



HAL
open science

La directionnalité de l'écrit : Evolution développementale et contribution au traitement des formes de lettres

Marine Portex

► **To cite this version:**

Marine Portex. La directionnalité de l'écrit : Evolution développementale et contribution au traitement des formes de lettres. Psychologie. Université de Bordeaux, 2017. Français. NNT : 2017BORD0881 . tel-02408327

HAL Id: tel-02408327

<https://theses.hal.science/tel-02408327>

Submitted on 13 Dec 2019

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

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

THÈSE PRÉSENTÉE
POUR OBTENIR LE GRADE DE
DOCTEUR DE
L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

ÉCOLE DOCTORALE SOCIÉTÉS, POLITIQUE, SANTÉ PUBLIQUE
SPÉCIALITÉ PSYCHOLOGIE

Par Marine PORTEX

La directionnalité de l'écrit
Evolution développementale et contribution au traitement des formes de lettres

Sous la codirection de Jean-Noël FOULIN et Bertrand TROADEC

Soutenue le 12/12/2017

Membres du jury :

Mme DEMONT, Elisabeth
M. FISCHER, Jean-Paul
Mme BARA, Florence
Mme PONCE, Corinne
M. FOULIN, Jean-Noël

PU, Université de Strasbourg
PU émérite, Université de Lorraine
MCF, Université de Toulouse Jean Jaurès
MCF, Université de Bordeaux
MCF-HDR, Université de Bordeaux

Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur
Directeur de thèse

Titre : La directionnalité de l'écrit. Evolution développementale et contribution au traitement des formes de lettres

Résumé :

La directionnalité est une composante perceptivo-motrice et culturellement déterminée qui intervient de façon prééminente dans l'acquisition initiale de l'écriture. Cette thèse visait à apporter des données empiriques et des éclairages théoriques nouveaux sur 1) son évolution au cours du développement et, 2) sa contribution à la production et à la reconnaissance des formes de lettres. Ces deux axes de recherche ont été déclinés en cinq études. Une première étude investiguait le poids de l'influence culturelle sur la directionnalité graphique au long du développement. Elle permettait de comparer les performances de tracé chez des enfants âgés de 5 à 9 ans dans des conditions où des contraintes biomécaniques, syntaxiques et sémantiques variaient. Les résultats faisaient apparaître un renforcement de l'influence culturelle sur la directionnalité graphique à partir de 6 ans. Cependant, les enfants les plus âgés (9 ans) se montraient capables d'adopter des procédures plus flexibles et de se désengager de contraintes culturelles afin de satisfaire des contraintes contextuelles. La deuxième étude examinait l'évolution développementale de la directionnalité de l'écrit chez des enfants âgés de 4 à 11 ans en comparant la production de formes communes à l'écriture et au dessin. Les résultats obtenus mettaient en évidence une acquisition synchrone des invariants universels (i.e., l'écriture est uni-directionnelle) et des spécificités culturelles du système d'écriture (i.e., la langue est transcrite de gauche à droite). Dans le deuxième axe de recherche, deux études avaient pour objectif de mettre à l'épreuve des faits des hypothèses explicatives récentes de l'écriture en miroir dans l'acquisition initiale et typique de l'écrit. La comparaison de productions en temps réel et appariées d'écritures en miroir et d'écritures conventionnelles chez des enfants pré-lettrés révélait une implication majeure de la directionnalité de l'écrit et une invariance cinématique. Enfin, la dernière étude a permis de mettre en évidence, à l'aide d'un paradigme d'entraînement, une contribution de la directionnalité de l'écriture au rappel de l'orientation de lettres a été mise en évidence chez des enfants pré-lettrés. Les résultats obtenus sont discutés dans une approche incarnée de la cognition et des pistes pédagogiques sont amorcées.

Mots clés : Directionnalité de l'écrit - Acquisition de l'écrit - Influence culturelle - Ecriture en miroir - Interactions perceptivo-motrices - Cognition incarnée

Unité de recherche

Laboratoire de Psychologie, EA 4139, 3 ter Place de la Victoire 33000 Bordeaux

Title: Writing directionality. Developmental evolution and contribution to the processing of the shapes of letters

Abstract

Directionality is a crucial perceptual-motor and culturally-based component of early writing acquisition. This research was aimed at providing empirical data and new theoretical insights on 1) its developmental evolution and, 2) its contribution to the production and the recognition of the shapes of letters. Five studies have been devised to fulfill the research objectives. The first study was aimed at investigating how print experience, as a cultural factor, influences directional tendencies in children's drawing in the interplay with biomechanical, syntactic and semantic factors. Results showed a reinforcement of cultural influence on directional tendencies from 6 years onward. Older children were better able to disengage from a prevalent embodied behavior to meet contextual constraints. The second study examined the specific developmental evolution of writing directionality in children aged from 4 to 11 years while producing the same shapes in both writing and drawing tasks. The results suggested that universal and culture-specific features of writing appear concomitantly and early on in children's productions. Another two studies were aimed to empirically test competing accounts of mirror writing in preliterate children. On-line productions of paired conventional and mirror writings revealed a predominant role of writing directionality and a kinematic invariance. Finally, a training study showed a contribution of writing directionality to the subsequent recall of the shapes of letters. Results are discussed in terms of embodiment and perspectives in educational settings.

Keywords: Writing Directionality - Writing acquisition - Cultural influence - Mirror writing - Perceptual-motor interactions - Embodied cognition

Unité de recherche

Laboratoire de Psychologie, EA 4139, 3 ter Place de la Victoire 33000 Bordeaux

Sommaire

Introduction générale	5
Cadre Théorique	9
Chapitre 1.	10
Les facteurs des tendances directionnelles	10
1.1 Les facteurs biologiques	11
1.1.1 Les asymétries cérébrales	11
1.1.2 La biomécanique du mouvement	16
1.2 Les facteurs culturels	18
1.2.1 La prédominance de la direction de l'écrit/ure	18
1.2.2 L'émergence de l'influence culturelle chez l'enfant	24
1.3. Les facteurs contextuels	29
1.4 Synthèse	32
Chapitre 2. Acquisition initiale de l'écriture	34
2.1 Les caractéristiques universelles et culturelles de l'écriture	35
2.1.1 Linéarité et orientation spécifique	36
2.1.2 Homogénéité de formes et formes particulières de lettres	36
2.1.3 Uni-directionnalité et direction spécifique de l'écriture	37
2.1.4 Acquisition linéaire ou acquisition statistique	40
2.2 Le contrôle du mouvement	41
2.2.1 Contrôle rétroactif et feedbacks sensoriels	42
2.2.2 Contrôle proactif et programme moteur	43
2.2.3 Développement du contrôle moteur de l'écriture chez l'enfant	45
2.3 Synthèse	47
Chapitre 3.	48
Contribution de la motricité à l'écriture et à la reconnaissance des formes de l'écrit	48
3.1 Le cas des écritures en miroir	49
3.1.1 Les théories unitaires et leurs prédictions	50
3.1.2 Les facteurs endogènes et les facteurs exogènes	52
3.1.3 Les théories actuelles	58
3.2 Les interactions perceptivo-motrices dans l'écrit	60
3.2.1 Les bases neurales	62
3.2.2 Facilitation/interférence de la motricité dans l'identification de lettres	63
3.2.3 Les mécanismes cognitifs sous-jacents	64
3.3 Synthèse	67
Projet de thèse	69
Partie empirique	73
Etude 1.	74
Influence culturelle sur la directionnalité dans le dessin d'enfant	74
1 Contexte	74
2 Méthode	81
3 Résultats	87
4 Discussion	95

Etude 2.	101
Acquisition de la directionnalité de l'écrit dans le développement comparé de l'écriture et du dessin	101
1. Contexte	101
2. Méthode	106
3. Résultats	110
4. Discussion	119
Etude 3.a.	122
Etude comparative des paramètres dynamiques de l'écriture en miroir et de l'écriture conventionnelle chez l'enfant pré-lettré	122
1 Contexte	122
2 Méthode	126
3 Résultats	130
4. Discussion	134
Etude 3.b	139
Orientation des formes de lettres et de chiffres en volume chez des enfants pré-lettrés : une étude pilote	139
1 Contexte	139
2 Méthode	140
3. Résultats	142
4. Discussion	143
Etude 4.	145
Contribution de la directionnalité de l'écriture à la reconnaissance de l'orientation de pseudo-lettres chez l'enfant pré-lettré	145
1 Contexte	145
2 Méthode	148
3 Résultats	154
4 Discussion	157
Discussion générale et conclusion	160
Références	169
Annexes	182
Annexe 1.A Index des Tableaux	183
Annexe 1.B. Index des Figures	184
Annexe 2.A Présentation du stylo Anoto© et de l'interface du logiciel Elian©.	187
Annexe 2.B Matériel utilisé pour l'évaluation de la préférence latérale.	188
Annexe 3.A Les huit pseudo-lettres asymétriques utilisées pour l'épreuve préliminaire d'appariement à choix forcé (étude 4)	189
Annexe 3.B. Les huit pseudo-lettres asymétriques utilisées pour l'apprentissage (étude 4)	190
Annexe 4 Exemple des trois activités avec guidage visuel de l'entraînement manuscrit en fonction de l'orientation de la forme et de la directionnalité.	191

INTRODUCTION GENERALE

La représentation de l'espace se construit à partir d'une conscience proprioceptive de notre corps et de ses mouvements possibles (Merleau-Ponty, 1945). Les activités graphiques telles que le dessin ou l'écriture se déroulent dans un espace en deux dimensions, l'horizontale et la verticale, où les références du corps propre sont projetées. L'axe vertical est fortement enraciné dans l'expérience physique. Notamment, l'asymétrie entre le haut et le bas est déterminée par la force de gravité et répond à une pression évolutive forte chez l'Homme comme chez l'animal en permettant, par exemple, de distinguer les dangers venus du ciel de ceux venus du sol (Gross & Bornstein, 1978). L'axe horizontal spécifie également deux pôles opposés, la gauche et la droite, dont la distinction ne repose sur aucune loi physique. A l'aide du paradigme d'habituation, Bornstein, Gross et Wolf (1978) ont mis en évidence dès 4 mois chez l'Homme, la similarité perceptive des images latérales bien que les nourrissons soient capables de discriminer d'autres orientations à cet âge, notamment l'orientation verticale. À l'âge adulte, la prééminence de l'axe vertical sur l'axe horizontal persiste dans le traitement visuel (Farrell, 1979). Selon une hypothèse évolutionniste, le traitement des images latérales comme équivalentes par le système visuel (Corballis & Beale, 1976) repose sur un avantage adaptatif (Gross & Bornstein, 1978). En effet, les images latérales représentent deux aspects d'une même entité qui fournissent des informations redondantes dans le monde naturel où la plupart des objets possède un plan de symétrie ou de quasi-symétrie (Dehaene, 2007).

Cependant, la gestion des asymétries spatiales fait apparaître une stratégie cognitive universelle à privilégier un espace latéral particulier comme mode de traitement perceptif et moteur : les tendances directionnelles (Nachshon, 1981). Au niveau ontogénétique, le terme de « tendances » indique à la fois la récurrence d'une réponse comportementale particulière dans des conditions déterminées et la flexibilité de cette réponse en fonction du poids relatif de certains facteurs dans le développement. Les tendances directionnelles ne relèvent pas d'une inscription phylogénétique et reposeraient essentiellement sur des mécanismes

maturationnels et/ou d'apprentissage chez l'individu. Elles s'expriment à travers des biais spatiaux et impactent une variété de conduites, du sens de rotation de la tête au cours d'un baiser (Shaki, 2013) aux performances évaluées par des tests neuropsychologiques (Jewell & McCourt, 2000).

Ce travail de thèse porte spécifiquement sur l'influence de la directionnalité de l'écrit, laquelle, dans nos sociétés lettrées structure pour une large part notre expérience de l'espace. Trois chapitres exposent le cadre théorique. Le chapitre 1 sera consacré à une revue de travaux sélectionnés sur les différents facteurs des tendances directionnelles et leurs interactions dans le développement. La directionnalité de l'écrit est considérée dans ce chapitre comme un facteur prédominant des tendances directionnelles dans une variété de domaines cognitifs, au-delà des activités de littératie. Les deux chapitres suivants concernent, quant à eux, plus spécifiquement le domaine de l'écrit. Le chapitre 2 a pour objectif de présenter les caractéristiques perceptivo-motrices de l'écrit et leur rôle dans l'acquisition initiale de l'écriture parallèlement à sa différenciation du dessin. Le chapitre 3 porte de manière générale sur la contribution de la motricité de l'écriture dans le traitement des formes de lettres. Il regroupera des données et des perspectives théoriques actuelles sur le phénomène d'écriture en miroir dans l'acquisition initiale et typique de l'écrit et sur les processus moteurs impliqués dans la reconnaissance de lettres. Les questions soulevées dans les trois chapitres théoriques alimentent la problématique générale de la thèse, déclinée en deux axes d'investigations empiriques. Le premier traite de l'évolution développementale de la directionnalité de l'écrit, le second de la contribution de la directionnalité de l'écrit au traitement des formes de lettres.

La partie empirique comporte cinq études. Chaque étude est introduite par un cadre théorique spécifique et fait l'objet d'une discussion particulière. La discussion générale vise à fournir des éléments de compréhension sur la directionnalité de l'écrit qui intègrent différents

résultats obtenus au cours de ces études, lesquels sont rapprochés de la littérature existante. Enfin cette dernière partie permet de dégager les limites, apports et perspectives de ce travail de thèse

CADRE THEORIQUE

Chapitre 1.

Les facteurs des tendances directionnelles

Les tendances directionnelles s'expriment dans une variété de domaines cognitifs, des traitements perceptifs et moteurs simples jusqu'à la pensée conceptuelle. Leur observation dans des tâches perceptives et graphiques – e.g., les visages chimériques ou la bissection de ligne – a permis d'inférer des connaissances sur l'architecture et le fonctionnement du cerveau avant l'avènement des techniques d'imagerie (Voyer, Voyer, & Tramonte, 2012). Dans le domaine de la pensée conceptuelle, les tendances directionnelles se manifestent dans l'utilisation de métaphores conceptuelles. Ces métaphores nous permettent de comprendre et penser des concepts abstraits en créant une correspondance avec des domaines plus concrets qui émergent de notre expérience physique et culturelle du monde (Lakoff & Johnson, 2008). Notre expérience de l'espace est notamment recrutée pour structurer des concepts tels que l'agentisme, le temps ou le nombre. Chacun de ces concepts se caractérise par une certaine uni-directionnalité – i.e., l'action est unilatérale, les événements sont irréversibles dans le temps, les nombres sont ordonnés – qui est représentée spatialement sur l'axe horizontal.

La chronologie des recherches portant sur les tendances directionnelles témoigne, quel que soit le domaine considéré, d'un glissement explicatif du biologique au culturel. Selon des hypothèses biologiques, les tendances directionnelles reflèteraient les asymétries structurelles et fonctionnelles du corps et du cerveau. Par exemple, il y aurait un avantage à traiter des stimuli en utilisant les récepteurs sensoriels et les membres effecteurs localisés dans l'espace controlatéral à l'hémisphère dominant pour la tâche en cours (l'hémisphère droit dans les tâches visuo-spatiales et l'hémisphère gauche dans les tâches langagières). Selon une hypothèse culturelle, la direction de l'écriture promeut une stratégie de balayage visuo-moteur qui serait intériorisée et généralisée au-delà des tâches de lecture et d'écriture. Ces deux hypothèses historiquement opposées tendent à être conciliées aujourd'hui avec l'évolution

paradigmatique marquée notamment par l'approche incarnée de la cognition (Shapiro, 2010) et l'avènement de la neuro-imagerie transculturelle (Han & Northoff, 2008).

L'objectif de ce premier chapitre est de fournir une revue de travaux sélectionnés au sein de différents domaines de recherches permettant d'identifier les facteurs impliqués dans le développement et la manifestation de tendances directionnelles et d'en comprendre les interactions.

1.1 LES FACTEURS BIOLOGIQUES

Dans les différents domaines de recherches que nous allons aborder, les tendances directionnelles chez l'Homme ont été initialement expliquées en référence à des facteurs neurobiologiques : les asymétries cérébrales et la biomécanique du mouvement.

1.1.1 Les asymétries cérébrales

Les premières études portant sur les tendances directionnelles ont été motivées par l'observation de biais spatiaux chez des patients cérébro-lésés. De plus, elles ont exclusivement inclus des participants issus d'un contexte culturel occidental. Ainsi, les premiers résultats obtenus chez l'adulte sain ont fait l'objet d'hypothèses explicatives centrées sur des propriétés dites universelles de la structure et du fonctionnement cérébral. Dans la présente section, ces hypothèses seront illustrées par des recherches dans le domaine des asymétries perceptives et de la représentation spatiale de l'agentisme. L'asymétrie de la perception de l'espace a notamment été mise en évidence sous la forme d'une représentation perceptuelle d'un biais attentionnel à gauche lorsqu'il est demandé à des sujets sains exposés à des langues transcrites de gauche à droite d'estimer le centre d'une ligne horizontale dans une tâche de bissection de ligne (Chokron & De Agostini, 1995). Bowers et Heilman (1980) nomment ce phénomène « pseudo-négligence » en référence au syndrome de négligence

spatiale consécutif à une lésion de l'hémisphère droit, suggérant ainsi l'existence de processus neurobiologiques communs et sous-jacents à ces deux phénomènes (Jewell & McCourt, 2000). Ainsi, la pseudo-négligence a été initialement expliquée par les asymétries cérébrales dans le cadre de la théorie de l'activation-orientation (Kinsbourne, 1970b, 1970a, 1987). La bissection à gauche du véritable centre de la ligne correspondrait à une surestimation de l'hémi-espace gauche consécutive à la sur-activation de l'hémisphère droit. Ainsi, les performances des individus sains dans une tâche de bissection de ligne ont trois sources principales: premièrement, la nature de la tâche qui recrute les fonctions visuo-spatiales localisées dans l'hémisphère droit; deuxièmement, le degré d'asymétrie cérébrale des fonctions visuo-spatiales qui est plus important pour les droitiers que pour les gauchers; troisièmement, la main utilisée pour effectuer la bissection qui renforce, dans le cas de la main gauche, ou reflète, dans le cas de la main droite, l'activation de l'hémisphère droit (Jewell & McCourt, 2000). En d'autres termes, l'amplitude de la pseudo-négligence est d'autant plus importante pour des participants droitiers qui effectuent la bissection avec leur main gauche (Brodie & Dunn, 2005). Ce pattern de résultat classiquement observé chez l'adulte diffère dans le développement. Avant 8 ans et chez l'adulte âgé, l'effet de la main correspond à une déviation significative à gauche avec la main gauche et à droite avec la main droite (Bradshaw, Spataro, Harris, Nettleton, & Bradshaw, 1988; Failla, Sheppard, & Bradshaw, 2003). L'interprétation de ce phénomène de « négligence symétrique » (Hausmann, Waldie, & Corballis, 2003, p. 156) comme un défaut de transfert hémisphérique dû à l'immaturité du corps calleux chez l'enfant et à sa dégénérescence chez l'adulte âgé tendait à corroborer l'hypothèse hémisphérique dans la pseudo-négligence.

La négligence spatiale unilatérale a également été mise en évidence à travers des tâches de dessin et notamment dans le test de l'horloge qui fait apparaître une production incomplète des patients dans laquelle la partie gauche du cadran est manquante (Chokron,

Colliot, & Bartolomeo, 2004). Les tâches graphiques, qui recrutent en majorité des régions localisées dans l'hémisphère droit (Farias, Davis, & Harrington, 2006), seraient également sujettes aux mêmes mécanismes cérébraux que ceux présentés précédemment décrits dans le cadre de la tâche de bissection de ligne. Des asymétries perceptives ont également été mises en évidence dans le cadre de la tâche des visages chimériques (Levy, Heller, Banich, & Burton, 1983) et de la préférence esthétique. Dans la tâche des visages chimériques (Encadré 1), les participants ont tendance à utiliser préférentiellement des informations présentes dans l'hémi-champ visuel gauche pour émettre un jugement perceptif. De même, un visage est jugé comme étant plus plaisant si son profil est orienté à gauche (du point de vue de l'observateur). Le biais spatial à gauche dans le traitement de stimuli faciaux a été rapporté dès 5 ans dans la tâche classique des visages chimériques (Chiang, Ballantyne, & Trauner, 2000; Failla et al., 2003; Levine & Levy, 1986) et apparaît dès 3 ans dans les tâches de perception émotionnelle avec une préférence pour la joue gauche (Lindell, Tenenbaum, & Aznar, 2017). La saillance de l'information à gauche a été là aussi interprétée dans le cadre de la théorie de l'activation-orientation (Kinsbourne, 1970b, 1970a, 1987). L'hypothèse hémisphérique est corroborée par : 1) des données comportementales qui indiquent une corrélation positive entre la consistance de la préférence manuelle à droite et la force du biais spatial à gauche (Bourne, 2008) ; 2) des données électro-physiologiques qui montrent une forte association entre l'activation de régions localisées dans l'hémisphère droit et la performance à des tâches de visages chimériques (Yovel, Tambini, & Brandman, 2008) et ; 3) des données en populations cliniques qui montrent des patterns de résultat différents en fonction de la localisation de la lésion, une lésion à droite est associée à un biais attentionnel à droite tandis qu'une lésion à gauche est associée à un biais attentionnel à gauche (pour une méta-analyse ; Voyer et al., 2012).

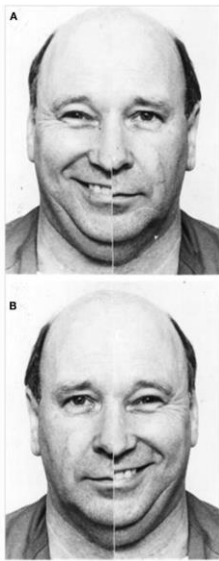


Figure 1 : exemples de stimuli utilisés pour la tâche des visages chimériques, dans Failla et al. (2003)

Encadré 1

Un visage chimérique est composé de deux hémi-visages d'une même personne qui diffèrent dans l'expression faciale. Par exemple, un des deux hémi-visages est souriant tandis que l'autre est neutre (Figure 1). Dans la tâche classique, deux visages chimériques sont présentés simultanément au participant. La localisation de l'hémi-visage qui porte l'information émotionnelle varie entre les visages (i.e., à droite ou à gauche). Le participant doit indiquer le visage présentant la plus grande intensité émotionnelle. Dans notre exemple, il s'agit d'indiquer quel visage semble le plus heureux. Un biais spatial à gauche a été rapporté dans cette tâche, i.e., les participants ont tendance à juger plus heureux le visage dont l'hémi-visage souriant est localisé à gauche (le visage A dans la figure 1).

Un biais de préférence esthétique a également été observé pour des images qui contiennent les objets les plus larges ou le contenu le plus important à droite et qui présentent un arrangement ou un mouvement des stimuli picturaux de gauche à droite (dans la perspective de l'observateur). Bien que les données comparatives entre adultes droitiers et gauchers restent contradictoires (e.g., Levy, 1976; Nachson, Argaman, & Luria, 1999), deux explications liées à la spécialisation fonctionnelle des hémisphères cérébraux sont aujourd'hui encore dominantes. Selon Levy (1976), la préférence esthétique est basée sur le rétablissement de l'équilibre attentionnel biaisé à gauche par l'activation sélective de l'hémisphère droit dans des tâches visuo-spatiales. Selon Beaumont (1985), l'orientation de l'attention à droite facilite le traitement de l'information picturale par l'hémisphère droit laissant la plus grande partie de l'image dans l'hémi-espace gauche.

