablette lors de la tâche de reconnaissance de lettres. L'enfant voit un seul symbole à la fois et doit décider s'il s'agit d'une lettre parmi 8 lettres entraînées et 8 symboles inconnus. S'il « connaît » la lettre, il doit appuyer sur la touche tactile verte et sinon, sur la touche tactile rouge. L'exemple présente ici plusieurs écrans avec des lettres et des non-lettres.



Annexe G. Copies de l'écran lors de la tâche de copie de lettres. L'enfant doit copier le modèle exposé à gauche et appuyer sur la touche tactile verte lorsqu'il a terminé. Il n'y a aucune contrainte liée à la tablette et l'enfant peut « dessiner » ce qu'il veut.

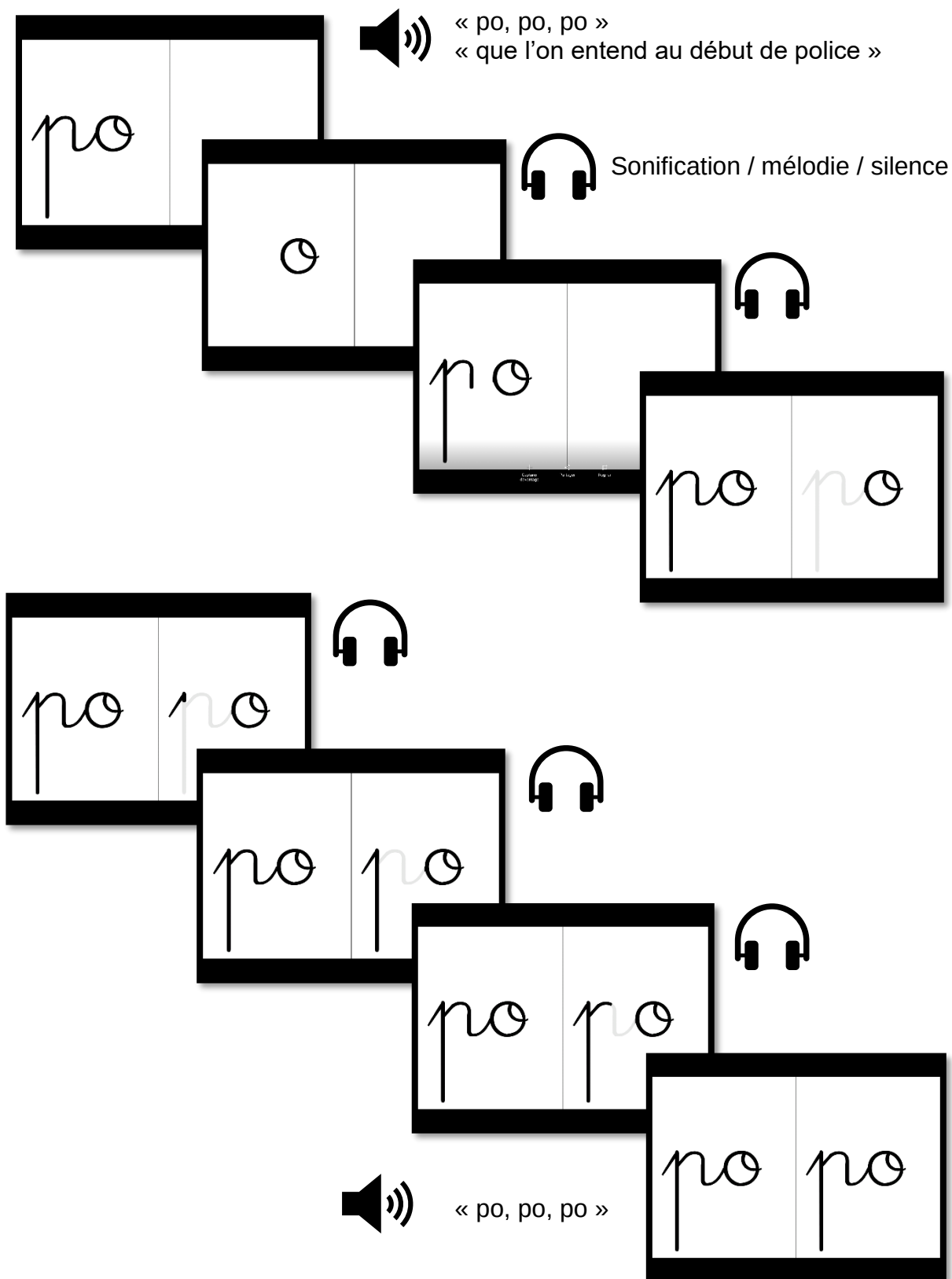




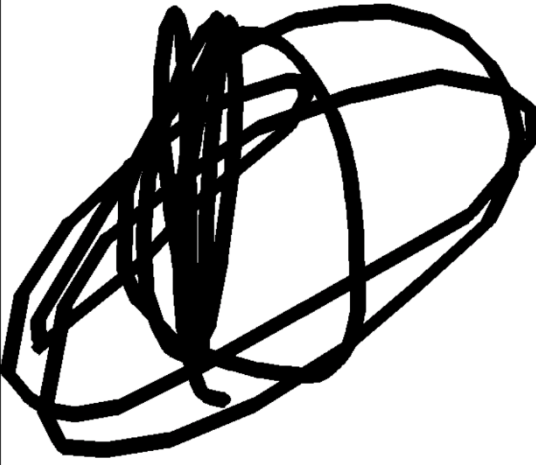
Annexe H. Mots de contextes utilisés dans l'entraînement. Les mots sont utilisés trois fois chacun.

| 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   |

Annexe I. Exemple de l'écran lors des sessions d'entraînement et de révision. Les sessions se décomposent en deux temps : un temps d'exemple dans lequel l'enfant entend la syllabe et le mot et voit la lettre se tracer puis un temps où l'enfant est actif et au cours duquel il doit tracer lui-même la lettre.