Dans le domaine de la pensée conceptuelle, des études sur le biais spatial d'agentisme se sont développées à partir de l'observation d'un patient présentant une aphasie agrammaticale à la suite d'une lésion cérébrale de l'hémisphère droit (Chatterjee, Maher, Rothi, & Heilman, 1995). Notamment, il avait des difficultés à correctement associer un rôle

thématique (agent, patient) à une catégorie grammaticale (sujet, objet). Dans une tâche d'appariement phrase-image, il assignait systématiquement le rôle de l'agent à la figure positionnée à gauche de l'image. Par exemple dans la phrase « le cercle frappe le carré », il choisissait systématiquement la figure de gauche que le cercle ou le carré soit l'auteur de l'action. La tendance à orienter spatialement des séquences d'action de gauche à droite en positionnant l'agent à gauche du thème a également été mise en évidence chez l'adulte sain de langue maternelle anglaise (Chatterjee, Southwood, & Basilico, 1999). L'hypothèse explicative privilégiée dans un premier temps faisait référence à l'asymétrie des mécanismes neuronaux qui contrôlent l'attention. Selon la théorie de l'activation-orientation (Kinsbourne, 1970a, 1970b, 1987), la distribution de l'attention visuo-spatiale entre les champs visuels gauche et droit est déterminée par l'activation asymétrique des hémisphères cérébraux qui dirigent controlatéralement l'attention selon deux vecteurs opposés : de gauche à droite pour l'hémisphère gauche et de droite à gauche pour l'hémisphère droit. Ainsi, l'activation de l'hémisphère gauche par la tâche verbale serait responsable du déploiement de l'attention selon un vecteur gauche-droite (Chatterjee, Maher, & Heilman, 1995).

Dans la section précédente, la dominance manuelle a été uniquement considérée comme un corrélat anatomique de la latéralisation cérébrale des fonctions cognitives. La dominance manuelle peut également avoir un effet direct sur les tendances directionnelles, en activant des principes biomécaniques qui facilitent l'exécution de mouvements réels ou simulés dans l'espace (Martin & Jones, 1999).

1.1.2 La biomécanique du mouvement

Les principes biomécaniques font référence à des contraintes neuromusculaires selon lesquelles les mouvements abducteurs (vers l'extérieur du corps) seraient exécutés de manière plus fluide, plus rapide et plus précise que les mouvements adducteurs (vers l'intérieur du corps) (Brown, Knauff, & Rosenbaum, 1948). Ainsi, les droitiers privilégieraient naturellement les mouvements dirigés de gauche à droite et les gauchers les mouvements dirigés de droite à gauche (Figure 2) (Dreman, 1977). Les performances observées dans des tâches motrices simples de tracé de ligne correspondent aux prédictions de l'hypothèse biomécanique chez l'adulte et chez l'enfant (Braswell & Rosengren, 2002; De Agostini & Chokron, 2002; Reed & Smith, 1961; Scheirs, 1990; Van Sommers, 1984) (Figure 2). Les

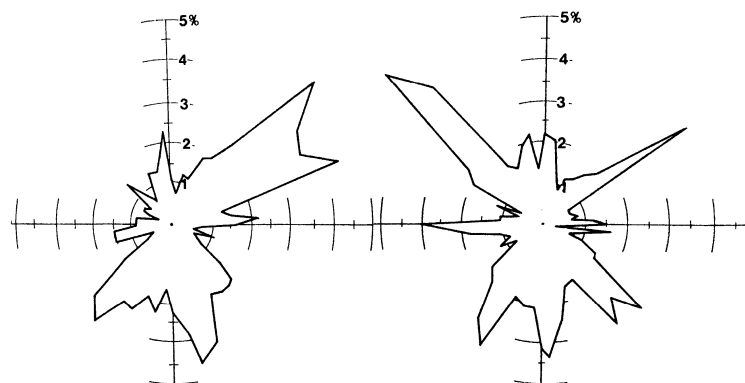


Figure 2 : Directionnalité de traits simples produits par des adultes droitiers (à gauche) et gauchers (à droite), dans Van Sommers (1984)

preuves empiriques les plus probantes sont apportées par des études qui considèrent la main utilisée comme variable d'intérêt. Par exemple, Reed et Smith (1961) ont demandé à des enfants gauchers et droitiers, âgés de 9 à 13 ans, de tracer les barreaux d'une échelle sur une image avec leur main dominante et leur main non-dominante. Quelle que soit leur dominance manuelle, les enfants traçaient de gauche à droite avec la main droite et de droite à gauche avec la main gauche. Dans des tâches plus complexes de dessin figuratif, un effet des facteurs

biomécaniques a également été retrouvé à différents niveaux de la directionnalité graphique (Encadré 2) (Picard, 2011).

Encadré 2. Codage de la directionnalité graphique

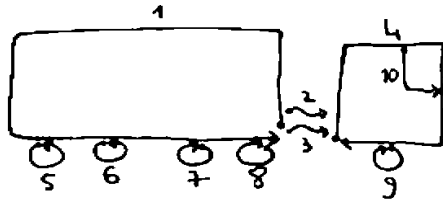


Figure 3 : Exemple d'une séquence de dessin d'un camion, d'après Picard (2011)

La directionnalité peut être appréciée à trois niveaux de la production graphique (l'exemple de la figure ci-contre est utilisé comme illustration) : 1) **L'orientation de la forme** est déterminée par la direction de l'orientation de l'objet (à droite dans l'exemple) ; 2) la **directionnalité globale** concerne la progression du tracé (les mouvements 1-4 progressent de gauche à droite dans l'exemple) ; 3) La **directionnalité locale** concerne la trajectoire de chaque trait (par exemple, de gauche à droite pour les mouvements 2 et 3 et dans le sens antihoraire pour les mouvements 5 et 6).

Dès 5 ans, la directionnalité globale du dessin et la directionnalité locale des traits étaient déterminés par la préférence manuelle : de gauche à droite pour les droitiers et de droite à gauche pour les gauchers. Les principes biomécaniques agiraient très tôt sur les mouvements réels. Au niveau de l'orientation de la forme, l'effet de la préférence manuelle n'apparaît qu'à 9 ans en lien avec un renforcement de la directionnalité locale. Les principes biomécaniques affecteraient les mouvements simulés (la planification de l'orientation de la forme) dès lors que les enfants ont acquis une maîtrise suffisante de leur système effecteur.

Les asymétries cérébrales et la biomécanique du mouvement sont considérées comme des prédispositions biologiques qui affectent les tendances directionnelles, notamment à travers la dominance manuelle. La main dominante peut également impliquer d'autres contraintes qui relèvent de la culture (Perelle & Ehrman, 2005).

1.2 LES FACTEURS CULTURELS

L'hypothèse culturelle des tendances directionnelles a émergé essentiellement de recherches interculturelles qui rapportaient des patterns de performances opposés entre des personnes exposées à des langues sémitiques et d'autres exposées à des langues d'origine gréco-latines. L'expérience d'un système d'écriture spécifique et l'enseignement qui l'accompagne promeuvent une stratégie de balayage visuo-moteur, de droite à gauche pour les langues sémitiques et de gauche à droite pour les langues d'origine gréco-latines. La direction de l'écriture constitue une contrainte culturelle forte qui serait intériorisée et généralisée à une grande variété de traitements cognitifs, au-delà de la lecture et de l'écriture.

La section suivante a pour objectif d'intégrer différentes preuves empiriques essentiellement chez l'adulte, qui indiquent une influence prédominante de la culture et plus particulièrement de la direction de l'écriture dans la manifestation des tendances directionnelles. Par ailleurs, les connaissances actuelles sur l'évolution développementale et les conditions de l'émergence de l'influence culturelle en interaction avec des facteurs neurobiologiques sur les tendances directionnelles seront illustrées par des études chez l'enfant.

1.2.1 La prédominance de la direction de l'écriture

La stratégie de balayage visuo-moteur a été identifiée comme un facteur prédominant des asymétries perceptives et notamment celle mise en évidence dans la tâche de bissection de ligne (pour une méta-analyse, Jewell & McCourt, 2000). Une étude a comparé deux situations expérimentales dans lesquelles il était demandé à des adultes droitiers de diriger leur traitement du stimulus de gauche à droite ou de droite à gauche (Brodie & Pettigrew, 1996). Les adultes droitiers réalisaient une bissection à gauche plus importante quand le balayage de la ligne était initié depuis la gauche que lorsqu'il l'était depuis la droite. Si la direction du

traitement visuel est une variable provoquée dans l'expérience préalablement citée, elle est invoquée lorsque l'on s'intéresse à des individus exposés à des langues transcrites dans des directions opposées. Par exemple, Chokron et De Agostini (1995) ont montré une différence de performance entre des participants francophones et hébreophones dès 5 ans dans une tâche de bissection de ligne : les participants francophones effectuaient la bissection significativement plus à gauche que les participants hébreophones. De nombreuses données empiriques corroborent l'influence de la direction de l'écriture dans des tâches perceptives. Des adultes exposés à des langues transcrites de droite à gauche ont tendance à préférer les stimuli picturaux orientés vers la gauche tandis que ceux exposés à des langues transcrites de gauche à droite ont tendance à préférer les stimuli picturaux orientés à droite qu'il s'agisse d'objets concrets (Chokron & De Agostini, 2000; Maass, Pagani, & Berta, 2007; Nachson et al., 1999) ou de formes géométriques (Heath, Mahmasanni, Rouhana, & Nassif, 2005). Les locuteurs de l'Hindi et de l'Urdu (Encadré 3) présentent un biais spatial opposé, respectivement à gauche et à droite, dans le traitement de stimuli faciaux (Friedrich & Elias, 2016; Vaid & Singh, 1989). Les biais dans la perception sont également associés à des biais dans la production artistique. Par exemple, González (2012) a montré que l'organisation esthétique de photographies est alignée sur la direction de l'écriture dans un contexte linguistique donné : des photographies réalisées en Espagne au 19^{ème} siècle suivaient majoritairement une directionnalité de gauche à droite (e.g., la personne plus grande ou debout est placée à droite d'une personne plus petite ou assise) tandis qu'en Iran les photographies suivaient majoritairement une directionnalité droite-gauche. Dans la production graphique d'objets figuratifs, la directionnalité globale du tracé faisait apparaître une directionnalité spécifique de gauche à droite chez des mono-lettrés Hindi et de droite à gauche chez des mono-lettrés Urdu (Vaid, Singh, Sakhuja, & Gupta, 2002). En revanche, un groupe de participants illettrés ne manifestait aucune tendance directionnelle significative.

Encadré 3. Hindi et Urdu

Hindi							
: h	अ a	आ ā	इ i	ई ī	उ u	ऊ ū	ऋ ṛ
ए e	ऐ ai	ओ o	औ au	ः ḥ			
क k}	ख kh}	ग g}	घ gh}	ङ ṅ			
च c}	छ ch}	ज j}	झ jh}	ञ ñ			
ट ṭ	ठ ṭh	ड ḍ}	ढ ḍh}	ण ṇ			
त t	थ th	द d}	ध dh}	न n			
प p	फ ph}	ब b}	भ bh}	म m			
य y	र r	ल l	व v				
श ś	ष ṣ	स s	ह h				

Urdu						
ا alif	د d	ذ dāl	ض *z	ز z	م m	میم mim
ب b	پ pe	ت te	ث th	ج jim	چ ce	ح h
خ x	دāl	ذ dāl	ض *z	ز z	م m	میم mim
پ pe	ت te	ث th	ج jim	چ ce	ح h	ح choḥi he
س se	ش sh	س s	ص svād	ل l	لام lām	
ف fe	ف fe	ق q	ق qāf	ک k	ک kāf	
گ g	گ g	گ g	گ gāf	ل l	لام lām	
خ x	خ x	ص svād	ل l	لام lām		

Figure 4 : Les systèmes d'écriture Hindi et Urdu, dans Vaid (1995)

Plusieurs études ont cherché à confirmer l'influence de la direction de l'écriture sur les tendances directionnelles dans le contexte des langues Hindi et Urdu. La langue Hindi est transcrite de gauche à droite en alphabet devanagari et la langue Urdu est transcrite de droite à gauche à l'aide des caractères nastaliq de tradition arabe (Figure 4). Ces langues ont l'intérêt de présenter des caractéristiques linguistiques proches (phonologie, lexique, grammaire) et d'être pratiquées par des personnes issues de la même région géographique (le nord de l'Inde).

La première étude à avoir investigué l'influence des facteurs culturels dans le domaine de la représentation spatiale d'actions a été menée par Maas et Russo (2003). Les performances de participants italophones et arabophones étaient comparées dans des tâches de production graphique et de jugement d'appariement phrase-image. Les résultats faisaient apparaître un biais spatial à gauche chez les étudiants italophones. Ceux-ci avaient tendance à représenter l'agent à gauche du thème et à répondre plus vite lorsque l'action évoluait de gauche à droite. A l'inverse, les étudiants arabophones interrogés en arabe dans leur pays d'origine, avaient tendance à représenter l'agent à droite du thème et à répondre plus vite lorsque l'action évoluait de droite à gauche. La représentation spatiale d'autres concepts abstraits tels que le nombre et le temps font également apparaître un biais spatial à gauche chez des personnes exposées à des langues transcrites de gauche à droite. Dans ces domaines de recherche, la contribution de facteurs culturels a été investiguée dès les premiers travaux. L'effet SNARC (Spatial Numerical Association of Response Codes; Dehaene, Bossini, & Giraux, 1993) désigne l'association systématique entre espace et ordre de grandeur. Dans l'étude phare de

Dehaene et collaborateurs (1993), la représentation spatiale du nombre a été mise en évidence à l'aide d'une tâche de jugement de parité (Encadré 4) chez des adultes mono-lettrés français. Les nombres sont représentés spatialement selon leur ordre de grandeur le long d'une ligne numérique horizontale orientée de gauche à droite chez des mono-lettrés français. Déjà dans l'article de 1993, Dehaene et collaborateurs questionnaient l'implication de facteurs culturels liés à la direction de l'écriture. Dans l'expérience 7, la tâche de jugement de parité était proposée à des d'adultes iraniens bi-lettrés arabe-français, dont la langue maternelle est transcrite de droite à gauche. L'analyse de leurs performances mettait en évidence un effet SNARC réduit et même inversé (i.e., la réponse est plus rapide à gauche pour les grands nombres et à droite pour les petits nombres) lorsque l'expérience de la deuxième langue, en l'occurrence le français, était faible. Des études auprès de mono-lettrés de l'arabe (Zebian, 2005) et de bi-lettrés (Fischer, Shaki, & Cruise, 2009) ont permis de corroborer l'implication majeure de facteur culturels dans la conceptualisation spatiale du nombre.

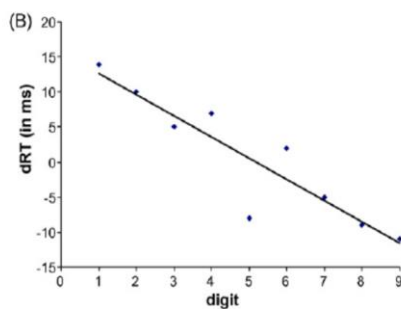


Figure 5 : Présentation de la tâche classique dans laquelle l'effet SNARC est observé, dans de Hevia, Vallar et Girelli (2008)

Encadré 4. L'effet SNARC

L'effet SNARC a initialement été mis en évidence à l'aide d'une tâche de jugement de parité (Figure 5). Pour la moitié des essais les participants devaient appuyer sur une touche à gauche si le nombre présenté (0 - 9) sur un écran était pair et à droite si il était impair. L'association touche-réponse était inversée pour l'autre moitié des essais. Les participants répondaient plus rapidement à gauche pour des petits nombres (0 - 4) et à droite pour des grands nombres (6 - 9) quelle que soit la main utilisée (dominante ou non dominante).

Dans le domaine de la représentation spatiale du temps, Tversky, Kugelmass et Winter (1991) ont comparé les performances d'enfants âgés de 5 à 11 ans et d'adultes issus de trois contextes linguistiques différents : anglophone, arabophone et hébreophone. Par rapport à un évènement de référence (e.g., le déjeuner) symbolisé par une étiquette sur une feuille de papier, les participants devaient placer un évènement qui se déroule avant (e.g., le petit-déjeuner) ou après (e.g., le dîner). Les résultats ont montré un effet de la direction de l'écriture : les enfants et les adultes anglophones représentent le temps de gauche à droite, les enfants et les adultes arabophones de droite à gauche et les enfants hébreophones de droite à gauche avec une diminution avec l'âge qui correspondrait à l'introduction de l'anglais dans le curriculum.

Les études interculturelles comparatives ont mis en évidence des différences dans la représentation spatiale de l'agentisme, du temps et du nombre qui ont été interprétées en référence à la direction de l'écriture. Cependant, les plans quasi-expérimentaux utilisés ne permettent pas d'isoler l'effet de ce facteur spécifique de celui généré par d'autres variations culturelles. Les études recourant à un paradigme d'amorçage en population bilingue présentent également des limites dans le contrôle des variables inhérentes au bilinguisme. Un lien causal entre la direction de l'écriture et les tendances directionnelles a pu être confirmé à court terme par des études récentes utilisant des protocoles d'entraînement chez des participants mono-lettrés issus d'une même culture. Par exemple, Casasanto et Bottini (2014) ont directement manipulé la direction de l'écriture de l'information temporelle à traiter. Des adultes néerlandais avaient à juger si une phrase transcrite sur un écran dans une des quatre orientations cardinales faisait référence au passé ou au futur en appuyant sur une touche-réponse positionnée à gauche, à droite, en haut ou en bas du clavier. Les résultats montraient un effet de congruence entre la direction de l'écriture et la position de la touche-réponse sur la rapidité de la réponse : lorsque le texte était transcrit de gauche à droite, les réponses gauche

et droite associées respectivement au passé et au présent étaient plus rapides et à l'inverse, les participants dont le texte était transcrit de droite à gauche étaient plus rapides lorsque les réponses droite et gauche étaient respectivement associées au passé et au présent. D'autres études ayant utilisé un paradigme d'amorçage ont permis de mettre en évidence un lien causal entre la direction de l'écriture et la représentation spatiale de l'agentisme (Román, Flumini, Lizano, Escobar, & Santiago, 2015) et du nombre (Fischer, Mills, & Shaki, 2010) mais pas dans une tâche de bissection de ligne (Chung, Liu, & Hsiao, 2017). Les résultats apportés par ces études constituent des preuves empiriques probantes d'un effet causal et spécifique, pour la majorité d'entre eux, de la direction de l'écriture sur les tendances directionnelles.

Au-delà de sa direction, l'amplitude du biais spatial est également soumise à des différences culturelles: le biais gauche-droite observé chez les personnes exposées à des langues transcrites de gauche à droite est plus important que le biais droite-gauche observé chez les personnes exposées à des langues transcrites de droite à gauche (Fischer et al., 2010; Maass & Russo, 2003). Selon Maass et Russo (2003), ce résultat reflèterait une interaction entre les facteurs culturels, incitant à une directionnalité alignée sur la direction de l'écriture et un facteur biologique en faveur d'un biais gauche-droite. Ainsi, le biais spatial observé est de plus large amplitude lorsque les facteurs biologiques et culturels sont congruents (i.e., langues transcrites de gauche à droite) que lorsqu'ils sont incongruents (i.e., langues transcrites de gauche à droite). Les différences d'amplitude peuvent être également expliquées en référence à l'influence contraire d'une deuxième langue, fréquemment pratiquée par les participants dont la langue maternelle est transcrite de droite à gauche. Comme souligné par Maass et Russo (2003), les comparaisons inter-culturelles permettent difficilement d'isoler l'influence du facteur culturel sur les comportements dans un contexte politique et économique mondial de globalisation qui tend à réduire les variabilités culturelles. En

revanche, les études développementales s'avèrent particulièrement adaptées pour répondre à cette question.

1.2.2 L'émergence de l'influence culturelle chez l'enfant

L'existence d'interactions entre facteurs biologiques et facteurs culturels devrait pouvoir s'observer plus largement dans l'enfance, où le poids des contraintes culturelles est plus faible que chez l'adulte lettré. Conformément à cette hypothèse, des résultats dans la tâche de bissection de ligne font apparaître, avant 9 ans, une déviation à gauche plus importante avec la main gauche comparativement à la main droite quel que soit le contexte d'écriture (arabe et français dont la langue est, respectivement, transcrite de droite à gauche et de gauche à droite) (Fagard & Dahmen, 2003). L'influence de la main utilisée dans la tâche de bissection de ligne avant 9 ans corrobore une influence des asymétries cérébrales sur les tendances directionnelles : la déviation à gauche, consécutive à la sur-activation de l'hémisphère droit induite par la nature spatiale de la tâche, est renforcée lorsque la main utilisée (i.e., la main gauche) constitue une source supplémentaire d'activation de l'hémisphère droit. En revanche, dans cette même expérience, l'influence culturelle est dominante chez les enfants plus âgés comme attesté par la différence significative entre les groupes d'enfants exposés à des langues transcrites dans des directions opposées : les enfants mono-lettrés en français produisaient des déviations à gauche plus importantes que les enfants mono-lettrés en arabe. De même, dans le domaine de la production graphique, les enfants droitiers et mono-lettrés en français adhèrent massivement dès 7 ans à une directionnalité de gauche à droite dans le tracé des traits laquelle n'apparaît qu'à des âges plus avancés chez les gauchers (De Agostini & Chokron, 2002). Ainsi, les tendances directionnelles observées dans des productions graphiques simples seraient déterminées par des facteurs biomécaniques avant que ne se manifeste une adhésion à une directionnalité alignée sur la direction de

l'écriture. Contrastant avec ces résultats, d'autres études développementales n'observent pas d'influence initiale de facteurs neurobiologiques. Par exemple, Dobel, Disendruck et Bölte (2007) ne rapportent aucun biais significatif et aucune différence entre des enfants d'âge préscolaire exposés à des langues transcrites dans des directions opposées (allemand et hébreu). De même, Kebbe et Vinter (2013) ne rapportent aucune tendance directionnelle spécifique chez des enfants français et syriens âgés de 6 ans dans le dessin figuratif, quelle que soit la main utilisée. Dans cette étude, des tendances directionnelles alignées sur la direction de l'écriture de l'arabe ou du français se développaient entre 6 et 10 ans, indépendamment de la main utilisée. Aussi, une étude chez des primates non-humains (gorilles et orang-outans) montre, d'une part une association systématique entre espace et ordre de grandeur (avec des numérosités non numériques) chez un même individu à travers les conditions et, d'autre part une forte variabilité au sein d'une même espèce (Gazes et al., 2017). Il existerait aux niveaux phylogénétique et ontogénétique, une flexibilité interindividuelle des tendances directionnelles qui disparaîtrait peu à peu au profit d'une stratégie alignée sur la direction de l'écriture.