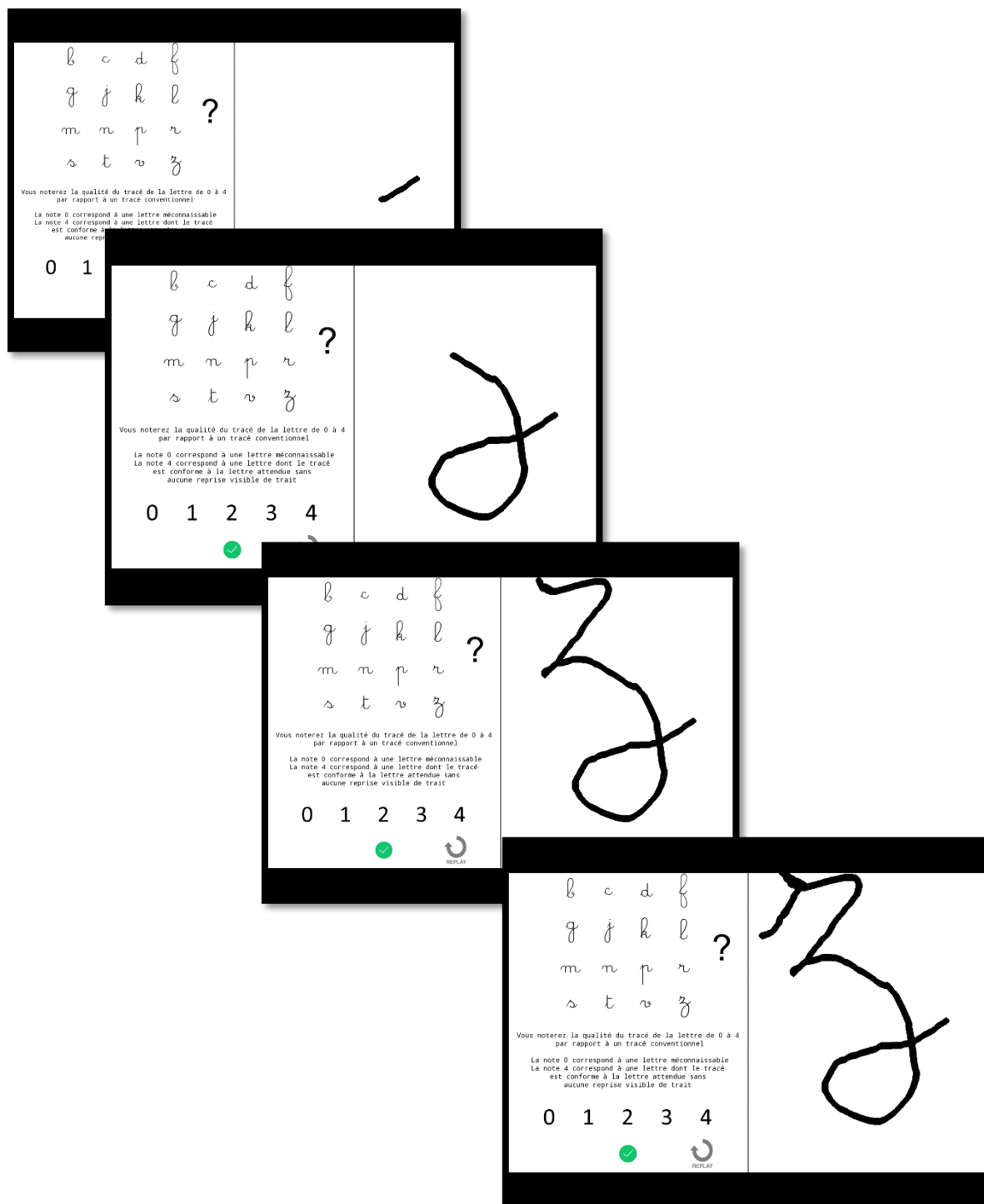


Annexe J. Ecrans de notation utilisé pour évaluer le rendu final des lettres tracées par les enfants.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>b c d f</p> <p>g j k l</p> <p>m n p r</p> <p>s t v z</p> <p>?</p> <p>Notez le rendu final de la lettre en utilisant l'échelle de 0 à 4<br/>La note 0 correspond à une lettre méconnaissable<br/>La note 4 à une lettre parfaitement conforme à l'originale</p> <p>0 1 2 3 4</p> <p>✓</p> |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>b c d f</p> <p>g j k l</p> <p>m n p r</p> <p>s t v z</p> <p>?</p> <p>Notez le rendu final de la lettre en utilisant l'échelle de 0 à 4<br/>La note 0 correspond à une lettre méconnaissable<br/>La note 4 à une lettre parfaitement conforme à l'originale</p> <p>0 1 2 3 4</p> <p>✓</p> |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|