Un autre point de divergences entre les études développementales concerne les conditions d'émergence de l'influence culturelle. Certains résultats suggèrent une influence culturelle précoce, dès les années pré-scolaires, qui résulterait d'une exposition variée et médiatisée à du matériel écrit. D'autres résultats, en faveur d'un processus long et progressif, suggèrent que l'émergence d'une influence culturelle nécessite une pratique effective de la direction de l'écriture dans le cadre des activités de littératie. En lien avec la première hypothèse, un biais spatial de comptage aligné sur la direction de l'écriture dans une culture donnée a été observé chez l'enfant dès 3 ans (Shaki, Fischer, & Göbel, 2012). Selon les auteurs, les comportements des enfants d'âge pré-scolaire sont influencés par l'exposition à la direction de l'écriture à travers l'observation des conduites des adultes, notamment au cours

des activités de lecture médiatisée (e.g., guidage par le doigt). Cette hypothèse a été récemment testée de manière expérimentale par Göbel et collaborateurs (Göbel, McCrink, Fischer, & Shaki, 2018). En effet, l'objectif était de déterminer dans quelle mesure les caractéristiques spatiales des livres pour enfants et l'expérience spatiale de la lecture médiatisée contribuent au biais de comptage (Göbel et al., 2018). Une première étude leur a permis de montrer que les configurations spatiales des actions dans des livres pour enfants de langue anglaise et hébraïque étaient opposées, conformément au biais d'agentisme illustré dans les sections précédentes. Un lien causal entre la direction de la lecture médiatisée et le biais de comptage a été mis en évidence dans une deuxième étude, où des enfants âgés de 4 ans de langue maternelle anglaise ou arabe faisaient l'expérience d'une des deux conditions de lecture médiatisée d'un même texte. Dans la « condition gauche », le livre utilisé était relié à gauche de telle sorte que les pages se tournaient de droite à gauche et le texte était aligné à gauche. Dans la « condition droite », le livre était relié à droite de telle sorte que les pages se tournaient de gauche à droite et le texte était aligné à droite. L'orientation des images différait également entre les deux conditions. L'expérimentateur racontait l'histoire dans la langue maternelle des enfants en suivant le texte avec son doigt et en pointant les personnages correspondants sur les images. Les performances des enfants à une tâche de comptage avant et après la lecture du texte montrent une modification du biais de comptage lorsqu'il n'était pas congruent avec la condition de lecture médiatisée et, ce, quel que soit le groupe. Par exemple, le biais de comptage initial des enfants de langue anglaise était inversé après la lecture du livre selon la condition droite. Dans une autre étude, les auteurs ont cherché à tester la contribution spécifique de l'attention visuo-spatiale dans l'effet de la lecture médiatisée. Des enfants de langue maternelle anglaise âgés de 4 ans étaient exposés à plusieurs vidéos dans lesquelles l'expérimentateur attirait leur attention sur le mouvement d'un animal, de gauche à droite de l'écran pour un groupe et de droite à gauche de l'écran pour un autre groupe. Les

auteurs ont comparé les performances des enfants à une tâche de comptage avant et après la lecture du texte et ne rapportent cette fois aucune modification du biais de comptage gauche-droite initialement observé, et ce quelle que soit la condition. Ainsi, dans des tâches explicites, le mouvement de l'attention spatiale ne serait donc pas responsable de l'effet de la lecture médiatisée. Les auteurs formulent l'hypothèse de l'intervention de la représentation spatiale du temps qui agirait indirectement sur une tâche de comptage à travers la narration de l'histoire. En revanche, Patro, Fischer, Nuerk et Cress (2016) ont pu observer un effet d'un apprentissage visuo-moteur décontextualisé de la littératie sur l'effet SNARC. Des enfants âgés de 3 et 4 ans devaient faire progresser une cible mobile dans un jeu vidéo dont la direction était manipulée, de gauche à droite ou de droite à gauche. Les enfants avaient ensuite à compléter une tâche de jugement de l'amplitude sur des objets non numériques (des sets de figures géométriques). L'entraînement gauche-droite favorisait des réponses plus rapides à gauche pour les petits nombres et à droite pour les grands nombres tandis que l'entraînement droite-gauche générait le pattern inverse. Les résultats de cette étude suggèrent que les biais spatiaux observés dans des tâches implicites ne reposent pas nécessairement sur une expérience directe du sens de transcription de la langue mais sur des processus visuo-moteurs plus généraux qui dirigent notre attention dans l'espace.

A l'inverse, d'autres études développementales suggèrent que la pratique explicite de la direction de l'écriture est nécessaire pour l'émergence d'une influence culturelle sur les tendances directionnelles. Par exemple, les résultats d'une méta-analyse de 17 études chez l'enfant âgé de 7 à 12 ans indiquent que la taille de l'effet SNARC classiquement mesuré à l'aide de la tâche de parité apparaît significative uniquement à l'âge de 10 ans et augmente avec l'âge (Wood, Willmes, Nuerk, & Fischer, 2008). Un effet SNARC est cependant rapporté dès 3 ans dans des tâches qui ne nécessitent pas de maîtriser le système de comptage verbal (Patro & Haman, 2012; Shaki et al., 2012). La production graphique fait également

apparaître des différences imputables à la pratique de l'écrit. Notamment, le tracé des cercles est soumis à de fortes contraintes culturelles introduites dans l'enseignement de l'écriture de formes curvilinéaires dans les systèmes d'origine gréco-latine. Les enfants pré-lettrés ont tendance à tracer majoritairement les cercles dans le sens horaire quel que soit le sens de transcription de leur langue maternelle. Avec l'âge, cette tendance décroît fortement chez les enfants exposés à des langues d'origine gréco-latine qui dès 7 ans adhèrent significativement à une directionnalité antihoraire (Fagard & Dahmen, 2003; Goodnow, Friedman, Bernbaum, & Lehman, 1973). De même, une étude de Troadec et Zarhbouch (2011) suggère que la pratique de l'écrit est nécessaire pour qu'apparaisse une flexibilité directionnelle de la représentation du temps dans le cadre d'une seconde langue. Les auteurs ont investigué l'association entre l'espace et le temps et surtout la flexibilité de cette représentation chez des enfants âgés de 10-11 ans, monolingues ou bilingues de langues transcrites dans des directions opposées (arabe et français). Des événements constitués de trois actions qui se succèdent de manière logique dans le temps (e.g., « l'enfant porte son ballon, il tape dans le ballon et il casse la vitre ») étaient présentés sur des cartes imagées avec le support narratif de l'histoire (en arabe ou en français) alternativement selon une orientation de gauche à droite, et de droite à gauche. Les enfants devaient ensuite reproduire cette histoire de mémoire selon un paradigme de rotation à 180°. L'effet du sens de présentation des images par l'expérimentateur était différent selon le groupe. Ainsi, pour trois groupes d'enfants interrogés en France (monolingues du français, bilingues du français et d'une autre langue transcrite de gauche à droite et bilingues français-arabe ne maîtrisant pas l'arabe écrit), l'orientation de gauche à droite persistait quelle que soit la modalité de présentation. De plus, pour deux groupes d'enfants interrogés au Maroc et qui pratiquaient le système d'écriture arabe (français bilingues français-arabe maîtrisant l'arabe écrit, marocains bilingues arabe-français), l'orientation des images correspondait à la présentation faite par l'expérimentateur. Enfin, les

enfants marocains monolingues non scolarisés présentaient un biais de droite à gauche quelle que soit la modalité de présentation. De même, un effet SNARC inversé a été observé chez des enfants bi-lettrés de 8 à 12 ans de langue maternelle arabe et dont la deuxième langue (anglais) a une influence contraire (Zebian, 2005). Ce dernier point suggère que la pratique prolongée de la seconde langue est nécessaire pour réduire le biais induit par la langue maternelle.

En résumé, les contraintes culturelles constituent, au même titre que les contraintes biologiques, des facteurs distaux des tendances directionnelles qui les affectent de manière stable dans le temps et consistante dans une variété de domaines cognitifs. La section suivante présente l'implication de facteurs contextuels qui peuvent moduler à court terme l'effet des facteurs distaux.

1.3. LES FACTEURS CONTEXTUELS

Les facteurs contextuels concernent principalement les demandes des tâches et les caractéristiques des stimuli à traiter. Ils constituent des facteurs proximaux des tendances directionnelles.

Dans la section précédente, nous avons présenté des recherches qui permettaient d'induire un effet proximal de la direction de l'écriture sur les tendances directionnelles (e.g., Casasanto & Bottini, 2014). Il en est de même pour des effets liés à la dominance manuelle et notamment celui qui consiste à associer systématiquement l'espace et la valence émotionnelle. Il repose sur l'association de la main dominante à des ressentis et des évaluations plus positives car elle permet d'interagir plus aisément avec le monde physique (Casasanto, 2009). Ainsi, induire un changement momentané dans l'expérience motrice permet de moduler la direction du biais. Casasanto et Chrysikou (2011) ont demandé à des participants droitiers de réaliser une tâche bi-manuelle de rapidité qui consistait à positionner

des dominos de manière symétrique sur un tapis de jeu. La manipulation des dominos était rendue plus difficile pour une des mains par le port d'un gant de ski. Après une dizaine de minutes d'expériences motrices, la valence positive était associée à l'espace latéral de la main laissée libre au cours de la tâche de manipulation et ce, indépendamment de la dominance manuelle.

Les caractéristiques physiques des stimuli peuvent influencer les tendances directionnelles. Dans une tâche de bissection de ligne, des chercheurs ont rapporté une influence des caractéristiques physiques du stimuli en faisant varier la géométrie de la ligne (McCourt & Garlinghouse, 2000; McCourt, Garlinghouse, & Reuter-Lorenz, 2005). La taille du trait variait de 0% à 100% entre les deux extrémités de telle sorte que la ligne avait une forme de triangle allongé dont la pointe était dirigée soit vers la gauche, soit vers la droite. Une présentation tachiscopique de la ligne permettait de prévenir l'effet du balayage visuel. Les résultats montrent que lorsque la pointe est orientée à droite, il existe une déviation à gauche significative tandis que lorsque la pointe est orientée à gauche, il existe cette fois une déviation à droite significative. Les résultats sont interprétés par les auteurs comme un mécanisme attentionnel analogue à un indiçage spatial (Bultitude & Davies, 2006). L'attention des participants serait recrutée par la partie la plus saillante de l'objet, en l'occurrence la partie de plus grande taille. De même, Döbel, Disenburck et Bölte (2007) ont montré que le biais spatial d'agentisme variait en fonction de l'organisation syntaxique de la phrase d'action : l'agent était mentionné soit en premier (e.g., la mère donne une balle à l'enfant) ; soit en dernier (e.g., l'enfant reçoit une balle de sa mère). Les performances d'adultes de langue maternelle allemande ou hébreu, langues pour lesquelles la structure sujet-verbe-objet est dominante, ont été comparées. Elles se différençaient uniquement dans la condition où l'agent était mentionné en premier c'est-à-dire lorsque les informations d'agentisme et de syntaxe étaient congruentes.

La contribution d'un facteur sémantique a également été mise en évidence dans divers domaines. L'amplitude du biais spatial d'agentisme est plus importante pour les verbes dont l'action s'éloigne de l'agent (e.g., pousser) que pour les verbes dont l'action évolue vers l'agent (e.g., tirer) (Chatterjee et al., 1999). Un effet de facteurs sémantiques a également été rapporté dans des tâches de production graphique. Les objets manipulables contrairement aux objets non manipulables sont orientés en fonction de la dominance manuelle, si bien que l'anse d'une tasse est dessinée à droite par des participants droitiers et à gauche par des participants gauchers, (Karev, 1999; Van Sommers, 1984) et ce, quel que soit le sens de transcription de la langue (Kebbe & Vinter, 2013). L'interprétation de ces résultats dans le sens d'une facilitation perceptivo-motrice (Karev, 1999) est corroborée par des études en neuro-imagerie qui suggèrent que la représentation d'objets manipulables comporterait une composante sensori-motrice liée à l'usage de l'objet. Une activation de neurones qui codent les mouvements de saisie (le cortex prémoteur ventral et la région intra-pariétale) a notamment été rapportée dans la perception d'objets manipulables (Martin, 2007). Également, les facteurs sémantiques affectent la directionnalité graphique. Un adulte droitier, qui habituellement trace une ligne de gauche à droite, peut produire suivant une directionnalité inverse dès lors qu'une flèche orientée vers la gauche est positionnée à l'extrémité gauche de cette même ligne (Van Sommers, 1984). L'étude de Vinter (1999) est l'une des rares à avoir investigué la modulation de facteurs biologiques et culturels par des facteurs contextuels chez l'enfant. Dans cette étude, des enfants âgés de 6 à 10 ans avaient à recopier un même modèle à deux reprises, selon deux significations différentes explicitement attribuées. Un des modèles ambigus utilisé par l'auteure est présenté comme figurant une pipe ou une maison et son ombre (Figure 6). Avant 10 ans, la majorité des enfants dessine le modèle d'un seul trait et de droite à gauche, qu'il soit présenté comme étant une pipe ou une maison. A 10 ans, la procédure de tracé est différente selon le contexte sémantique : le modèle de la pipe est

toujours exécuté de façon continue, de gauche à droite tandis que le modèle de la maison est segmenté en deux parties (la maison et son ombre) en commençant par le tracé de la maison (à droite). Pour Vinter (1999), les enfants plus âgés (10 ans), dont la maîtrise des règles graphiques autorise une plus grande flexibilité, seraient plus sensibles à la signification du dessin à reproduire, que ne le seraient les plus jeunes (6-7 ans).

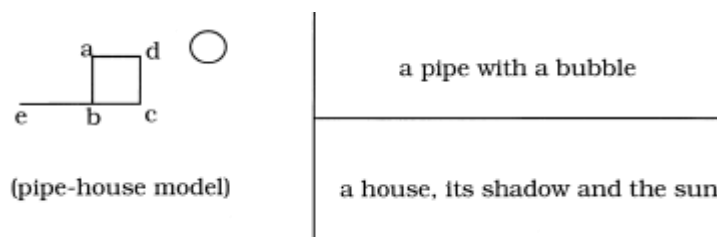


Figure 6 : Illustration d'un modèle ambigu et des significations associées, dans Vinter (1999)

1.4 SYNTHÈSE

L'objectif de ce chapitre était de présenter les principaux facteurs des tendances directionnelles identifiés à travers une variété de tâches et de domaines cognitifs, et d'en comprendre les interactions, à long terme, dans le développement et, à court terme, dans des conditions déterminées.

La revue de la littérature a permis de mettre en évidence les deux points clés suivants :

1) Les activités de lecture et d'écriture occupent une place importante dans notre expérience de l'espace. La direction de l'écriture crée des habitudes de balayage visuo-moteur qui imprègnent de manière prédominante diverses conduites cognitives, de la pensée conceptuelle aux asymétries perceptives, à travers la mobilisation de tendances directionnelles. Cet effet a notamment été mis en évidence dans des tâches qui sont couramment utilisées dans la recherche comme dans la pratique clinique pour élaborer des inférences sur le fonctionnement cérébral et cognitif des personnes.

2) Plusieurs études suggèrent que le poids des facteurs culturels peut être modulé à long terme par des facteurs biologiques et à court terme par des facteurs contextuels (Figure 7). Des processus moteurs sont transverses aux différents facteurs identifiés - qu'ils soient liés à des routines de balayage visuo-moteur, à des principes biomécaniques ou à une facilitation perceptivo contextuelle - et sont fortement impliqués dans la cognition spatiale.

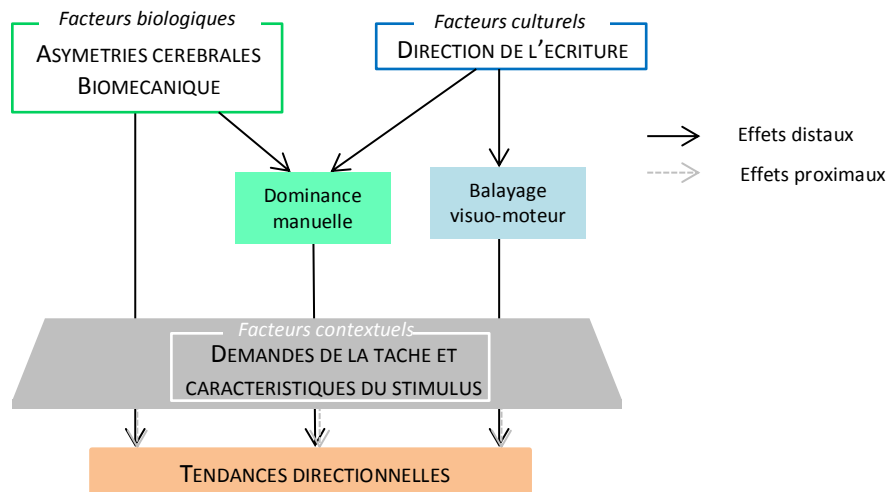


Figure 7 : Représentation schématique des différents facteurs impliqués dans les tendances directionnelles, adaptée de Maass, Suitner et Deconchy (2014)

Chapitre 2. Acquisition initiale de l'écriture

Quelles sont les différences entre écrire et dessiner « un serpent » ? La production de l'écrit représente la forme linguistique qui permet l'accès à une signification. En revanche, la production du dessin est basée sur la recherche de similarité entre les marques produites et le référent. Ces différences dans la fonction référentielle se répercutent au niveau plus élémentaire de la production à travers par exemple l'utilisation de la couleur ou l'organisation spatiale de la trace. Ainsi, l'écriture du mot « serpent » fait apparaître de petites marques, le plus souvent de couleur noire, alignées de manière linéaire et de gauche à droite dans nos systèmes d'écriture. En outre, la trace écrite « serpent » est perceptivement assez similaire de celle produite pour évoquer d'autres objets comme un chapeau par exemple. Le dessin du serpent fait apparaître des lignes plus grandes, une utilisation plus importante de la couleur et notamment de la couleur verte, prototypique de la robe des serpents. Aussi, la trace est organisée de manière non linéaire afin de représenter les ondulations corporelles du serpent. Contrairement à l'écriture, il est peu probable que le dessin du serpent soit confondu avec celui d'un chapeau. En résumé, le dessin et l'écriture peuvent être distingués sur la base de leur structure interne, c'est-à-dire de leur fonction référentielle et communicative et également sur la base de leur structure externe, c'est-à-dire leurs caractéristiques perceptivo-motrices.

Plusieurs recherches mettent en évidence que la différenciation entre le dessin et l'écriture concerne de manière précoce la structure externe de ces deux modes de notation avant que les enfants ne soient capables de les utiliser de manière appropriée et efficace dans leur fonction référentielle et de communication (Landsmann & Karmiloff-Smith, 1992). Dès 3 ans et parfois même avant cet âge, les productions d'écriture se distinguent par des marques plus petites, plus denses et moins colorées que le dessin (Treiman & Yin, 2011). Ces caractéristiques permettent à des adultes de correctement identifier les productions comme

relevant d'un système de notation spécifique. Les connaissances relatives à la structure externe de l'écriture vont même pouvoir soutenir l'acquisition de principes graphotactiques. Par exemple, dès 4 ans les enfants rejettent comme écriture les séries composées de répétitions d'une lettre unique (« P P P P P ») (Landsmann & Karmiloff-Smith, 1992). Dans une étude comparative, l'orthographe d'enfants brésiliens et états-uniens âgés de 3 à 6 ans et qualifiés de pré-alphabétiques reflétait les statistiques de leur langue maternelle (Pollo, Kessler, & Treiman, 2009). Par exemple, les enfants brésiliens utilisaient davantage la lettre « a » que les enfants états-uniens, celle-ci étant plus fréquente dans la langue portugaise que dans la langue anglaise. Des différences plus subtiles dans la fréquence de bigrammes, de l'alternance consonnes-voyelles et de doublets ont également été rapportées. Ce n'est qu'à partir de 5-6 ans que les enfants commencent à reconnaître les contraintes phonologiques inhérentes à la structure interne de l'écriture. Par exemple, dans l'étude de Landsmann et Karmiloff-Smith (1992), seuls les enfants de cet âge étaient capables de rejeter les séries de lettres non prononçables (« PRLCST »). Les enfants semblent être capables d'extraire et de reproduire la structure externe de l'écriture très tôt, bien avant d'être conscients des enjeux représentationnels des différents systèmes de notation (Demont & Gombert, 2004).

Dans ce chapitre, nous présenterons des éléments de l'acquisition de l'écriture dans sa différenciation avec le dessin. L'écriture sera exclusivement considérée selon des caractéristiques perceptivo-motrices. Plus particulièrement, nous chercherons à comprendre le rôle de caractéristiques culturelles dans l'acquisition initiale de l'écriture.

2.1 LES CARACTERISTIQUES UNIVERSELLES ET CULTURELLES DE L'ECRITURE

La structure externe des systèmes d'écriture fait apparaître un certain nombre de caractéristiques classiquement distinguées selon qu'elles représentent des invariants universels ou des spécificités culturelles (Gibson & Levin, 1975). Elles concernent

principalement l'orientation spatiale de la ligne d'écriture, le type d'unité et la directionnalité de l'écriture.

2.1.1 Linéarité et orientation spécifique

Une des caractéristiques de base commune à tous les systèmes d'écriture est l'organisation spatiale des marques selon une séquence ordonnée et non aléatoire. La linéarité de l'écrit permet notamment de représenter la temporalité du langage oral. Le dessin peut également avoir une fonction narrative mais qui peut être représentée de manière statique par une action qui symbolise toute l'histoire (Luquet, 1991). Si la linéarité est une caractéristique universelle des systèmes d'écriture, l'orientation est, elle, spécifique à un groupe de systèmes. Elle peut être soit horizontale comme c'est le cas pour le français ou l'arabe par exemple, soit verticale comme pour le mongol ou le japonais.

2.1.2 Homogénéité de formes et formes particulières de lettres

Les lettres, quel que soit le système d'écriture considéré, partagent un certain degré d'homogénéité de forme. Par exemple, l'alphabet latin comprend les lettres <R> et et l'alphabet arabe les lettres <س> et <ص>. L'homogénéité de forme des lettres répond à un principe d'économie dans la programmation motrice qui facilite l'automatisation de l'écriture (Sirat, 2013). Dans l'alphabet latin notamment, l'homogénéité de forme des lettres repose, d'une part sur les caractéristiques de leurs composantes graphiques qui sont issues d'un répertoire limité de formes (cercles, demi-cercles, lignes et courbes) sur lesquelles l'enfant a déjà pu s'exercer dans les activités de dessin (Primus, 2004) et, d'autre part sur une structure le plus souvent composée d'une barre (hasta) et d'un appendice (coda). La structure hasta-coda (Brekke, 1994, cité par Treiman & Kessler, 2011) distingue principalement deux catégories de lettres selon la position relative de l'hasta et de la coda: 1) les lettres de

séquence hasta-coda pour lesquelles le segment vertical est positionné à gauche de l'appendice et qui sont perçues comme orientées à droite (e.g., « b »); 2) les lettres de séquence coda-hasta pour lesquelles le segment vertical est positionné à droite de l'appendice et qui sont perçues comme orientées à gauche (e.g., « d »). Le tableau 1 présente une catégorisation des lettres capitales et minuscules scriptes d'après les réponses d'un échantillon d'adultes états-uniens (Treiman, Gordon, Boada, Peterson, & Pennington, 2014). L'écriture et le dessin se distinguent dans le niveau de contrainte imposé aux configurations visuo-spatiales des formes. Par exemple, contrairement au dessin, l'identité d'une lettre est entièrement dépendante de son orientation.

Tableau 1 : Catégorisation des lettres minuscules et capitales selon leur orientation gauche versus droite (la proportion de réponse dominante est donnée entre parenthèses) d'après Treiman et al. (2014)

	Orientation	
	Gauche	Droite
Minuscules	<i>a</i> (.85), <i>d</i> (.94), <i>g</i> (1.00), <i>j</i> (.97), <i>q</i> (.88), <i>y</i> (.91), <i>z</i> (.66)	<i>b</i> (.91), <i>c</i> (.94), <i>e</i> (.94), <i>f</i> (1.00), <i>h</i> (.88), <i>k</i> (1.00), <i>n</i> (.58), <i>p</i> (.94), <i>r</i> (1.00), <i>s</i> (.73)
Capitales	<i>J</i> (.97), <i>Z</i> (.55)	<i>B</i> (.94), <i>C</i> (1.00), <i>D</i> (.85), <i>E</i> (.97), <i>F</i> (1.00), <i>G</i> (.91), <i>K</i> (.94), <i>L</i> (.91), <i>P</i> (.97), <i>Q</i> (.52), <i>R</i> (1.00), <i>S</i> (.78)

2.1.3 Uni-directionnalité et direction spécifique de l'écriture

L'écriture présente deux composantes directionnelles : l'une, dite morpho-cinétique, concerne la trajectoire de tracé des formes de lettres ; l'autre, dite, topo-cinétique, est liée à l'agencement des lettres dans l'espace. Dans les langues écrites contemporaines, la composante topo-cinétique est soumise à de fortes contraintes culturelles qui spécifient une direction unique de l'écriture (e.g., de gauche à droite pour les langues latines et de droite à gauche pour les langues sémitiques).

Le niveau de contrainte imposé sur les mouvements morpho-cinétiques est davantage dépendant de contraintes éducatives qui varient en fonction des allographes. Dans l'écriture cursive, la trajectoire de tracé des lettres enseignées aux enfants est alignée sur la composante topo-cinétique afin de faciliter l'enchaînement des lettres. Contrairement à l'écriture cursive, l'enseignement d'un ductus en maternelle pour les lettres capitales n'est pas systématique (BO n°2 du 26 Mars 2015). Il existe une tendance générale à tracer la plupart des lettres capitales latines de gauche à droite et de haut en bas tandis qu'en arabe, la plupart des lettres sont tracées de droite à gauche et de haut en bas (Figure 8). Les conduites d'écriture des lettres sont construites dans la pratique du dessin. Goodnow et Levine (1973), ont mis en

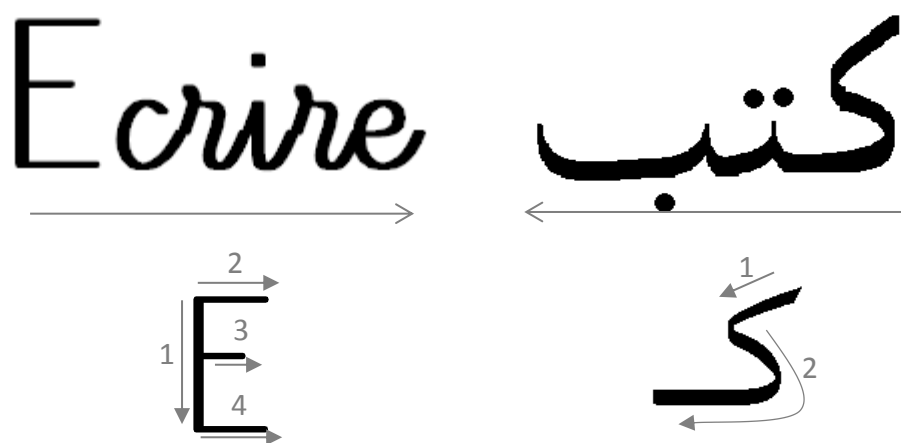


Figure 8 : Composantes directionnelles du français et de l'arabe. En haut, la directionnalité topo-cinétique de l'écriture du mot « écrire » / « kataba », de gauche à droite en français et de droite à gauche en arabe. En bas, la directionnalité morpho-cinétique de la lettre <E> et de la lettre kaf en position initiale.

évidence un certain nombre de règles, appelées « grammaire de l'action », qui régissent la production graphique en copie de figure géométrique. Ainsi, le tracé d'une forme débute par le point le plus haut à gauche avec le tracé d'une ligne verticale ; les lignes verticales sont tracées de haut en bas et les lignes horizontales sont tracées de gauche à droite. L'adhésion à ces règles varie en fonction de changements développementaux dans l'analyse spatiale et les caractéristiques de la forme à reproduire. Nihei (1980) a modélisé un développement en trois

étapes des stratégies de production graphique de formes simples (Figure 9). La stratégie d'ancrage fixe (*fixed anchoring*), observée de manière prédominante jusqu'à l'âge de 5 ans, consiste à tracer tous les traits à partir d'un même point d'ancrage. Ainsi, la directionnalité est dépendante de la position relative des traits et du point d'ancrage. La stratégie d'ancrage fluide (*fluid anchoring*), observée de manière prédominante à 6 ans, consiste à tracer les traits de manière continue en fonction de leur contiguïté. Ainsi, la directionnalité est dépendante de la position relative du trait en cours de traitement et du point d'arrêt du trait précédent. Enfin, pour la dernière stratégie, observée à partir de 7 ans et chez l'adulte, la progression repose sur le respect des principes de la grammaire de l'action. Les traits peuvent être tracés de manière continue ou discontinue et la directionnalité est de gauche à droite pour les traits horizontaux et de haut en bas pour les traits verticaux.

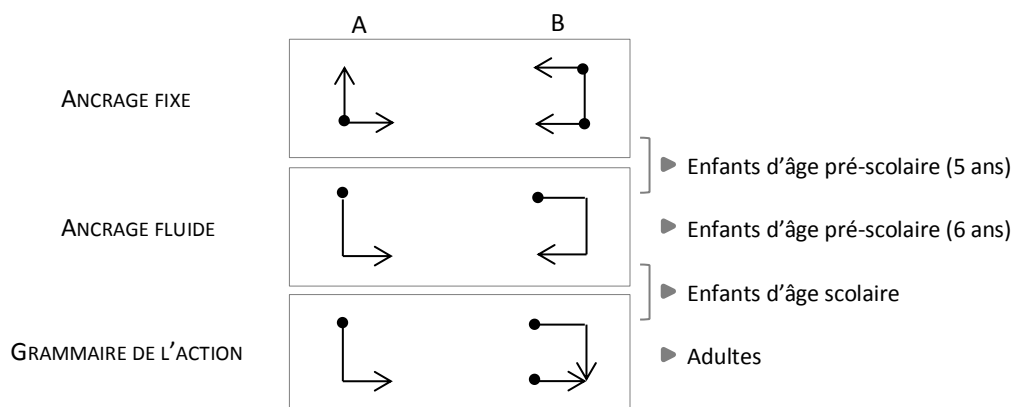


Figure 9 : Changements développementaux des stratégies de production graphique, d'après Nihei (1980)

Selon les caractéristiques de la forme, les productions des enfants âgés de 5-6 ans peuvent « accidentellement » respecter les principes de la grammaire de l'action (Figure 9, forme A) qui ne gouvernent les productions de manière systématique qu'à partir de 7 ans. Une étude chez l'enfant montre que les lettres sont tracées selon les trajectoires prédites par la grammaire de l'action dès l'école maternelle (Simner, 1981). Il est possible que les configurations visuo-spatiales des formes de lettres favorisent une production qui respecte les

principes de la grammaire de l'action, quelle que soit la stratégie utilisée. La directionnalité de l'écriture influence également les règles de production graphique. Cet effet est davantage marqué lorsqu'elle introduit un changement de ces règles comme pour le tracé des cercles déjà évoqué au chapitre 1.2.2.

2.1.4 Acquisition linéaire ou acquisition statistique

Il existe deux hypothèses contradictoires concernant la séquence développementale d'acquisition des caractéristiques perceptivo-motrices de l'écriture.

Selon une **hypothèse d'acquisition linéaire** (Tolchinsky, 2003), les productions d'écriture témoignent de manière précoce des caractéristiques universelles de l'écriture, c'est-à-dire celles partagées par tous les systèmes d'écriture, qui vont ensuite supporter l'acquisition de caractéristiques spécifiques à la langue maternelle. Les preuves empiriques en faveur de cette hypothèse montrent une acquisition asynchrone des invariants universels et des spécificités culturelles. Conformément à cette hypothèse, Tolchinsky-Landsmann et Levin (1985) rapportent une acquisition dès 4 ans des caractéristiques universelles de l'écriture (la linéarité, la présence d'unités distinctes, et l'uni-directionnalité). L'utilisation des aspects conventionnels spécifiques à l'hébreu, c'est-à-dire la directionnalité de droite à gauche et la présence de lettres, apparaît dès 5 ans.

Selon une **hypothèse d'apprentissage statistique** (Pollo et al., 2009; Treiman, Cohen, Mulqueeny, Kessler, & Schechtman, 2007; Treiman, Mulqueeny, & Kessler, 2015), les enfants seraient capables de repérer et d'extraire certaines régularités des exemplaires d'écriture auxquels ils sont exposés. Ainsi, les connaissances précoces sur l'écriture devraient témoigner dès le plus jeune âge des caractéristiques spécifiques à la langue maternelle de l'enfant. Conformément à cette hypothèse, l'ensemble des enfants âgés de 3 ans dont l'écriture est uni-directionnelle adopte une directionnalité conventionnelle (Brenneman,

Massey, Machado, & Gelman, 1996). Dans une autre étude, des enfants âgés de 3 et 5 ans avaient à choisir parmi deux configurations spatiales de pages de livres celle qui ressemblait le plus à l'écriture (Treiman et al., 2015). La configuration horizontale est choisie au-delà du hasard plus souvent que d'autres configurations qu'elles soient présentes ou non dans d'autres cultures (respectivement, les configurations verticale et diagonale) et avec la même proportion quelle que soit la paire présentée. Egalement, l'hypothèse de l'apprentissage statistique dans l'acquisition de la structure externe de l'écriture est corroborée par les productions orthographiques des enfants pré-alphabétiques qui témoignent des spécificités linguistiques de la langue maternelle (Pollo et al., 2009).

2.2 LE CONTROLE DU MOUVEMENT

Un point commun majeur entre l'écriture et le dessin est que leur exécution mobilise un même système effecteur (Chartrel & Vinter, 2004). Les articulations distales du poignet et de la main, responsables des mouvements manuels et digitaux, sont davantage sollicitées par l'exécution de la trajectoire des formes (la morpho-cinétique de l'écriture). Les articulations proximales de l'épaule et du coude, responsables des mouvements du bras et de l'avant-bras, sont sollicitées par les mouvements de grande amplitude (la topo-cinétique de l'écriture). La maturation de ces deux groupes d'articulation progresse lentement selon une loi proximo-distale. En effet, des enfants âgés de 6-7 ans privilégient les mouvements de l'épaule dans une tâche de coordination visuo-motrice simple (déplacer un curseur dans un labyrinthe), que la consigne requière des mouvements précis ou rapides (Chiappedi et al., 2012). L'utilisation de l'articulation de l'épaule pour les mouvements rapides et du poignet pour les mouvements précis est privilégiée par des enfants plus âgés, respectivement à partir de 8-9 ans et 10-11 ans. Par conséquent, les enfants plus jeunes produisaient des mouvements plus lents, moins fluides et moins linéaires.

Deux modes de contrôle du mouvement s'exercent sur le système effecteur grapho-moteur : un mode rétroactif, basé sur des feedbacks sensoriels et kinesthésiques; et un mode proactif, basé sur une représentation interne des paramètres du mouvement (Gentaz, 2009). Les activités graphiques mobilisent conjointement les deux modes de contrôle mais leur poids relatif varie au long du développement, en fonction de l'effecteur sélectionné, de la nature de l'activité et le degré d'automatisation du geste. Dans la section suivante, nous exposerons les caractéristiques du contrôle moteur rétroactif et proactif chez le scripteur expert avant de présenter leur développement chez l'enfant et les implications pour l'acquisition des aspects statiques et dynamiques de l'écrit.

2.2.1 Contrôle rétroactif et feedbacks sensoriels

Un contrôle dit rétroactif fait référence à l'ajustement des mouvements en cours de l'activité graphique sur la base de feedbacks sensoriels (Gentaz, 2009). La vision permet de recueillir des informations sur les caractéristiques spatiales de l'écriture. Ces informations sont plus importantes pour les mouvements de plus large amplitude, i.e., la topo-cinétique de l'écriture, que pour les mouvements de plus faible amplitude, i.e., la morpho-cinétique de l'écriture. L'absence de vision affecte spécifiquement le maintien de l'horizontalité de l'écriture (Smyth & Silvers, 1987). La formation des lettres cursives chez le scripteur expert repose peu sur des informations sensorielles à l'exception du placement du point suscrit ou des barres de « t ». D'autres erreurs (e.g., additions et omissions de traits) ne sont pas plus importantes en l'absence de vision que lorsque les participants effectuent une tâche concurrente de comptage (Smyth & Silvers, 1987). Les lettres capitales qui sont généralement tracées de manière discontinue (avec un nombre important de levers du crayon) sont plus à même d'être affectées par l'absence d'informations visuelles et ce, même chez le scripteur expert (Smyth, 1989). L'implication d'autres informations sensorielles a été investiguée

auprès de patients désafférentés, i.e., qui présentent une perte de la proprioception et de la perception tactile. Les informations proprioceptives et tactiles affectent spécifiquement les aspects dynamiques de l'écriture, notamment la fluidité (Hepp-Reymond, Chakarov, Schulte-Mönting, Huethe, & Kristeva, 2009) qui est considérée comme un indice majeur de son automatisation (Tucha, Tucha, & Lange, 2008). Le manque de feedback proprioceptif ne pénalise pas les aspects statiques de la forme qui seraient essentiellement sous la dépendance de feedbacks visuels (Teasdale et al., 1993). Inversement, l'absence de feedbacks visuels affecte peu les paramètres dynamiques de la production (Marquardt, Gentz, & Mai, 1999). La complémentarité des processus visuels et proprioceptifs dans les activités graphiques a notamment été mise en évidence dans une tâche de dessin en miroir qui introduit une incongruence entre les informations visuelles et proprioceptives (Gullaud-Toussaint & Vinter, 2003). A cette tâche, deux stratégies de résolution du conflit sensoriel ont été observées : la première consiste à privilégier les informations visuelles en inversant la direction des mouvements tandis que la seconde se centre sur les informations proprioceptives et amène à une inversion de la direction perçue visuellement. Un effet bénéfique de la stratégie visuelle a été logiquement rapporté sur l'exactitude de l'orientation spatiale tandis que la stratégie proprioceptive bénéficiait davantage aux paramètres cinématiques du mouvement (fluidité et vitesse). Des recherches ont également suggéré l'utilisation de stratégies compensatoires basées sur la maximisation de feedbacks proprioceptifs en l'absence de vision. La perte ou la distorsion des informations visuelles entraîne une augmentation de la durée de production et de la pression du stylo permettant de maximiser les feedbacks proprioceptifs (Van Den Heuvel, van Galen, Teulings, & van Gemmert, 1998; Van Doorn & Keuss, 1992).

2.2.2 Contrôle proactif et programme moteur

Un contrôle est dit proactif lorsque le mouvement est anticipé et paramétré en amont sur la base d'un programme moteur. Un programme moteur correspond à la représentation en mémoire à long terme d'une séquence ordonnée de mouvements. Cette représentation est a-modale, de telle sorte que la forme produite conserve ses propriétés spatiales et temporelles quel que soit l'effecteur mobilisé : on parle d'équivalence motrice (Figure 10) (Teulings & Schomaker, 1993). La création de programmes moteurs est facilitée dans l'écriture du fait de fortes contraintes culturelles (Chapitre 2.1.3) exercées sur le mouvement des mains et des doigts (Zesiger, Martory, & Mayer, 1997). A l'inverse, le dessin implique des contraintes

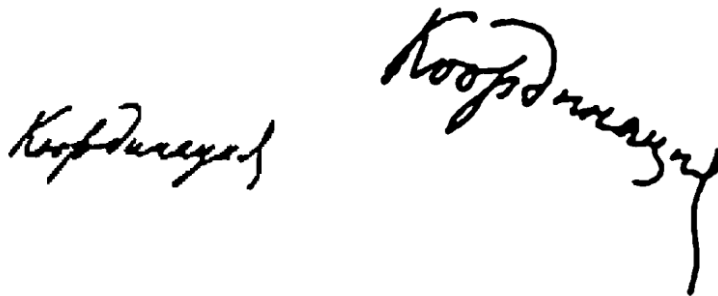


Figure 10 : Ecriture du mot coordination en russe par Bernstein, avec la main droite (à gauche) et en tenant le stylo entre ses dents (à droite), dans Bernstein (1947)

minimales sur ces mêmes mouvements. Le modèle dominant de la production écrite associe l'unité fondamentale du programme moteur au graphème (Van Galen, 1991), de sorte que le contrôle proactif dans l'écriture concernerait davantage la composante morfo-cinétique. Parmi les arguments empiriques qui corroborent cette hypothèse (Teulings, Thomassen, & Van Galen, 1983; Van Mier & Hulstijn, 1993), Meulenbroek et Van Galen (1989) ont mis en évidence dans l'écriture cursive des différences spatiales et cinématiques entre les traits qui composent les lettres et les traits qui relient les lettres entre elles : le tracé de ces derniers était plus large et moins fluide. La programmation motrice pour l'écriture reposerait sur trois étapes (Van Galen & Teulings, 1983). La première correspond à une étape d'anticipation du mouvement qui consiste en la récupération du programme moteur de la lettre en mémoire, c'est-à-dire le nombre de traits, leurs formes et leurs relations spatio-temporelles. La

deuxième étape est le paramétrage des mouvements qui consiste, sur la base du programme moteur récupéré et d'informations sensorielles, à définir la taille des lettres, la précision, la vitesse et l'amplitude de la force musculaire. À cette étape, le mouvement ne peut pas être totalement proactif afin de pouvoir s'ajuster aux contraintes de la tâche en cours. Enfin la dernière étape, d'initiation motrice, concerne la sélection des groupes musculaires effecteurs en fonction de la position actuelle des muscles et de la configuration spatiale.

2.2.3 Développement du contrôle moteur de l'écriture chez l'enfant

Plusieurs résultats suggèrent un basculement d'un mode de contrôle proactif (vers 5 ans) à un mode de contrôle rétroactif (vers 7 ans) avant que les enfants ne puissent coordonner ces deux modes de contrôle de manière efficiente (vers 10 ans) (Palmis, Danna, Velay, & Longcamp, 2017). Dans les premières années de l'acquisition de l'écrit, l'évolution de l'écriture concerne davantage les aspects statiques, notamment la diminution de la taille des lettres (Karlsdottir & Stefansson, 2002). Elle est liée au passage d'un mode de contrôle proactif à un mode de contrôle rétroactif entre 5 et 7 ans. Par exemple, Chartrel et Vinter (2008) ont montré que des contraintes de production impactaient différemment les performances d'enfants d'âges différents selon qu'elles incitaient à la prise d'informations visuelles (contrainte spatiale) ou non (contrainte temporelle). La contrainte temporelle de vitesse résultait en une augmentation de la fluidité du tracé notamment à 5 ans. Un même résultat était obtenu sous la contrainte spatio-temporelle mais uniquement chez les enfants âgés de 6-7 ans. Par contre, elle permettait aux enfants de 5 ans d'améliorer la qualité de la trace (réduction de la taille) en limitant la réduction des feedbacks visuels. Les bénéfices liés à l'utilisation des feedbacks visuels à 5 ans confirment l'utilisation prédominante d'un mode de contrôle proactif à cet âge. Entre 7 et 10 ans, l'évolution de l'écriture va davantage concerner les paramètres dynamiques de la production. Chartrel et Vinter (2006) observent que

l'absence de feedback visuel est en effet plus délétère à 8 ans qu'à 10 ans. L'automatisation de l'écriture rendue possible par la construction de programmes moteurs se reflète sur les paramètres cinématiques par une augmentation de la vitesse et de la fluidité.

Adi-Japha et Freeman (2001) ont investigué les différences cinématiques entre l'écriture et le dessin comme marqueur de la séparation graduelle de ces deux systèmes dans le développement. Les auteurs ont utilisé une tâche qualifiée de « quasi-Stroop » pour comparer la production graphique d'enfants âgés de 4 à 12 ans dans quatre conditions associant de façon systématique deux modalités graphiques (dessin de formes vs. écriture de lettres) et deux contextes de réalisation (image vs. texte). Les enfants ont eu à produire deux formes communes au dessin et à l'écriture (respectivement, ronds vs. « O » ; dents vs. « V ») dans une image et un texte. Les conditions congruentes sont d'écrire en contexte « texte » et de dessiner en contexte « image » et les conditions non-congruentes d'écrire en contexte « image » et de dessiner en contexte « texte ». A 4 ans, la gestion cinématique était identique pour les activités d'écriture et de dessin et insensible au contexte de réalisation. Chez le jeune enfant, l'écriture et le dessin sont gérés par des systèmes indifférenciés. A partir de 6 ans, apparaît un avantage de l'écriture qui se traduit par une optimisation de la production sur toutes les mesures cinématiques (vitesse et fluidité) et notamment lorsque le contexte congruent est activé. A 9 ans, l'avantage pour l'écriture est indépendant du contexte, suggérant une production de l'écriture et du dessin via des systèmes autonomes. Ce pattern développemental conduit les auteurs à conclure que le système de gestion de l'écriture se dissocie de celui du dessin vers six ans, âge de pratique renforcée des activités d'écriture.

2.3 SYNTHÈSE

L'objectif de ce second chapitre était de comprendre le rôle des caractéristiques culturelles des systèmes d'écriture dans l'acquisition initiale de l'écriture, notamment à travers sa différenciation avec le dessin.

La revue de la littérature a permis de mettre en évidence une acquisition longue et progressive de l'écriture en parallèle à sa différenciation avec le dessin. Celle-ci concerne très précocement la structure externe, c'est-à-dire les caractéristiques perceptivo-motrices de l'écriture spécifique à un contexte culturel donné. Les caractéristiques culturelles imposent un fort degré de contrainte sur les mouvements : la linéarité et la directionnalité topo-cinétique guident l'agencement des formes dans l'espace alors que les formes de lettres et la directionnalité morpho-cinétique impactent fortement les mouvements liés à la trajectoire des formes. Les caractéristiques culturelles de l'écriture se développent sensiblement entre 3 et 7 ans, parallèlement à des changements développementaux importants liés à l'analyse spatiale et au contrôle moteur. L'ensemble de ces facteurs concourt à la création d'automatismes moteurs qui émergent, notamment au niveau morpho-cinétique, aux alentours de 6 ans et se manifestent aux alentours de 9-10 ans par un avantage cinématique systématique de l'écriture sur le dessin.

Chapitre 3.

Contribution de la motricité à l'écriture et à la reconnaissance des formes de l'écrit

Apprendre les lettres, unités de base des systèmes d'écriture alphabétiques, est une étape décisive de l'acquisition initiale de l'écrit ainsi qu'un bon prédicteur des compétences ultérieures en lecture chez l'enfant pré-lecteur (Foulin, 2005). La lettre est d'ailleurs considérée dans les modèles théoriques dominants comme l'unité perceptive à la base de la reconnaissance visuelle des mots (Adams, 1990; Coltheart, Rastle, Perry, Langdon, & Ziegler, 2001; McClelland & Rumelhart, 1981). Cette idée est renforcée par le fait qu'une altération du traitement des lettres isolées serait à l'origine du déficit de lecture dans l'alexie pure (Bartolomeo, Bachoud-Lévi, Chokron, & Degos, 2002).