Annexe K. Ecrans de notation utilisée pour évaluer le ductus des lettres tracées par les enfants. La tablette permettait de visualiser l'enregistrement du tracé afin de noter les points de reprise et le sens du tracé de la lettre.



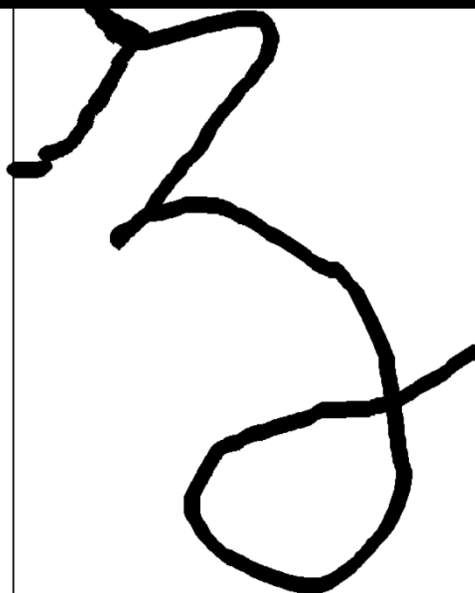
|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| b | c | d | f |
| g | j | k | l |
| m | n | p | r |
| s | t | v | z |

?

Vous noterez la qualité du tracé de la lettre de 0 à 4  
par rapport à un tracé conventionnel

La note 0 correspond à une lettre méconnaissable  
La note 4 correspond à une lettre dont le tracé  
est conforme à la lettre attendue sans  
aucune reprise visible de trait

0 1 2 3 4



FIN