D'un point de vue développemental, l'enfant acquiert des connaissances relatives à la forme des lettres – leur identité graphique – bien avant d'accéder au principe alphabétique, qui définit leur fonction de représentation du langage oral (Chapitre 2). Une des spécificités de la forme des lettres (et des chiffres), contrairement aux autres objets graphiques, est qu'elle est entièrement dépendante de leur orientation dans l'espace. Ainsi, la production et la reconnaissance des caractères sont sensibles aux asymétries latérales dont la gestion par le jeune enfant entraîne de manière transitoire dans le développement typique des erreurs d'écriture en miroir (Fischer, 2011). Les processus moteurs étant largement impliqués dans le traitement des asymétries spatiales (Chapitre 1), l'objectif de ce troisième chapitre est d'analyser le rôle spécifique de la motricité de l'écriture dans la production d'écritures en miroir et la reconnaissance de lettres.

3.1 LE CAS DES ECRITURES EN MIROIR

Des recherches en psychologie et en neurosciences ont été consacrées à l'étude de l'écriture en miroir comme « anomalie révélatrice » de la gestion directionnelle des images latérales (Dehaene, 2007). Le terme d'écriture en miroir a été introduit par Buschwald (1978, cité par Schott, 2007) pour définir une variété d'écriture pour laquelle l'ordre des lettres ainsi que leur orientation sont inversées. Cette définition correspond à une forme absolue d'écriture en miroir dont les manifestations restent très hétérogènes selon la population considérée et ses conditions d'apparition, i.e., qu'elle soit délibérée, induite ou spontanée (Schott, 2007). En tant que phénomène spontané, elle apparaît le plus souvent sous une forme partielle (Figure 11), i.e., avec l'inversion occasionnelle de l'orientation des lettres, et de façon transitoire dans le développement typique entre 3 et 7 ans (Cornell, 1985). Elle est décrite également chez des patients atteints de lésions des régions périphériques et profondes de l'hémisphère gauche (e.g., Chia & Kinsbourne, 1987; Tashiro, Matsumoto, Hamada, & Moriwaka, 1987; Wang, 1992).

Les écritures en miroir ont fait l'objet de nombreuses recherches dans leur aspect symptomatique. En outre, les premières propositions théoriques ont cherché à apporter une explication unique aux différentes manifestations d'écritures en miroir en s'appuyant essentiellement sur des cas pathologiques.



Figure 11 : Exemple d'écriture en miroir partielle (à gauche) et absolue (à droite) de l'écriture du prénom chez l'enfant

Les théories unitaires et leurs prédictions seront présentées et confrontées aux données empiriques récentes, principalement obtenues chez l'enfant au cours de l'acquisition initiale et typique de l'écrit. A cet égard, nous retiendrons particulièrement l'apport des travaux de Fischer et de son équipe (Fischer, 2017a, 2011, 2013, 2017; Fischer & Koch, 2016b; Fischer & Tazouti, 2012) qui ont apporté des éléments de réponse à la question de la nature de la représentation des formes de l'écrit, problématique théorique majeure.

3.1.1 Les théories unitaires et leurs prédictions

Parmi les différentes théories invoquées pour rendre compte des phénomènes d'écritures en miroir, deux hypothèses considèrent de manière privilégiée des processus perceptifs sous-jacents en référence à la spécialisation fonctionnelle de l'hémisphère gauche pour le langage. L'hypothèse des **engrammes miroirs** (Orton, 1925) défend l'existence d'une double représentation graphémique au niveau cérébral. La forme conventionnelle des lettres serait localisée dans l'hémisphère gauche, dominant pour le langage, et la forme symétrique, en miroir, dans l'hémisphère droit, non dominant pour le langage. Ainsi, les écritures en miroir témoigneraient d'une difficulté à accéder aux informations contenues dans l'hémisphère gauche. L'hypothèse de la **désorientation spatiale** considère l'écriture en miroir comme une manifestation d'un déficit plus général lié à l'orientation de l'attention visuo-spatiale (Heilman, Howell, Valenstein, & Rothi, 1980). Cette hypothèse est fondée sur un postulat selon lequel les hémisphères cérébraux orientent l'attention visuo-spatiale selon des vecteurs opposés : de gauche à droite pour l'hémisphère gauche et de droite à gauche pour l'hémisphère droit (Kinsbourne, 1970a, 1970b, 1987). Ainsi, plus l'activation hémisphérique est asymétrique, plus l'orientation de l'attention serait biaisée selon un vecteur spécifique. L'asymétrie de l'activation cérébrale permettrait de supporter la distinction entre les espaces latéraux gauche et droit en créant un point de référence interne. De surcroît, l'hypothèse

suggère que l'orientation de l'attention visuo-spatiale favorise une écriture d'autant plus conforme qu'elle correspond à la direction de l'écriture canonique. Les hypothèses des engrammes miroirs et de la désorientation spatiale, qui reposent respectivement sur des représentations en mémoire ou sur des processus visuels directs, aboutissent à des prédictions communes. Notamment, une prévalence plus importante d'écriture en miroir devrait être retrouvée chez des populations qui présentent une faible latéralisation des fonctions du langage comme les enfants et les gauchers ou également chez des patients qui présentent une lésion de l'hémisphère gauche.

Pour expliquer le phénomène d'écriture en miroir, une autre série d'hypothèses se focalise sur des processus moteurs. Selon l'hypothèse **biomécanique**, les mouvements abducteurs sont plus précis, plus rapides et plus fluides que les mouvements adducteurs (Brown et al., 1948). Ainsi, il y aurait une facilitation motrice à l'écriture en miroir chez les gauchers comparativement aux droitiers, et ce quel que soit l'âge. L'écriture en miroir devrait donner lieu à des différences à la fois quantitatives (en termes de prévalence) et également qualitatives (en termes de directionnalité spécifique et de cinématique). Selon l'hypothèse de l'**apraxie directionnelle**, les écritures en miroir témoigneraient de l'absence, chez l'enfant, ou de la perte, chez des patients cérébro-lésés, des informations directionnelles contenues dans les programmes moteurs de l'écriture (Cubelli & Della Sala, 2009; Della Sala & Cubelli, 2007). Avant l'acquisition d'une directionnalité spécifique à un système d'écriture donné, les enfants exécuteraient indifféremment l'écriture de gauche à droite ou de droite à gauche. Cette flexibilité leur permettrait par la suite de s'ajuster à un système d'écriture spécifique en supprimant la directionnalité non désirée. Ainsi, l'écriture en miroir chez l'enfant pré-lettré ne serait pas déterminée par des facteurs liés à la dominance manuelle et s'observerait avec la même probabilité que l'écriture conventionnelle sur l'ensemble des caractères. Chez les

adultes qui présentent une lésion cérébrale à gauche, la directionnalité reposerait essentiellement sur des facteurs biomécaniques de la main utilisée.

Les différentes théories exposées précédemment aboutissent à des prédictions qui concernent davantage des facteurs endogènes, liés à des caractéristiques individuelles, que des facteurs exogènes, liés à la nature du stimulus et aux demandes de la tâche.

3.1.2 Les facteurs endogènes et les facteurs exogènes

La section suivante présente une revue de résultats empiriques récents sur le poids de facteurs endogènes, i.e., dominance manuelle et performances académiques, et de facteurs exogènes, i.e., type de tâche, orientation des caractères et direction de l'écriture, dans l'écriture en miroir chez l'enfant pré-lettré. La force prédictive des différentes hypothèses explicatives sera discutée.

- La dominance manuelle

La dominance manuelle peut être considérée soit comme un corrélat anatomique du degré d'asymétrie cérébrale, soit comme la mobilisation d'un effecteur moteur spécifique.

Dans le premier cas, les études comparent des droitiers et des gauchers afin de tester les hypothèses reposant sur la spécialisation fonctionnelle de l'hémisphère gauche pour le langage. Conformément aux premières observations menées entre la fin du 19^{ème} siècle et le début du 20^{ème} siècle, les écritures en miroir ont été longtemps considérées comme un épiphénomène de la gaucherie (e.g., Blom, 1928; Ireland, 1881). Ainsi, par exemple, les écritures en miroir observées dans le cadre de lésions ou d'affections cérébrales étaient produites avec la main gauche non dominante (e.g., Critchley, 1927; Tashiro et al., 1987). Cependant, les preuves empiriques récentes chez l'enfant pré-lettré ne rapportent aucune différence entre les profils de latéralité concernant la prévalence des manifestations

spontanées d'écriture en miroir de lettres ou de chiffres (e. g., Cubelli & Della Sala, 2009; Della Sala & Cubelli, 2007; Fischer, 2013; Fischer & Koch, 2016a; Simner, 1984). Par ailleurs, les résultats obtenus chez l'adulte divergent quant à l'implication de la dominance manuelle sur les paramètres cinématiques de la production d'écriture en miroir. Alors que certaines études rapportent un avantage des gauchers sur des paramètres cinématiques de vitesse et de fluidité (Tankle & Heilman, 1983; Tucha, Aschenbrenner, & Lange, 2000), d'autres ne font apparaître aucune différence entre profils de latéralité (Vaid & Stiles-Davis, 1989). De plus, les droitiers et les gauchers semblent présenter des performances similaires dans la lecture de texte en miroir (Bradshaw & Bradshaw, 1988; Bradshaw, Nettleton, Wilson, & Burden, 1985). L'absence de différence systématique entre profils de latéralité, notamment sur la prévalence des écritures en miroir, va à l'encontre des prédictions issues des hypothèses des engrammes miroirs et de la désorientation spatiale.

Pour ce qui est de la mobilisation d'un effecteur moteur spécifique, seule l'étude de Wang (1992) à notre connaissance a investigué spécifiquement l'effet de facteurs biomécaniques en manipulant la main utilisée. Dans cette étude, une prévalence plus importante d'écritures en miroir avec la main gauche comparativement à la main droite a été rapportée chez l'enfant. Ce résultat corrobore les prédictions de l'hypothèse biomécanique sur des différences quantitatives entre la main gauche et la main droite. En ce qui concerne l'aspect qualitatif des productions, Simner (1984) a effectivement observé une adhésion aux principes biomécaniques chez l'enfant, i.e., les droitiers produisaient davantage de traits de gauche à droite comparativement aux gauchers. Les différences qualitatives entre profils de latéralité n'étaient cependant pas liées à des différences de prévalence des écritures en miroir. Chez l'adulte, aucune différence entre la main droite et la main gauche n'apparaissait au regard de paramètres cinématiques : la main dominante était toujours associée à de meilleures performances comparativement à la main non dominante quel que soit le type d'écriture

(Yang, 1997). Ces quelques résultats ne permettent pas de conclure sur la validité de l'hypothèse biomécanique d'autant plus que le facteur de la main utilisée a été rarement étudié de manière isolée.

- Les performances académiques

Les écritures en miroir chez l'enfant ont longtemps été considérées comme symptomatiques de difficultés d'apprentissage (Orton, 1925). Plusieurs études corrélationnelles récentes ont été menées afin d'examiner l'existence d'un lien entre les performances académiques et les écritures en miroir de lettres et de chiffres chez l'enfant pré-lettré (Fischer & Tazouti, 2012; Johansson, 2005; Simner, 1982). Dans l'étude de Simner (1982), seules les erreurs d'écriture de type addition/omission chez l'enfant pré-lettré étaient négativement corrélées aux les performances académiques telles qu'évaluées par l'enseignant dans une variété de domaines (lecture, phonétique, langage et mathématiques) à la fin de l'école maternelle et au cours de la première année d'école élémentaire. Fischer et Tazouti (2012) ont rapporté 21% de productions en miroir qui étaient positivement corrélées avec le niveau académique, contrairement à d'autres erreurs d'écriture (principalement des omissions). Le niveau académique des enfants était évalué à partir de tâche perceptives et motrices générales (e.g., discrimination visuelle et auditive), des tâches mobilisant leur connaissance des lettres (e.g., correspondance lettre-son) et des tâches mobilisant leur connaissance du nombre (e.g., comptage). Johansson (2005) a évalué spécifiquement l'existence d'un lien entre la production d'écriture en miroir de chiffres et des tâches d'addition arithmétique et de compréhension du principe cardinal. Une corrélation positive a été observée pour les enfants les plus jeunes (tranche d'âge = 4.8 – 5.4). À l'inverse, pour les deux groupes d'enfants plus âgés (tranche d'âge = 5.5 – 6.8), aucune corrélation significative n'était obtenue. Enfin, dans une dernière étude (Johansson, 2005), l'écriture en miroir des

chiffres à 6 ans était positivement corrélée à des stratégies élaborées d'addition (e.g., le surcomptage) et ce, dans la même mesure que l'écriture conventionnelle. En outre, la stratégie de surcomptage était négativement corrélée aux écritures illisibles, omissions et concaténations.

En tant que phénomène transitoire et antérieur à l'apprentissage systématisé de l'écrit, l'écriture en miroir ne semble pas liée à un déficit particulier de perception, de motricité ou d'apprentissage tel que postulé par plusieurs théories (Della Sala & Cubelli, 2007; Heilman et al., 1980; Orton, 1925). Au contraire, sa manifestation apparaît universelle au regard des prévalences rapportées dans une fenêtre développementale qui correspond aux premières étapes d'acquisition de l'écrit. En revanche, la persistance des erreurs en miroir en production et en perception au-delà de 7 ans pourrait être associée à des troubles de la lecture tels que la dyslexie (Lachmann & van Leeuwen, 2007; Terepocki, Kruk, & Willows, 2002; Wolff & Melngailis, 1996).

- Les difficultés d'apprentissage

Les erreurs en miroir ont été observées au cours de tâches d'écriture en copie et sous dictée. Les performances à ces deux types de tâches sont sous-tendues par des processus cognitifs différents. La copie repose sur une analyse visuo-spatiale de la forme tandis que l'écriture sous dictée mobilise une représentation préalable de la lettre en mémoire (Fischer & Tazouti, 2012). Une prévalence plus importante d'écritures en miroir a été observée pour la tâche d'écriture sous dictée comparativement à la copie, respectivement 21% contre un pourcentage inférieur à 1 chez des enfants âgés de 5-6 ans dans l'étude de Fischer et Tazouti (2012). Dans une étude longitudinale, la moitié des enfants âgés de 4.65 ans en moyenne (T1) produisait 3% d'écritures en miroir à la copie. Un an plus tard (T2), ils étaient 93% à produire environ 25% d'écritures en miroir sous la dictée (Fischer & Koch, 2016b). Par ailleurs, il

n'existait pas de lien entre les écritures en miroir à la copie au T1 et les écritures en miroir qui apparaissaient sous la dictée au T2. Par exemple, près de 47% des enfants qui n'ont pas copié le chiffre 3 en miroir au T1, l'écrivaient en miroir sous dictée à chacune de ses occurrences au T2. Ainsi, les écritures en miroir produites sous dictée ne sont pas une conséquence d'écritures en miroir à la copie, apparues plus tôt dans le développement (Fischer & Tazouti, 2012). Ces résultats suggèrent que l'écriture en miroir n'est pas fondamentalement un problème de perception mais de représentation. De même, l'écriture en l'absence de vision n'entraînait pas de modification des performances chez une patiente présentant une lésion cérébrale de l'hémisphère gauche (Rodríguez, Aguilar, & González, 1989). Contrairement à l'hypothèse de la désorientation spatiale, l'écriture en miroir ne repose pas sur des processus visuels directs.

- L'orientation des caractères

Les erreurs d'écriture en miroir commises par les enfants pré-lettrés ne sont pas distribuées de manière équilibrée sur l'ensemble des caractères alphanumériques (lettres et chiffres) mais portent davantage sur les caractères asymétriques de type « d » (Figure 12) , qui

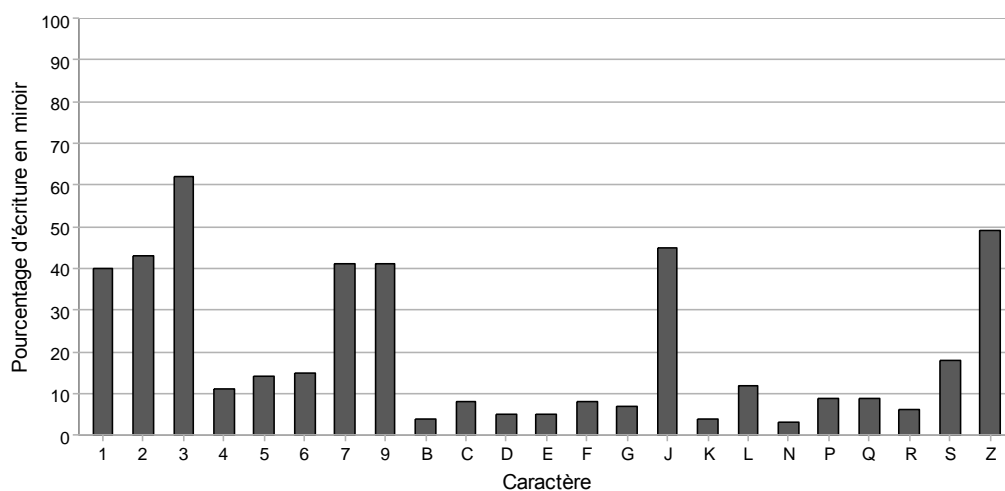


Figure 12 : Fréquences des écritures en miroir sur les chiffres et les lettres capitales asymétriques sous la dictée par 356 enfants âgés entre 5 et 6 ans et demi, d'après Fischer (2011)

sont jugés par des adultes comme étant orientées à gauche (Fischer, 2017b; Treiman et al., 2014). Dans une méta-analyse de Treiman et Kessler (2011) sur quatre études conduites entre 1970 et 2008 chez l'enfant de 3 à 7 ans, une prévalence des erreurs en miroir pour les lettres orientées à gauche apparaissait en contrôlant certaines caractéristiques objectives des lettres telles que le nombre de segments, la fréquence objective et la correspondance de l'orientation en fonction de la typographie. L'effet de l'orientation des caractères était significatif à partir de 4-5 ans, suggérant qu'un certain degré d'expérience de l'écrit serait requis avant que les enfants ne montrent de meilleures performances pour les lettres de type «b».

- La direction de l'écriture

Les écritures en miroir peuvent être implicitement provoquées chez les enfants exposés à un système d'écriture de gauche à droite en introduisant une contrainte spatiale qui les incite à écrire dans la direction opposée (Cornell, 1985). Fischer et Tazouti (2012) ont demandé à des enfants pré-lettrés d'écrire sous la dictée leur prénom ainsi que des séries composées de lettres et de chiffres selon un paradigme initialement développé par Cornell (1985). Dans la première condition, les enfants devaient débiter l'écriture à partir d'un point situé à 1cm à droite d'une ligne verticale séparant la feuille de papier en deux. Dans la deuxième condition, le point de départ était fixé à gauche de la ligne verticale. La contrainte spatiale imposée dans les deux conditions induisait des directionnalités topo-cinétiques opposées : de gauche à droite dans la première condition et de droite à gauche dans la deuxième condition. Les résultats montraient une proportion plus importante d'écriture en miroir du prénom et des caractères individuels lorsqu'il était demandé aux enfants d'écrire de droite à gauche. Dans une étude récente, Fischer (2017a) a rapporté un effet de la direction de l'écriture sur la nature des écritures en miroir. Lorsque la contrainte spatiale (écrire à droite) incitait à une directionnalité de gauche à droite, les écritures en miroir portaient davantage sur

les caractères orientés à gauche. Lorsque la contrainte spatiale (écrire à gauche) incitait à une directionnalité de droite à gauche, les écritures en miroir portaient davantage sur les caractères orientés à droite. Les écritures en miroir spontanées observées principalement sur les caractères orientés à gauche ne constituent pas une caractéristique universelle des écritures en miroir mais plutôt un phénomène influencé culturellement par la direction de l'écriture.

L'analyse des différents facteurs de l'écriture en miroir dans l'acquisition initiale et typique de l'écrit fait apparaître une prédominance des facteurs exogènes qui ne peut être expliquée par les théories unitaires développées en début de chapitre. Fischer et son équipe (Fischer, 2017a, 2011, 2013; Fischer & Koch, 2016b; Fischer & Tazouti, 2012) ont proposé une théorie explicative qui intègre l'état actuel des connaissances dans le domaine.

3.1.3 Les théories actuelles

Des recherches en psychologie et en neurosciences ont été consacrées à l'étude de l'écriture en miroir comme « anomalie révélatrice » de la gestion directionnelle des images latérales (Dehaene, 2007).

- Le postulat de base

Le recyclage neuronal constitue une hypothèse théorique explicative du développement de la représentation cérébrale des formes de l'écrit qui rend bien compte à la fois des données cliniques et comportementales (Cohen et al., 2000, 2003) ainsi que des avancées récentes en neuro-imagerie (Pegado, Nakamura, Cohen, & Dehaene, 2011). Selon cette hypothèse, il existerait deux étapes successives dans l'apprentissage des formes de l'écrit. Dans une première étape, les enfants connaîtraient les composantes graphiques qui constituent la forme de la lettre mais pas son orientation, du fait de la généralisation perceptive des images en miroir (Corballis & Beale, 1976). Cette propriété intrinsèque de

certaines sous-parties du système visuel est adaptative dans le traitement des objets du monde naturel où les côtés gauche et droit représentent deux aspects d'un même objet (Dehaene, 2007). Cependant, cette contrainte s'avère délétère dans le traitement des formes de l'écrit dont l'identité est dépendante de l'orientation et particulièrement pour des formes de lettres réversibles dont l'orientation est la seule caractéristique discriminante (e.g., b et d). Dans une seconde étape, le traitement de l'orientation horizontale serait acquis au niveau ontologique par recyclage neuronal (Cohen & Dehaene, 2004; Dehaene et al., 2010) d'une sous-partie du système ventral visuel gauche connue sous le nom de « aire de la forme visuelle des mots » (VWFA, Visual Word Form Area) qui se spécialiserait progressivement de la reconnaissance d'objets et de visages à celle des lettres. La spécialisation de la VWFA dans la reconnaissance visuelle de mots est étayée par des données empiriques en faveur de la reproductibilité de la localisation, de sa spécialisation fonctionnelle et de sa sélectivité (Cohen & Dehaene, 2004). La VWFA semble constituer un corrélat anatomique de l'alexie pure, trouble neurologique caractérisé au niveau comportemental par un déficit d'identification des lettres (spécialisation fonctionnelle). Une activation sélective de la VWFA dans le traitement de mots comparativement à des images (sélectivité) a été également observée chez des adultes lecteurs de différents systèmes d'écriture (reproductibilité) (Dehaene et al., 2010).

Ainsi, il existerait une étape au long de l'apprentissage de l'écrit où les enfants disposent de connaissances explicites sur la forme des lettres (i.e., les traits constitutifs) mais pas sur leur orientation. En ce sens, le recyclage neuronal rend bien compte du caractère transitoire et universel des erreurs en miroir qui surviennent dans l'acquisition initiale de l'écrit. Cette proposition théorique ne permet pourtant pas seule d'expliquer la prévalence des écritures en miroir selon l'orientation des caractères et l'implication de la direction de l'écriture.

- Un apprentissage implicite

Au cours de la période de généralisation en miroir des formes de lettres, la production de l'orientation des lettres reposerait sur des connaissances implicites des caractéristiques culturelles du système d'écriture. En effet, dans nos sociétés lettrées, les enfants sont très tôt et de manière intensive exposés à l'écrit ce qui les rend capables de repérer et d'extraire certains principes généraux (Saffran, 2003) sous la forme de connaissances implicites. L'hypothèse d'un apprentissage statistique a d'abord été évoquée par Treiman et Kessler (2011). Selon ces auteurs, les enfants construiraient une représentation prototypique des formes de lettres comme étant composées d'une structure barre-appendice avec une prévalence pour les lettres de séquence barre-appendice de type « b », considérées comme orientées à droite (Treiman et al., 2014; Treiman & Kessler, 2011). Pour Fischer et son équipe (Fischer, 2017a, 2011, 2013; Fischer & Koch, 2016b; Fischer & Tazouti, 2012), les connaissances implicites utilisées par les enfants ne sont pas liées à la seule prévalence d'une orientation pour les lettres mais à la prévalence d'une congruence entre l'orientation des lettres et la direction de l'écriture. Ce principe statistique serait appliqué dès lors que l'orientation, soit la position relative de la barre et de l'appendice, n'est pas disponible en mémoire. Conformément à cette hypothèse, les résultats d'une étude récente montrent qu'une écriture de gauche à droite entraîne des erreurs en miroir plus fréquentes pour les caractères orientés à gauche et à l'inverse, une écriture de droite à gauche génère des erreurs en miroir plus fréquentes pour les caractères orientés à droite (Fischer, 2017a). Ainsi la règle implicite d'orientation/écriture vers la droite ne constitue qu'un cas particulier d'une règle universelle d'orientation des caractères dans la direction du système d'écriture.

3.2 Les interactions perceptivo-motrices dans l'écrit

L'idée selon laquelle la motricité n'a pas un simple rôle effecteur mais participe activement à la construction de connaissances a été réactualisée par le courant de la cognition

incarnée (Shapiro, 2010). Dans cette perspective, non seulement la motricité influence notre expérience perceptive, de manière externe, en guidant l'exploration (e.g., Wydoodt, Gentaz, & Streri, 2006) mais également, de manière interne, à travers la création d'interactions neuronales. Ces interactions ont fait l'objet de nombreuses recherches dans le domaine de la perception d'objets qui présentent de fortes associations motrices. Par exemple, la perception d'objets manipulables, tels que des outils, par des participants droitiers, active automatiquement le cortex ventral pré-moteur gauche et le cortex postérieur pariétal gauche, associés respectivement aux mouvements manuels et de saisie (Chao & Martin, 2000). Au niveau comportemental, une facilitation de la réponse est observée lorsque l'orientation de l'objet et la main utilisée pour répondre potentialisent l'action de préhension, bien que ces deux informations ne soient pas pertinentes pour la tâche en cours (Tucker & Ellis, 1998).

Des interactions perceptivo-motrices ont également été observées pour des objets qui ne sont pas manipulables mais dont on peut faire une expérience motrice. Par exemple, Viviani et Stucchi (1989) ont rapporté une illusion visuelle créée à partir de la cinématique des mouvements elliptiques. Ces derniers obéissent à une loi dite de puissance deux-tiers selon laquelle la vitesse angulaire est proportionnelle à la puissance deux-tiers de la courbure. Dans cette étude, des participants avaient à juger la géométrie d'une forme tracée sur un écran par un point lumineux. Dans une condition, une ellipse était tracée selon des paramètres cinématiques qui correspondaient à la loi de puissance deux-tiers, c'est-à-dire avec une accélération en deux points opposés de la trajectoire. Dans la deuxième condition, les paramètres cinématiques étaient maintenus constants par rapport à la première condition tandis que la trajectoire de tracé était modifiée pour former un cercle. Dans les deux conditions, les participants percevaient une ellipse. Inversement, lorsqu'une trajectoire elliptique était tracée à vitesse constante, les participants percevaient un cercle.

L'écriture, au même titre que les objets décrits précédemment, suppose des habiletés perceptivo-motrices. Elle associe l'expérience motrice de la trajectoire des lettres et l'expérience perceptive de leur forme. L'influence de la motricité de l'écriture dans le traitement perceptif des lettres est démontrée par divers travaux de neuro-imagerie, de neuropsychologie et des études comportementales qui seront présentés dans la section suivante.

3.2.1 Les bases neurales

Les études en neuro-imagerie montrent que des régions motrices sont impliquées dans le traitement visuel de lettres connues (James & Gauthier, 2006; Longcamp, Anton, Roth, & Velay, 2003). Par exemple, la perception de lettres latines connues des participants active le cortex ventral prémoteur controlatéral à la main dominante (Longcamp et al., 2003; Longcamp, Anton, Roth, & Velay, 2005). L'activation des aires motrices dans des tâches perceptives apparaît sélectivement pour les lettres par rapport à d'autres formes graphiques (James & Gauthier, 2009). De plus, l'émergence d'une spécialisation fonctionnelle de la représentation des lettres (Flowers et al., 2004; Garrett et al., 2000; James, James, Jobard, Wong, & Gauthier, 2005) est favorisée par l'apprentissage moteur de leur trajectoire (James & Atwood, 2009). En effet, apprendre à écrire des formes de pseudo-lettres entraîne une activation des régions cérébrales impliquées dans la perception de lettres (gyrus fusiforme gauche et précentral) contrairement à un apprentissage purement visuel de ces mêmes formes (James & Atwood, 2009).

Ainsi, les résultats en neuro-imagerie suggèrent que la représentation cérébrale des lettres n'est pas uniquement visuelle mais basée sur un réseau neuronal complexe et distribué qui intègre une composante sensori-motrice acquise au cours des activités d'écriture (James & Gauthier, 2006). L'accès à l'une des représentations sensorielles permettrait alors de réactiver

l'ensemble du réseau (Pulvermüller, 1999). Cette idée est corroborée par des études qui mettent en évidence une interférence versus une facilitation de la motricité dans la reconnaissance de lettres sous certaines conditions décrites ci-après.

3.2.2 Facilitation/interférence de la motricité dans l'identification de lettres

Une étude de James et Atwood (2009) montre une interférence entre l'écriture de lettres et la perception d'autres lettres comparativement à la perception d'autres formes. Cet effet était d'autant plus important qu'il existait des similitudes entre les mouvements et la forme perçue : par exemple, la reconnaissance d'une lettre composée de traits rectilignes est plus difficile lorsque les mouvements simultanés d'écriture sont rectilignes versus curlignes.

A l'inverse, lorsqu'il y a congruence entre le mouvement et la forme, la motricité peut faciliter la reconnaissance des lettres. Par exemple, les mouvements d'écriture peuvent faire l'objet de stratégies compensatoires efficaces de l'identification de lettres dans le cas de l'alexie pure (Bartolomeo et al., 2002; Seki, Yajima, & Sugishita, 1995). Seki et collaborateurs (1995) ont testé une méthode de facilitation kinesthésique de la lecture d'idéogrammes auprès de deux patients alexiques. Elle consistait à tracer ou à copier le contour des caractères avec le doigt. La lecture était meilleure pour des idéogrammes appris à l'aide de la méthode de facilitation kinesthésique par rapport à d'autres idéogrammes appris selon une méthode qui ne faisait pas intervenir de composante motrice. Ainsi, des connaissances liées à la forme visuelle des lettres peuvent être récupérées en activant le programme moteur correspondant.

Des études chez l'enfant et l'adulte montrent également que les apprentissages de lettres qui mobilisent le tracé de la forme, avec le doigt ou un stylo, facilitent la reconnaissance subséquente des lettres comparativement à des apprentissages uniquement visuels ou tapuscrits (Bara & Gentaz, 2011; Bara, Gentaz, & Colé, 2007; Longcamp et al.,

2008; Longcamp, Boucard, Gilhodes, & Velay, 2006; Longcamp, Zerbato-Poudou, & Velay, 2005). Le bénéfice immédiat de la motricité de l'écriture manuscrite dans la perception de l'écrit ne semble pas être étendu aux processus orthographiques (Kiefer et al., 2015; Ouellette & Tims, 2014; Vaughn, Schumm, & Gordon, 1992; pour des résultats contraires, Cunningham & Stanovich, 1990). Concernant la forme des lettres, Longcamp et al. (2005) ont comparé l'effet de deux modalités d'apprentissage, manuscrite et tapuscrite, de 12 capitales latines chez des enfants âgés de 3 à 5 ans. Après l'apprentissage, la lettre devait être reconnue parmi trois distracteurs : une version en miroir, la forme modifiée de la lettre et la forme modifiée de la lettre en miroir. La reconnaissance nécessitait ainsi de reconnaître la forme de la lettre et son orientation. Les résultats montraient de meilleures performances pour l'apprentissage manuscrit comparativement à l'apprentissage tapuscrit et ce dès 4 ans. Si l'écriture manuscrite et l'écriture tapuscrite font l'une et l'autre appel à la motricité manuelle, elles mobilisent des mouvements tout à fait différents dans l'écriture des lettres. Dans l'écriture manuscrite, la lettre est produite par des mouvements morpho-cinétiques qui créent une correspondance entre le tracé et la forme. Dans l'écriture tapuscrite, la lettre est produite par des mouvements topo-cinétiques qui ne sont pas spécifiques à une lettre donnée. En effet, ceux-ci dépendent de la position des doigts sur le clavier et ne fournissent aucune d'indication sur la forme de la lettre. Les résultats de cette étude suggèrent ainsi que la dynamique de l'écrit aurait un rôle déterminant dans le traitement de l'orientation des formes. Ces résultats ont été répliqués chez l'adulte avec des lettres bengali et gujarati (Longcamp et al., 2008, 2006). Dans l'étude de 2008, les données de neuro-imagerie acquises au cours de la reconnaissance suggèrent une réactivation des connaissances motrices associées aux lettres apprises selon la modalité manuscrite (Longcamp et al., 2008).

3.2.3 Les mécanismes cognitifs sous-jacents

James et son équipe (James & Engelhardt, 2012; Li & James, 2016) ont récemment testé deux hypothèses concernant les mécanismes cognitifs sous-jacents aux interactions neuronales qui sous-tendent le bénéfice de la motricité de l'écriture manuscrite sur la perception de lettres. La première hypothèse concerne le **processus moteur d'écriture**. Selon cette première proposition, l'écriture manuscrite permettrait un couplage direct entre les informations motrices de la trajectoire et les informations visuelles de la forme, lequel serait incarné au niveau cérébral. La deuxième hypothèse concerne le **produit perceptif de l'écriture**. Ici, la motricité jouerait un rôle indirect dans l'acquisition de connaissances sur les lettres en participant à la production d'exemplaires variés d'une même forme. La production de formes non stéréotypées favoriserait l'abstraction des caractéristiques saillantes et invariantes des lettres et participerait à la construction d'une représentation plus large.

Dans l'étude de Li et James (2016), des enfants âgés de 5 ans ont appris la forme de quatre lettres grecques lors d'une seule session d'apprentissage selon six modalités d'apprentissage. La moitié des conditions faisait intervenir une pratique visuo-motrice (copie manuscrite, tracé de formes tapuscrites, tracé de formes manuscrites) et l'autre moitié une pratique auditivo-visuelle (voir et nommer à partir d'une seule police d'écriture, à partir de plusieurs polices d'écriture, à partir de plusieurs exemples manuscrits). Les résultats montrent que la catégorisation est facilitée par l'exposition à des formes variées d'une lettre et ce, indépendamment d'un couplage visuo-moteur direct. Également, James et Engelhardt (2012) ont comparé les activations cérébrales lors d'une tâche de perception de lettres apprises via des tâches de copie ou de tracé sur contours chez des enfants âgés de 4 et 5 ans. Les résultats montraient une activation plus importante et généralisée des régions impliquées dans les processus de lecture et d'écriture après la tâche de copie (i.e., le gyrus frontal inférieur gauche, le gyrus fusiforme et le cortex pariétal postérieur) lors de la perception visuelle de lettres et de formes. Ces différents résultats suggèrent que le bénéfice de la motricité de

l'écriture manuscrite sur la reconnaissance est indirect et lié au produit perceptif qui lui est consécutif.

Néanmoins, il est possible de considérer que la trace manuscrite statique n'est pas uniquement le support d'informations visuelles mais contient également des informations motrices, notamment sur la directionnalité du tracé, qui peuvent être directement extraites (Babcock & Freyd, 1988) et aider à la reconnaissance d'exemplaires variés (Freyd, 1983). Dans l'étude de Freyd (1983), les participants apprenaient dans un premier temps à associer une pseudo-lettre à un chiffre. Chaque pseudo-lettre faisait l'objet d'une présentation visuelle dynamique dont la directionnalité variait en fonction des participants. Par exemple, l'ordre des traits était maintenu constant et seule la directionnalité du dernier trait était manipulée (Figure 13). À

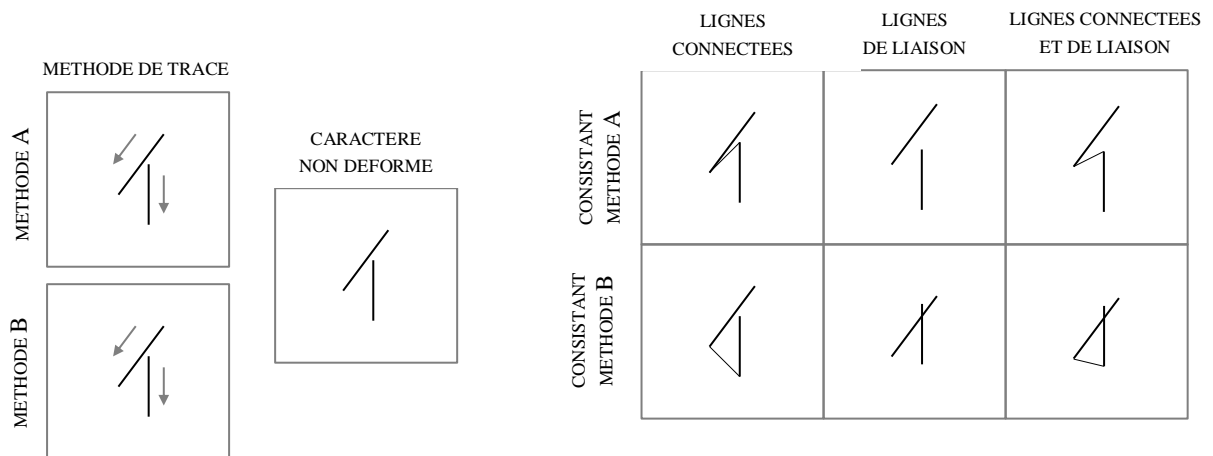


Figure 13 : Les deux directionnalités de tracé, le caractère non déformé et les six déformations possibles du caractère en fonction de la directionnalité, adapté de Freyd (1983)

l'issue de l'apprentissage, les participants effectuaient une tâche de reconnaissance dans laquelle ils devaient associer des versions non déformées et des versions déformées selon une directionnalité spécifique au chiffre correspondant. Les résultats montraient un effet de l'apprentissage implicite de la trajectoire : les temps de réaction étaient plus courts pour les exemplaires dont la déformation était conforme à la directionnalité apprise. Des études ont montré une contribution des aspects dynamiques de l'écriture dans la récupération de la forme

du caractère en mémoire. La présentation des traits précoces en amorce facilite l'identification subséquente d'idéogrammes comparativement aux traits tardifs et ce, uniquement chez des personnes qui en pratiquent l'écriture (Giovanni, 1994). De la même façon, les lettres sont plus rapidement identifiées si elles sont présentées selon une séquence temporelle (ordre des traits) conforme à la séquence habituellement utilisée pour les écrire, par rapport à la modalité non congruente (Parkinson & Khurana, 2007). Selon d'autres résultats, la directionnalité morpho-cinétique du tracé des lettres ne constituerait pas une composante essentielle de la reconnaissance de leur forme à l'instar d'informations motrices ou visuelles sur la segmentation de la forme (Courrieu & de Falco, 1989). Ainsi, l'analyse de la littérature disponible permet difficilement de conclure sur le bénéfice de la directionnalité morpho-cinétique de l'écriture à la reconnaissance des formes de lettres.

3.3 SYNTHÈSE

L'objectif de ce troisième chapitre était d'analyser le rôle spécifique de la motricité de l'écriture dans le cas d'écritures en miroir et dans les tâches de reconnaissance de lettres.

L'analyse de la littérature sur le sujet nous a permis d'identifier les informations principales suivantes :

1) Les productions d'écritures en miroir apparaissent de manière universelle et transitoire chez l'enfant au cours de l'acquisition initiale et typique de l'écrit du fait de l'absence de représentation de l'orientation des lettres. Leur manifestation apparaît culturellement déterminée par la direction topo-cinétique de l'écriture.

2) L'écriture est une activité perceptivo-motrice qui bénéficie à la reconnaissance des lettres par la création d'interactions neuronales. Des connaissances sur la dynamique de l'écriture pourraient être extraites directement dans le processus d'écriture ou indirectement à

partir du produit de l'écriture et seraient automatiquement réactivées lors de la présentation visuelle des lettres.

Projet de thèse

Notre expérience de l'écrit structure nombre de nos conduites, dont la façon dont nous percevons et nous représentons les objets dans l'espace. Plus particulièrement, la direction de l'écriture constitue une contrainte culturelle imposée sur le balayage visuo-moteur et qui s'exprime de manière influente dans une grande variété de domaines cognitifs, au-delà des activités de littératie. Ainsi, des personnes exposées à des langues transcrites dans des directions opposées montrent des patterns de performances inversés lorsqu'il leur est demandé de représenter le cours du temps, de dessiner un visage de profil ou de diviser un objet en deux parties égales.

Quel est l'âge chronologique de l'apparition de l'influence culturelle ? Certains résultats suggèrent une influence culturelle précoce, dès les années préscolaires, qui résulterait d'une exposition étendue et médiatisée à du matériel écrit (Göbel et al., 2018) ou orienté (Patro et al., 2016). D'autres sont en faveur d'un processus long et progressif en suggérant que l'émergence d'une influence culturelle nécessite une pratique directe et intensive de la direction de l'écriture à travers des activités de littératie (Dobel et al., 2007; Kebbe & Vinter, 2013). Il est important de noter que ces résultats divergents ont été obtenus à l'aide de tâches qui impliquent différemment des facteurs proximaux pouvant à court terme moduler l'effet de l'influence culturelle. Parmi eux, des facteurs biologiques et notamment biomécaniques fixent une préférence pour les mouvements abducteurs (Reed & Smith, 1961; Van Sommers, 1984) qui, selon la main utilisée, est congruente ou non congruente avec la direction de l'écriture. Egalement, des facilitations ou interférences peuvent être observées selon que des facteurs contextuels potentialisent ou non le mouvement de l'écriture ou le mouvement biomécanique.

Quel est le poids du facteur culturel dans l'interaction de facteurs proximaux ? Peu de

recherches ont investigué la contribution relative des différents facteurs de directionnalité dans la globalité des interactions.

Les études dans le domaine de l'acquisition de l'écrit montrent que sa structure externe est l'objet d'un apprentissage statistique précoce (Pollo et al., 2009; Treiman et al., 2007, 2015). En effet, les productions d'écriture des enfants reflètent dès 3 ans les caractéristiques culturelles de leur système d'écriture et notamment sa directionnalité spécifique (Brenneman et al., 1996; Gombert & Fayol, 1992).

Quel est l'enjeu de ces premières acquisitions? En premier lieu, elles permettent d'amorcer un processus de différenciation entre les systèmes de notation bien avant que les enfants comprennent leur fonction référentielle et communicative respective (Landsmann & Karmiloff-Smith, 1992) ou que leur production soit pilotée par des systèmes autonomes (Adi-Japha & Freeman, 2001; S. W. Anderson, Damasio, & Damasio, 1990). Ensuite, elles soutiennent les premières connaissances sur les lettres, une composante cruciale de l'acquisition initiale de l'écrit (Foulin, 2005). Alors que les enfants pré-lettrés sont capables de restituer la forme de certaines lettres de mémoire, leurs productions peuvent faire apparaître de manière transitoire des erreurs en miroir qui témoignent de difficulté dans la gestion ou de connaissance de l'orientation des formes de lettres.

Quelle est l'origine du phénomène d'écriture en miroir et quels sont les facteurs qui en déterminent les manifestations ? Le phénomène d'écriture en miroir au cours de l'acquisition initiale et typique de l'écrit a suscité de nombreuses hypothèses. La règle d'écriture/orientation à droite formulée par Fischer (2017a) apparaît comme une proposition théorique convaincante au regard des données comportementales récentes chez l'enfant pré-lettré et celles recueillies en neuro-imagerie sur le phénomène de recyclage neuronal. Selon cette hypothèse, les productions de l'orientation des lettres seraient biaisées dans la direction de l'écriture.

Cet effet peut-il être étendu aux tâches de reconnaissance et de rappel de la forme des lettres ? De nombreux travaux suggèrent que la motricité de l'écriture manuscrite contribuerait, au niveau fonctionnel, à une spécialisation cérébrale du système visuel pour les lettres (James & Gauthier, 2006) et, au niveau comportemental, à la reconnaissance ultérieure des formes de lettres (Longcamp, Zerbato-Poudou, et al., 2005). La contribution spécifique de la directionnalité de l'écrit dans la reconnaissance de lettres a fait l'objet de résultats divergents (Courrieu & de Falco, 1989; Parkinson & Khurana, 2007).

Afin de fournir de nouveaux éléments de réponse aux questions soulevées par l'analyse de la littérature, deux axes de recherches empiriques ont été développés dans le cadre de cette thèse.

Axe 1. Evolution développementale de la directionnalité de l'écrit

Etude 1 : La première étude investiguera le poids de l'influence culturelle sur la directionnalité graphique au long du développement en comparant les performances de tracé chez des enfants âgés de 5 à 9 ans ayant des niveaux différents d'expérience de l'écrit, dans des conditions où des contraintes biomécaniques, syntaxiques et sémantiques varient.

Etude 2 : Une deuxième étude aura pour objectif d'examiner l'évolution développementale spécifique de la directionnalité de l'écrit chez les enfants de 4 à 11 ans à l'aide de tâches d'écriture et de dessin de formes appariées.

Axe 2. Contribution de la directionnalité de l'écrit au traitement des formes de lettres

Les trois études de l'axe 2 seront menées auprès d'enfants pré-lettrés dont l'expérience de l'écrit est limitée à des activités informelles de lecture et d'écriture.

Etudes 3a et 3b: L'objectif sera de mettre à l'épreuve des faits des hypothèses explicatives récentes du phénomène d'écriture en miroir dans l'acquisition initiale et typique de l'écrit. A cette fin, l'étude 3a permettra de comparer les productions en temps réel et appariées d'écritures en miroir et d'écritures conventionnelles. L'étude 3b évaluera quant à elle de manière implicite les connaissances des enfants sur l'orientation des formes de l'écrit à travers une tâche de manipulation de lettres et de chiffres en volume, laquelle ne mobilisera pas directement la motricité de l'écriture.

Etude 4 : La dernière étude exploitera un paradigme d'entraînement afin d'examiner la contribution de la directionnalité de l'écriture à la reconnaissance et au rappel de l'orientation de lettres.

Dans les études 1, 2 et 3a, l'analyse en temps réel du processus grapho-moteur assure le recueil de la directionnalité graphique et des mesures cinématiques pour chaque production. Sera utilisé un dispositif combiné associant d'une part un appareillage sous technologie *Anoto*[®] et le logiciel *Elian Research*[®]. La technologie *Anoto*[®] repose sur l'association d'un papier devenu numérisé par l'impression d'une trame de micro points et d'un stylobille équipé d'un dispositif optoélectronique. L'encre utilisée pour l'impression des micro-points sur la feuille contient du carbone qui les rend visibles à la lumière infrarouge émise par la diode lumineuse intégrée dans le stylo numérique. Ce système permet de capturer le déroulement du tracé et sa dynamique dont le logiciel *Elian Research*[®], fournit une visualisation graphique et des données numériques temporelles et spatiales. A notre connaissance, ce type de données en temps réel a un caractère original et inédit dans le domaine de recherche.

PARTIE EMPIRIQUE

Etude 1.

Influence culturelle sur la directionnalité dans le dessin d'enfant

1. CONTEXTE

Les changements développementaux dans le dessin d'enfant résultent de différents facteurs en interaction, à l'interface du biologique et du culturel.

La maturation cérébrale est un facteur majeur de progrès cognitifs et moteurs chez l'enfant qui vont soutenir les compétences graphiques. Par exemple, des changements qualitatifs et quantitatifs apparaissent dans l'analyse visuelle de stimuli visuo-spatiaux. Pour reproduire une figure, les enfants les plus jeunes ont tendance à découper une forme en petites unités indépendantes et à les organiser selon des relations simples (e.g., proximité) (Tada & Stiles, 1996). Entre 6 et 12 ans, ils acquièrent la capacité à extraire les éléments configuratifs de formes de plus en plus complexes et à utiliser des combinaisons plus élaborées pour former un tout cohérent (Akshoomoff & Stiles, 1995).

Aussi, l'éducation formelle agit comme un levier culturel qui « promeut des compétences spécifiques alors disponibles pour soutenir d'autres comportements » (Scribner & Cole, 1978, p. 456, traduction libre) et notamment la cognition spatiale. Dans les langues d'origine gréco-latines, les enfants adhèrent progressivement à une stratégie de balayage visuo-moteur de gauche à droite alignée sur les composantes directionnelles du système d'écriture, au niveau morpho-cinétique de la trajectoire d'une forme simple (i.e., la lettre) et au niveau topo-cinétique de l'alignement des formes dans l'espace (i.e., une séquence de lettre). Le balayage visuo-moteur de gauche à droite se systématise aux alentours de 6-7 ans chez les normaux-lecteurs dans divers domaines cognitifs sous l'effet de l'instruction scolaire. Les enfants qui bénéficient d'une moindre exposition à l'écrit, les enfants dyslexiques et les

adultes illettrés ont un accès plus aléatoire à l'espace horizontal (Ferretti, Mazzotti, & Brizzolara, 2008; Ostrosky-Solis, Efron, & Yund, 1991). Dès les premières années de l'instruction scolaire, des différences dans les tendances directionnelles peuvent être observées entre des groupes exposés à des langues transcrites dans des directions opposées (e.g., Fagard & Dahmen, 2003; Kebbe & Vinter, 2013).

Le renforcement de la dominance manuelle entre 3 et 7 ans (McManus et al., 1988) est un résultat particulier de l'interaction entre des facteurs biologiques et culturels (Perelle & Ehrman, 2005).

Parmi l'ensemble des comportements graphiques, la directionnalité témoigne de l'interaction particulière entre contraintes biologiques et culturelles dont le poids relatif varie dans le développement et selon des conditions définies. La directionnalité est définie par Nachshon comme une « tendance des sujets à percevoir et reproduire un stimulus visuel dans une orientation particulière » (1981, p. 199, traduction libre). Dans le graphisme, elle se réfère à la trajectoire spécifique du mouvement et peut être appréciée à trois niveaux de la production: le niveau local ou la directionnalité de chaque trait isolé ; le niveau intermédiaire ou la directionnalité prédominante pour une séquence de traits et ; le niveau global ou la directionnalité de la forme. La directionnalité graphique a été initialement expliquée en référence à des contraintes biomécaniques liées à la structure anatomique du système neuromusculaire (Brown et al., 1948). Les contraintes biomécaniques fixent une préférence pour les mouvements tenseurs, vers l'extérieur du corps, qui sont exécutés de manière plus fluide, plus rapide et plus précise que les mouvements fléchisseurs, vers l'intérieur du corps (Van Sommers, 1984). Les mouvements tenseurs et fléchisseurs conduisent à des directionnalités opposées en fonction de la dominance manuelle (Reed & Smith, 1961). Par exemple, une étude de Picard (2011) dans le dessin figuratif chez des enfants âgés de 5 à 9 ans a montré une adhésion plus importante à une directionnalité de gauche à droite chez les

droitiers comparativement aux gauchers. Outre une explication biologique, des études ont souligné l'implication d'un facteur culturel lié à la direction de l'écriture dans la directionnalité graphique. Certaines d'entre elles rapportent une interaction dans le développement entre des contraintes biomécaniques et culturelles avec l'expérience croissante de l'écrit. Par exemple, De Agostini et Chokron (2002) ont comparé la directionnalité entre des enfants âgés de 7-10 ans et des adultes selon qu'ils étaient gauchers ou droitiers au cours d'une tâche graphique simple (i.e., tracer un trait). Aucun effet de l'âge n'était observé dans le groupe de droitiers : dès 7 ans, les enfants adhéraient massivement à une directionnalité de gauche à droite. En revanche, seuls 20% des enfants gauchers traçaient le trait de gauche à droite contre 30% pour les adultes jeunes et 80% pour des adultes plus âgés. Selon les auteurs, les contraintes culturelles joueraient un rôle croissant dans la mobilisation d'une directionnalité au détriment de contraintes biomécaniques antérieurement dominantes. Des résultats inverses ont été obtenus par Braswell et Rosengren (2002) dans une étude où des enfants et des adultes droitiers avaient à copier des figures géométriques simples (composées de 3 à 4 traits) en faisant varier la main utilisée. Les enfants âgés de 4 à 6 ans adhéraient massivement à une directionnalité de gauche à droite promue par des contraintes cognitives, issues des règles de production graphique (Goodnow & Levine, 1973), et culturelles, liées la direction de l'écriture, quelle que soit la main utilisée. Les productions des adultes étaient davantage influencées par des contraintes biomécaniques. L'intériorisation des contraintes cognitives et une plus grande maîtrise du système effecteur permettraient aux adultes d'adopter des procédures plus flexibles en fonction des conditions de production. D'autres études ont relevé une forte adhésion aux contraintes culturelles sur le dessin figuratif sans observer d'interaction dans le développement avec des contraintes biomécaniques (Kebbe & Vinter, 2013). En résumé, les études développementales ayant examiné conjointement l'effet de facteurs biomécaniques et culturels chez l'enfant sur la directionnalité graphique sont peu

nombreuses et aboutissent à des résultats divergents. L'analyse d'une littérature plus large sur les tendances directionnelles dans une variété de domaines cognitifs met en évidence la prédominance du facteur culturel lié à la direction de l'écriture dès lors qu'un certain niveau d'expérience de l'écrit est atteint.

Egalement, des facteurs contextuels liés aux caractéristiques du stimulus peuvent moduler à court terme l'effet des contraintes intériorisées. Il a été montré chez l'adulte que certaines catégories d'objets (e.g., les animaux et les véhicules) sont orientées différemment dans l'espace graphique en fonction de la dominance manuelle tandis que d'autres (e.g., les meubles et les légumes) ne font apparaître aucune différence (Viggiano & Vannucci, 2002). Les premières catégories d'objets présentent deux caractéristiques distinctives : la mobilité et l'asymétrie. Ces objets se déplacent dans l'espace et leur déplacement potentiel est évalué en fonction de leur asymétrie (e.g., le cockpit et la queue d'un avion). La tendance à débiter le dessin d'un objet par l'élément le plus saillant de la forme (e.g., le cockpit plutôt que la queue d'un avion) combinée aux contraintes biomécaniques aboutie à une orientation des objets mobiles à gauche chez les droitiers et à droite chez les gauchers du point de vue de l'observateur (Van Sommers, 1984). Dans une tâche de copie chez l'enfant, Vinter (1999) a rapporté une influence de la signification de la forme sur la directionnalité graphique à partir de 10 ans. Des enfants français âgés entre 6 et 10 ans avaient à copier une même forme à deux reprises, selon deux significations différentes explicitement attribuées. Dès 6 ans, il existait une forte adhésion à une directionnalité gauche-droite, alignée sur la direction de l'écriture, au niveau de la directionnalité globale (progression du tracé) qui s'exprimait quelle que soit la signification attribuée à la forme. A partir de 10 ans, une même forme pouvait être tracée selon des directionnalités différentes en fonction de la position de l'élément le plus saillant. L'intériorisation des contraintes culturelles avec la pratique croissante de l'écrit permettrait aux enfants plus âgés de s'en dégager afin de satisfaire des contraintes contextuelles. Un effet

de la signification a également été rapporté au niveau local chez des adultes droitiers qui avaient à tracer successivement une ligne horizontale et une flèche pointant vers la gauche (Van Sommers, 1984). Dans le premier cas, la ligne était tracée de gauche à droite, sous l'effet de contraintes biomécaniques et culturelles, tandis que dans le deuxième cas, la ligne était produite de droite à gauche dans la direction de la pointe, sous l'effet de contraintes sémantiques.

Parmi les facteurs contextuels, des facteurs syntaxiques ont été investigués uniquement dans le cadre des recherches portant sur le biais spatial d'agentisme. Un biais culturel plus important apparaissait lorsque l'agent était mentionné en premier versus en dernier dans la phrase à représenter, c'est-à-dire lorsque les informations d'agentisme et de syntaxe sont congruentes¹ (Dobel et al., 2007). Egalement, des facteurs syntaxiques peuvent interagir avec des facteurs sémantiques et affecter la magnitude du biais spatial d'agentisme. Dans une étude de Suitner et Giacomantonio (2012), le facteur sémantique était manipulé à travers le niveau de représentation mentale amorcé (i.e., distance temporelle élevée ou faible). Lorsque la distance temporelle était élevée, un fort biais spatial à gauche promu par la direction de l'écriture était observé indépendamment du facteur d'organisation syntaxique. Lorsque la distance temporelle était faible, les participants étaient plus enclins à utiliser l'information syntaxique pour représenter spatialement l'action. Les contraintes culturelles exerçaient une forte influence lorsque le participant bénéficiait de peu d'information contextuelle (i.e., distance temporelle élevée) et une influence plus faible lorsque des informations contextuelles plus concrètes (i.e. distance temporelle faible) rendaient plus saillante l'organisation syntaxique de l'énoncé.

¹ Ce résultat s'applique à des personnes dont la langue a une structure syntaxique dominante de type sujet-verbe-objet. Des données sur un échantillon d'adultes malgaches, dont la langue a une structure syntaxique de type verbe-objet-sujet, sont disponibles dans un article de Maass, Suitner et Nadhmi (2014).

L'analyse de la littérature a permis d'identifier quatre facteurs majeurs de la directionnalité graphique : des facteurs intériorisés, biomécaniques et culturels, et des facteurs contextuels qui modulent à court terme leur effet. L'intrication des différents facteurs dans la mobilisation au cours du développement de la directionnalité graphique, est peu documentée.

L'étude présente a pour objectif principal d'investiguer le poids de l'influence culturelle sur la directionnalité graphique en comparant les performances d'enfants ayant des niveaux différents d'expérience de l'écrit dans des conditions où des contraintes biomécaniques, syntaxiques et sémantiques variaient. La directionnalité graphique a été observée à la copie d'une version simplifiée de la Figure Complexe de Rey-Osterrieth (FCR-A; Rey, 1959). La FCR-A est un test neuropsychologique qui permet d'évaluer les habiletés visuo-spatiales constructives et la mémoire visuelle chez l'enfant et l'adulte (Shin, Park, Park, Seol, & Kwon, 2006). Une version simplifiée de la figure en quatre unités (i.e., le grand rectangle, le triangle droit et les deux médianes) a été utilisée (Figure 14). Les caractéristiques

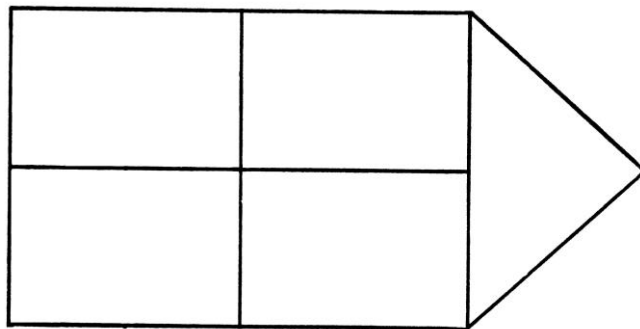


Figure 14 : Version simplifiée de la FCR-A (orientation à droite)

structurales de la forme permettaient la manipulation de son orientation et ainsi d'investiguer la contribution de facteurs syntaxiques sur la directionnalité graphique. En effet, l'orientation implicite de la forme vers la droite par association du triangle de droite à une flèche directionnelle pourrait induire une stratégie de traitement visuo-moteur alignée sur la direction

de l'écriture dans des contextes culturels et d'écritures orientés de gauche à droite (Bellaj, 2011).

Un objectif secondaire de l'étude était de tester la contribution de la directionnalité aux mesures de performances généralement recueillies dans l'évaluation neuropsychologique. De plus, la forme permettait également d'investiguer la contribution de facteurs sémantiques. En effet, bien que la FCR-A, soit, selon son auteur, dépourvue de signification, elle active certaines représentations concrètes (e.g., un poisson, une fusée, une maison ; Wallon & Mesmin, 2009). A notre connaissance, aucune étude n'a encore pris en compte un effet de contexte sur la directionnalité graphique à la copie d'un stimulus non figuratif, où le contexte n'est pas uniquement sémantique, porteur d'une signification, mais aussi syntaxique, porté par le percept.

La main utilisée (droite vs. gauche) et l'orientation de la forme (à droite vs. à gauche) ont été manipulées et la signification (concrète vs. abstraite) recueillie après la tâche de copie. La directionnalité graphique a été évaluée selon la direction des mouvements aux niveaux local, intermédiaire et global. La qualité de tracé et les stratégies organisationnelles ont également été mesurées comme indicateurs habituellement recueillis dans le cadre de l'évaluation neuropsychologique.

Globalement, une augmentation de la qualité du tracé et une baisse de la durée de production sont attendues avec l'âge, et avec la main droite dominante comparativement à la main gauche non dominante. Nous devrions également observer un renforcement de la directionnalité alignée sur la direction de l'écriture, lorsque les facteurs biomécaniques (main droite) et l'orientation de la forme (à droite) sont congruents avec la direction de l'écriture. En ce qui concerne l'utilisation de la main gauche non dominante et l'incongruence entre l'orientation de la forme et la direction de l'écriture, des hypothèses sont plus difficiles à formuler. Néanmoins, la directionnalité graphique pourrait être moins marquée, notamment

chez les enfants les plus jeunes du fait d'une expérience informelle de l'écrit et d'habiletés motrices moins développées. En ce qui concerne l'effet de la signification de la figure, la concrétude pourrait favoriser les performances (qualité et durée) en permettant aux enfants de se référer à une représentation interne de la forme. Egalement, une signification concrète rendrait plus saillante l'orientation de la forme et favoriserait ainsi un effet de l'orientation sur la directionnalité graphique d'autant plus chez les enfants les plus âgés.

2. METHODE

2.1 Participants

Un échantillon de 88 enfants âgés de 5 à 9 ans a été recruté dans quatre écoles publiques. Seuls les enfants droitiers ont été sélectionnés sur la base d'une évaluation de la préférence latérale. Treize enfants gauchers n'ont pas été inclus dans l'échantillon final. Les 88 participants (31 garçons et 57 filles) formaient trois groupes d'âge/expérience de l'écrit : 25 enfants scolarisés en Grande Section de Maternelle (7 garçons et 18 filles), âgés de 5.5 à 6.2 ans ($M = 5.9$, $ET = 0.3$) ; 29 enfants scolarisés en CP (13 garçons et 16 filles), âgés de 6.3 à 7.2 ans ($M = 6.9$, $ET = 0.3$) et ; 34 enfants scolarisés en CE2 (11 garçons et 23 filles), âgés de 8.2 à 9.2 ans ($M = 8.8$, $ET = 0.3$). Le degré d'exposition et de pratique de l'écrit variait entre les groupes sous l'effet de l'instruction scolaire et de l'éducation familiale. Les enfants scolarisés en Grande Section de Maternelle (GSM) étaient des pré-lecteurs qui expérimentaient l'écrit uniquement à travers des activités informelles de littératie précoce et d'écriture. Les enfants scolarisés en CP étaient des lecteurs débutants à qui l'on enseignait la lecture et l'orthographe. Les enfants scolarisés en CE2 étaient des lecteurs novices qui recevaient une instruction intensive en lecture et écriture. Une évaluation des compétences en littératie adaptée à chaque niveau scolaire a permis de s'assurer que tous les participants aient bien le niveau attendu en littératie (ci-après). Les participants venaient tous de familles

francophones et franco-graphes et avaient des habitudes de lecture et d'écriture circonscrites aux langues transcrites de gauche à droite.

2.2 Epreuves préliminaires

Des tâches permettant d'évaluer la préférence latérale, l'expérience de l'écrit et l'attention visuelle ont été administrées individuellement deux semaines avant la tâche expérimentale de copie.

- Préférence latérale

La préférence latérale a été évaluée sur la base des réponses comportementales de l'enfant dans 11 tâches de préférence manuelle ou visuelle, tirées ou inspirées d'une échelle standardisée de préférence latérale (Test de Latéralité Usuelle, Auzias, 1975). La préférence manuelle a été déterminée à travers la main utilisée par l'enfant pour réaliser des tâches graphiques (dessin et écriture) et des tâches de la vie quotidienne (lancer un ballon, effacer avec une gomme, enfiler une perle sur un fil, utiliser une raquette de tennis de table, découper avec des ciseaux, secouer un œuf sonore, dévisser un bouchon, taper avec un marteau en bois). Ces items ont été choisis pour leurs qualités psychométriques en termes de sensibilité et de fiabilité test-retest et pour la diversité de leur sollicitation motrice (proximité du mouvement et degrés d'automatisation). La préférence oculaire a été appréciée à l'aide d'un item où l'enfant devait regarder par le trou d'une serrure. Un score composite a été obtenu pour chaque enfant en utilisant un indice conventionnel de latéralité (IL ; McManus, Sik, Cole, & Mellon, 1988) calculé à partir de l'équation suivante: $IL = [n(D) - n(G)] / [n(G) + n(D)]$; dans laquelle $n(D)$ et $n(G)$ correspondent au nombre de tâches réalisées respectivement avec le côté droit ou le côté gauche du corps. Ce score permet à la fois d'identifier la direction de la préférence latérale (gauche ou droite) à partir du signe (+/-) et également sa constance

au travers de la diversité des tâches en prenant en compte l'écart aux valeurs extrêmes (-1 et 1). Les scores moyens pour chaque groupe d'âge sont rapportés dans le Tableau 2. Ils révèlent une forte constance de la préférence latérale à droite.

Tableau 2 : Performances aux épreuves préliminaires pour chaque groupe d'âge (les écarts-types sont présentés entre parenthèses et l'intervalle des scores entre crochets)

	GSM	CP	CE2	<i>F</i>	<i>p</i>
Latéralité	.90 (.07)	.90 (.09)	.89 (.11)	.36	.70
Expérience de l'écrit ^a	7.80 (1.41) [0-10]	16.91 (3.42) [0-24]	65.73 (15.20) [0-105]	-	-
Attention visuelle	11.80 (2.53)	12.77 (2.39)	12.15 (2.68)	.95	.39

^aGSM : Dénomination de lettres ; CP : Lecture de mots ; CE2 : Fluidité en lecture

- Expérience de l'écrit

L'expérience de l'écrit a été évaluée à travers des tâches d'identification de lettres et de mots écrits qui étaient spécifiquement adaptées aux compétences de chaque groupe. Les enfants pré-lecteurs (GSM) avaient à réaliser une tâche de dénomination de lettre qui est considérée comme un fort prédicteur des compétences ultérieures en lecture et un indice fidèle de l'expérience précoce de l'écrit (Foulin, 2005). Dans cette tâche, il était demandé aux enfants de pointer une lettre nommée par l'expérimentateur. Chaque lettre cible était présentée dans une position aléatoire au sein d'une série de neuf autres lettres. Deux lettres ont été choisies au hasard dans chacune des cinq catégories de structure phonologique de leur nom (de Boisferon, Colé, & Gentaz, 2010) : 1/ les consonnes, comme *b* (prononcée /bé/), dont le phonème (/b/) est présent au début de leur nom ; 2/ les consonnes, comme *f* (prononcée /èf/), dont le phonème (/f/) est présent à la fin de leur nom ; 3/ les consonnes pour lesquelles le lien entre leurs noms et leurs sons est arbitraire comme pour le *h*, le *q* et le *w* ; 4/ les consonnes, comme le *c*, pour lesquelles le lien unissant le nom et le son des lettres est

contextuel ; 5/ les voyelles simples qui comportent uniquement leur son et la lettre y. L'apprentissage des lettres dont le nom contient le phonème étant facilité par rapport aux lettres dont le nom ne contient pas le phonème pertinent, la tâche présentait des degrés de difficultés divers. Parmi les deux lettres de chaque catégorie, une était présentée en capitale (Arial 24) et l'autre en cursive (Cursif 36). La note totale à cette épreuve correspondait au nombre de lettres cibles correctement identifiées sur un total de 10 lettres. Le Test d'Identification de Mots Ecrits (Timé-2; Ecalle, 2003) a été proposé aux lecteurs débutants (CP). Il consistait en deux tâches pour lesquelles il s'agissait de retrouver un mot cible dans une liste de 5 mots (12 listes au total). Soit le mot est donné oralement par l'expérimentateur (1^{ère} tâche) soit il est associé à une image et doit être découvert par l'enfant (2^{ème} tâche). Pour chaque type de tâche, l'enfant a le choix entre 5 items : le mot cible correctement orthographié (par exemple, table), un mot ou pseudo-mot homophones du mot cible (dans l'exemple, tâble), un pseudo-mot visuellement proche (dans l'exemple, toble), un voisin orthographique (dans l'exemple, tabac), un pseudo-mot avec une séquence illégale de lettres en français (dans l'exemple, tbale). Le score de l'enfant correspond au nombre de mots cibles correctement identifié sur un total de 24 mots cibles. Les lecteurs novices (CE2) avaient à réaliser une tâche plus complexe et chronométrée d'identification de mots écrits issue d'un test standardisé (LMC-R; Khomsi, 1999). Il était demandé aux enfants de lire à haute voix et le plus rapidement possible 105 mots présentés en colonnes sur une feuille A4. Le temps imparti est de 1 minute. La note totale à l'épreuve correspondait au nombre d'items lus correctement en une minute. Cette tâche permettait d'évaluer la précision de l'identification du mot écrit ainsi que le niveau d'automatisation de cette compétence à travers la vitesse.

- Attention visuelle

L'attention visuelle des enfants a été évaluée à l'aide de l'épreuve du même nom issue du bilan neuropsychologique de l'enfant (*NEPSY II*; Korkman, Kirk, & Kemp, 2012). Il est demandé à l'enfant de tracer un trait le plus rapidement possible sur des items cibles (vingt au total) présentés parmi des items distracteurs. Dans une première tâche, les enfants ont à retrouver 20 dessins de chats positionnés parmi 85 dessins d'autres animaux. Dans la deuxième tâche, il s'agit de retrouver 20 dessins de deux visages parmi 75 visages similaires sur la base de leur expression faciale. Le temps imparti pour la réalisation de chaque tâche était de 180 secondes. Un score brut a été calculé pour chaque tâche en soustrayant les fausses reconnaissances du nombre correct de dessins cibles retrouvés dans le temps imparti. La somme des deux scores a été convertie en une note standard à partir des tables de conversion en prenant en compte le temps total utilisé par l'enfant. Les performances des enfants de l'échantillon correspondaient aux performances attendues pour chaque groupe d'âge. Les trois groupes d'âge ne différaient pas sur leur performance à cette tâche.

2.3 Tâche expérimentale

La tâche de copie s'est déroulée dans une salle calme où tous les documents écrits avaient été retirés. Il était demandé à chaque enfant de dessiner quatre copies de la version simplifiée de la FCR-A (Rey, 1959), qui correspondaient aux quatre conditions de production suivantes : la forme étaient orientée de gauche à droite et de droite à gauche et dessinée avec la main gauche et la main droite. L'orientation de la forme et la main utilisée étaient contrebalancés entre les participants. Cependant, chaque orientation a fait l'objet de deux copies successives en alternant la main utilisée et la même alternance des mains a été conservée chez un même participant pour chaque orientation, donnant 4 ordres de production.

La tâche de copie a été réalisée à l'aide d'un appareillage couplant un stylo numérique et une feuille de papier imprimée avec une trame de micropoints permettant de capturer la

dynamique du tracé. Les données spatiales et temporelles ont été analysées à l'aide du logiciel *Eliau*[®] qui fournit également une visualisation graphique en temps réel de la production.

A la suite de la tâche de copie, les deux orientations de la forme ont été présentées une nouvelle fois et simultanément à l'enfant qui était questionné sur la signification qu'il attribuait à la figure : « *A quoi cela te fait-il penser ?* ».

Les données qualitatives et quantitatives suivantes ont été recueillies.

Qualité : la qualité de chaque dessin a été évaluée selon le placement et le degré de déformation des quatre unités qui forment la figure simplifiée (i.e., le grand rectangle, le triangle latéral, la médiane verticale et la médiane horizontale). La procédure de codage était dérivée des règles spécifiques de codage fournie par Meyers et Meyers (1995) et de la grille de codage conçue par Wallon et Mesmin (2009). Le placement et le degré de déformation des éléments ont été évalués en utilisant les unités métriques (millimètres) des coordonnées spatiales fournies par le logiciel *Eliau*[®]. Un score de 0 à 4 a été attribué pour chaque unité donnant un score maximal de 16. Un deuxième juge a évalué la qualité la qualité d'un échantillon de 20% des productions afin de s'assurer de la fiabilité du codage. Un coefficient Kappa de Cohen de .92 indiquait un degré d'accord fiable entre les deux juges.

Stratégie : Afin d'identifier les stratégies organisationnelles, chaque production a été cotée qualitativement à l'aide du Rey Complex Figure Organizational Strategy Score (RCF-OSS; Anderson, Anderson, & Garth, 2001). Les productions ont été classées en quatre stratégies principales sur la base de la séquence du tracé des unités et de la continuité des traits : pauvre, fragmentée, mi-configurale, configurale.

Durée : La durée de production correspondait au temps total en secondes où le stylo est en contact avec la feuille de papier.

Directionnalité graphique : Au niveau global, la directionnalité a été codée selon la séquence spatiale de tracé de la forme (de gauche à droite vs. de droite à gauche) révélée par

l'enregistrement de la production. Au niveau intermédiaire, la directionnalité a été codée en observant la directionnalité du tracé de chaque trait (de gauche à droite vs. de droite à gauche). Un index de directionnalité a ensuite été calculé en divisant le nombre de traits effectués de gauche à droite par le nombre total de trait. Cet index varie de 0 (tous les traits ont été produits de droite à gauche) à 1 (tous les traits ont été produits de gauche à droite). Au niveau local, la directionnalité de la médiane horizontale a été analysée à partir de la visualisation graphique colorée fournie par le logiciel *Eliau*[®] afin d'identifier la direction prédominante du mouvement sachant qu'elle aurait pu être dessinée de manière discontinue dans les deux directions.

Signification : Les réponses des enfants ont été catégorisées selon qu'elles faisaient référence à un objet concret (e.g., une fusée, une maison) ou à un objet abstrait (e.g., une forme, un carré).

3. RESULTATS

Les variables quantitatives, c'est-à-dire, la qualité de tracé, la durée de tracé et la directionnalité intermédiaire ont été soumises à une analyse de variance principale (ANOVA) avec le groupe d'âge/expérience de l'écrit (6, 7 et 9 ans) en facteur inter-sujets et l'orientation (OD, OG) et la main (MD, MG) en facteurs intra-sujet. Une analyse supplémentaire qui incluait la signification attribuée à la figure (abstraite vs. concrète) en facteur inter-sujets a également été menée sur les mêmes variables. Les variables qualitatives, c'est-à-dire, la directionnalité locale et la directionnalité globale ont été soumises à des tests de Khi-deux pour analyser les différences entre les groupes d'âge/expérience de l'écrit pour chaque condition de production (orientation \times main). Des tests *Q* de Cochran ont été réalisés sur les variables qualitatives pour comparer les performances des enfants d'un même groupe d'âge/expérience de l'écrit entre les différentes conditions de production (orientation \times main).

Les effets significatifs ont été analysés avec des tests post-hoc de McNemar afin de contraster l'influence de l'orientation et de la main. Egalement, les différences de stratégies organisationnelles entre les différents groupes d'âge/expérience de l'écrit ont été testées à l'aide de Khi-deux partiels. Des analyses de corrélation ont été menées entre les trois mesures de directionnalité pour examiner la consistance de cette tendance directionnelle et également entre les mesures de directionnalité et de performances à la FCR-A (qualité du tracé et durée du tracé).

3.1 Mesures de performances

Il existe un effet du groupe d'âge/expérience de l'écrit sur la qualité du tracé, $F(2, 85) = 28.89, p < .001, \eta^2_G = .32^2$. Des tests post-hoc de Tukey sur les moyennes des moindres carrés montrent une amélioration de la qualité à chaque âge (5 ans : $M = 8.49, ET = 2.35$; 6 ans : $M = 10.45, ET = 2.28$; 8 ans : $M = 12.49, ET = 2.35; p_s < .009$). La qualité de tracé était également impactée par la main utilisée, $F(1, 85) = 157.52, p < .001, \eta^2_G = .14$, et significativement meilleure avec la main droite ($M = 11.63, ET = 2.59$) que la main gauche ($M = 9.73, ET = 2.74$), mais pas par l'orientation de la forme ($F < 1$). Cependant, il existe une interaction significative entre la main et l'orientation, $F(1, 85) = 8.57, p = .004, \eta^2_G = .007$. Avec la main droite, le tracé était de meilleure qualité lorsque la forme était orientée à droite ($M = 11.90, ET = 2.87$) que lorsqu'elle était orientée à gauche ($M = 11.36, ET = 2.81$), $p = .02$. Avec la main gauche, la qualité de tracé ne varie pas en fonction de l'orientation (OD : $M = 9.61, ET = 3.04$; OG : $M = 9.85, ET = 2.92; p = .34$). Cette interaction ne variait pas en fonction du groupe d'âge ($F < 1$). La signification attribuée à la figure n'avait pas d'effet sur la qualité du tracé ($p = .11$).

² L'éta carré généralisé (η^2_G) a été utilisé pour calculer la taille d'effet des ANOVA à mesures répétées comme recommandé dans la littérature (Bakeman, 2005). L'amplitude des effets peut être interprétées selon les repères suivants : faible, $\eta^2_G = .02$; moyen, $\eta^2_G = .13$; fort, $\eta^2_G = .26$.

La durée de tracé était impactée par la main utilisée, $F(1, 85) = 17.52, p < .001, \eta^2_G = .02$, et par la signification attribuée à la forme, $F(1, 82) = 8.35, p = .005, \eta^2_G = .06$. La durée de tracé était plus courte avec la main droite ($M = 13.73, ET = 4.99$) que la main gauche ($M = 15.44, ET = 5.19$) et avec une signification concrète ($M = 13.58, ET = 3.48$) qu'abstraite ($M = 16.73, ET = 6.19$). Il n'existait aucun effet du groupe d'âge/expérience de l'écrit ni de l'orientation de la figure sur la durée du tracé ($F_s < 1$).

Des khi-deux partiels sur les catégories « pauvre » et « fragmentée » des stratégies organisationnelles ont montré que les enfants âgés de 5 ans utilisaient des stratégies moins élaborées que les enfants plus âgés (5 ans: 58.33%, 6 ans: 41.38%, 8 ans: 26.47%; $p_s < .05$).

3.2 Directionnalité graphique

- Directionnalité intermédiaire

Les analyses ont révélé un effet significatif de la main utilisée, $F(1, 85) = 38.72, p < .001, \eta^2_G = .07$, et de l'orientation de la forme, $F(1, 85) = 63.13, p < .001, \eta^2_G = .23$, mais aucune différence significative entre les groupes d'âge/expérience de l'écrit ($p = .32$). Les enfants adhèrent plus fortement à une directionnalité intermédiaire de gauche à droite avec la main droite ($M = .69, ET = .10$) comparativement à la main gauche ($M = .56, ET = .19$). Aussi, les enfants ont davantage tendance à réaliser les traits de gauche à droite lorsque la forme est orientée à droite ($M = .76, ET = .22$) que lorsqu'elle est orientée à gauche ($M = .56, ET = .19$). Il n'existe pas d'effet simple de la signification attribuée ($F < 1$) mais elle interagit significativement avec l'orientation de la forme, $F(1, 85) = 10.08, p = .021, \eta^2_G = .05$. L'effet de congruence attendu entre la directionnalité intermédiaire et l'orientation de la forme est plus important lorsque la forme a été associée à une signification concrète comparativement à une signification abstraite (Figure 15). Lorsque la forme est orientée à droite, une

directionnalité intermédiaire de gauche à droite est davantage privilégiée par les enfants qui attribuent une signification concrète à la forme ($M = .79$, $ET = .19$) comparativement à ceux

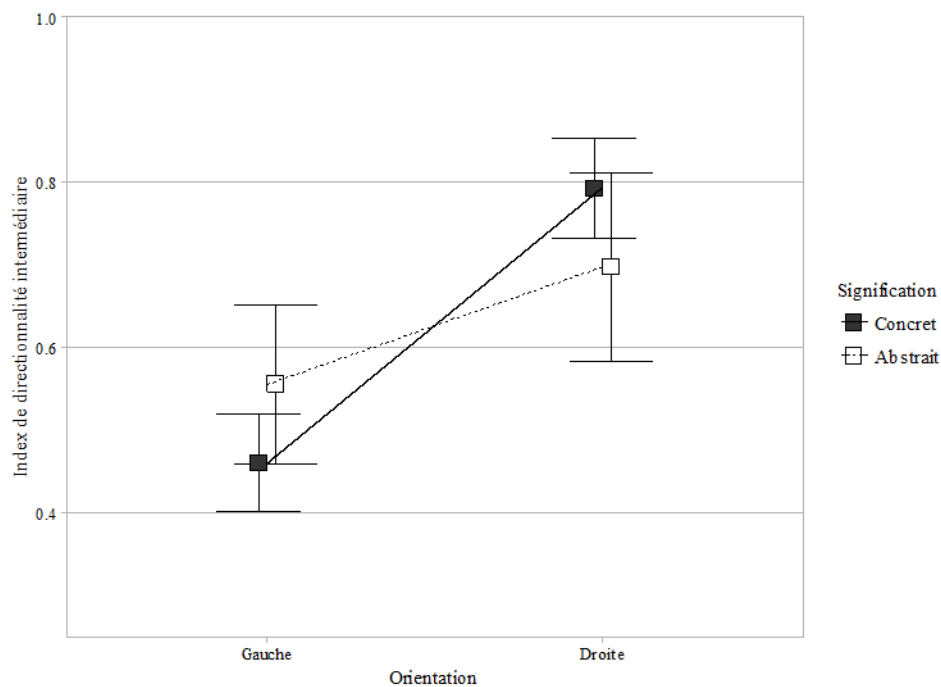


Figure 15 : Index moyen de directionnalité intermédiaire en fonction de l'orientation de la forme et de la signification attribuée.

qui attribuent une signification abstraite ($M = .68$, $ET = .25$), $p = .02$. A l'inverse, lorsque la forme est orientée à gauche, une directionnalité intermédiaire de droite à gauche est davantage privilégiée par les enfants qui attribuent une signification concrète à la forme ($M = .55$, $ET = .19$) comparativement à ceux qui attribuent une signification abstraite ($M = .46$, $ET = .19$), $p = .03$.

- Directionnalité globale

Des analyses de Khi-deux au sein de chacune des conditions de production (orientation \times main) ont révélé que la directionnalité globale ne variait pas significativement selon le groupe d'âge/expérience de l'écrit ($p_s > .33$). A 5 ans, la directionnalité globale ne variait pas significativement en fonction des conditions de production ($Q < 1$) et ne différait pas du niveau du hasard (test binomial ; $p_s > .001$). A l'inverse, des différences significatives

entre les conditions de productions ont été mises en évidence pour les enfants âgés de 6 ans ($Q(3) = 11.58, p = .009$) et ceux âgés de 8 ans ($Q(3) = 16, p = .001$). Des tests post-hoc de McNemar indiquaient pour chacun de ces deux groupes une adhésion plus forte à une directionnalité globale de gauche à droite avec la main gauche lorsque la forme était orientée à droite que lorsqu'elle était orientée à gauche (6 ans : OD = 75%, OG = 37,9%, $p = .05$; 8 ans : OD = 79,4%, OG = 44.1%, $p = .03$). Cependant, avec la main droite, l'effet de l'orientation de la forme s'est avéré significatif uniquement à 8 ans (6 ans : OD = 75,9%, OG = 46.4%, $p = .11$; 8 ans : OD = 79,4%, OG = 44.1%, $p = .03$). La directionnalité globale différait du niveau du hasard lorsque la forme était orientée à droite pour les deux groupes (6 ans : $p_s < .01$; 8 ans : $p_s = .001$) mais pas lorsqu'elle était orientée à gauche (6 ans : $p_s > .26$; 8 ans : $p_s > .61$).

Des analyses complémentaires incluant la signification attribuée à la figure ont révélé une variation significative de la directionnalité globale chez les enfants âgés de 6 et 8 ans qui apparaît uniquement avec l'attribution d'une signification concrète à la figure respectivement, $Q(3) = 12, p = .007$ et $Q(3) = 117.31, p = .001$. Avec une signification concrète, l'effet de l'orientation apparaît à 6 ans avec la main gauche (OD = 75%, OG = 28.6%, $p = .05$) et non avec la main droite (OD = 76.2%, OG = 40%, $p = .12$) et à 8 ans quelle que soit la main (OD = 83.3%, OG = 57.7%, $p_s < .03$). Avec une signification abstraite, il n'existe aucun effet de l'orientation de la forme sur la directionnalité globale à 6 ans (OD = 75%, OG = 62.5%, $p_s = 1$) et à 8 ans (OD = 73.1%, OG = 57.7%, $p_s > .75$). Aucune variation significative de la directionnalité globale n'a été observée chez les enfants de 5 ans en fonction de la signification attribuée ($p_s > .24$).

- Directionnalité locale

Deux stratégies principales ont été utilisées pour reproduire la figure. Dans l'ensemble, la majorité des enfants ont correctement segmenté la production du grand

rectangle et des deux médianes ($N = 71$), tandis que quelques-uns ont produit une agglomération de quatre rectangles ($N = 17$). Les résultats de ces derniers n'ont pas été pris en compte dans les analyses portant sur la directionnalité locale.

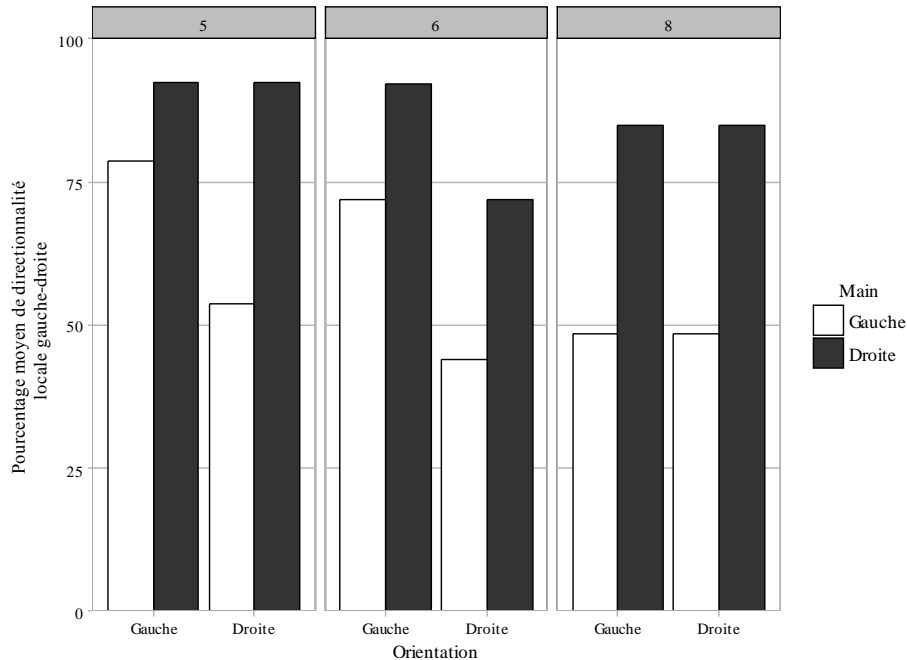


Figure 16 : Pourcentage moyen de directionnalité globale gauche-droite pour chaque groupe d'âge en fonction de la main utilisée et de l'orientation de la figure

Des analyses de Khi-deux au sein de chacune des conditions de production (orientation \times main) ne révèlent pas de variation significative de la directionnalité locale selon le groupe d'âge/expérience de l'écrit ($p_s > .07$). La directionnalité globale variait significativement en fonction des conditions de production au sein de chaque groupe d'âge : 5 ans, $Q(3) = 8.04$, $p = .04$; 6 ans, $Q(3) = 14.13$, $p < .001$; 8 ans, $Q(3) = 23.35$, $p < .001$. À l'âge de 5 ans, les tests post-hoc de McNemar montrent un effet tendanciel de la main ($p_s > .06$) mais pas d'effet manifeste de l'orientation ($p_s > .25$). Par contraste, un effet de la main a été observé chez les enfants plus âgés de 6 et 8 ans lorsque la forme est orientée à droite (6 ans : MD = 72%, MG = 44%, $p = .04$; 8 ans : MD = 84.8%, MG = 48.4%, $p = .003$). Lorsque la forme est orientée à gauche, l'effet de la main est présent uniquement à 8 ans (MD = 84.8%, MG = 48.4%, $p = .003$) et non à 6 ans (MD = 92%, MG = 72%, $p = .07$).

La signification attribuée à la figure n'était pas un facteur significatif de la directionnalité locale pour aucun des groupes d'âge ($p_s > .37$).

- Consistance de la directionnalité graphique

Des analyses de corrélations ont été menées entre les différentes mesures de la directionnalité graphique (i.e., globale, intermédiaire et locale) au sein de chaque groupe d'âge et ce, quelle que soit la condition de production. Les résultats sont rapportés dans le tableau 3. La directionnalité intermédiaire était significativement corrélée avec la directionnalité globale pour tous les groupes d'âge et avec la directionnalité locale pour les deux groupes les plus âgés (corrélations bisérielles de point). La directionnalité privilégiée au niveau intermédiaire était également privilégiée aux autres niveaux de la production. La directionnalité globale et locale étaient associées significativement uniquement pour le groupe âgé de 6 ans (corrélations phi).

Tableau 3 : Corrélations entre les différentes mesures de directionnalité graphique pour chaque groupe d'âge

		Globale	Intermédiaire
5 ans	Intermédiaire	.50***	-
	locale	.02	.22
6 ans	Intermédiaire	.57***	-
	locale	.24*	.43***
8 ans	Intermédiaire	.60***	-
	locale	.08	.52***

3.3 Relation entre la directionnalité graphique et les performances

Des analyses de corrélations ont été menées entre les différentes mesures de la directionnalité graphique (i.e., globale, intermédiaire et locale) et les mesures de performances au sein de chaque groupe d'âge pour chaque condition de production.

Les corrélations entre la directionnalité globale et la qualité du tracé était uniquement significatives dans les conditions où la forme était orientée à droite quelle que soit la main à 6 ans (MD : $r_{pb} = .52$, $N = 29$, $p = .004$; MG : $r_{pb} = .48$, $N = 29$, $p = .009$) et uniquement pour la main droite à 8 ans ($r_{pb} = .53$, $N = 34$, $p = .001$). Il n'existe pas de corrélation significative entre la directionnalité globale et la qualité du tracé à 5 ans quelle que soit la condition de production ($p_s > .20$).

Les corrélations entre la directionnalité intermédiaire et la qualité du tracé ne sont pas significatives à 5 ans ($p_s > .07$) et à 8 ans ($p_s > .13$) et significatives à 6 ans pour la condition de congruence à droite entre la main et l'orientation ($r = .57$, $N = 29$, $p = .001$) mais pas pour les autres conditions ($p_s > .39$).

Les corrélations entre la directionnalité locale et la qualité du tracé ne sont pas significatives à 5 ($p_s > .11$) et 8 ans ($p_s > .69$) et significatives à 6 ans pour la condition de congruence à droite entre la main et l'orientation ($r_{pb} = .46$, $N = 29$, $p = .02$) mais pas pour les autres conditions ($p_s > .07$).

A 6 ans, plus l'adhésion à une directionnalité gauche-droite est forte, meilleure est la qualité du tracé lorsque la forme est orientée à droite et que la main droite est utilisée pour la reproduire.

La durée de production n'était corrélée à aucune mesure de la directionnalité.

4. DISCUSSION

L'étude présente a permis de fournir des éclairages sur l'influence culturelle dans le dessin chez l'enfant. L'influence culturelle peut être repérée à plusieurs niveaux du produit et du processus.

En ce qui concerne les performances, il existe un effet de congruence entre l'orientation de la forme à droite, l'utilisation de la main droite et la direction d'écriture de gauche à droite qui favorise la qualité du tracé. Les séquences familières étant traitées plus rapidement et plus précisément que les séquences exceptionnelles (Harsel & Wales, 1987), une forme orientée à droite favorise la performance pour des enfants français droitiers qui font l'expérience d'un système d'écriture orienté à droite et le pratique avec leur main droite.

De façon intéressante, la force de l'influence culturelle apparaissait aussi à chaque niveau de directionnalité en interaction avec des facteurs biomécaniques, syntaxiques et sémantiques. En ce qui concerne la directionnalité intermédiaire et locale, les effets liés à la main peuvent être compris comme un produit dérivé de l'influence culturelle. Les enfants privilégiaient une directionnalité gauche-droite uniquement lorsqu'ils dessinaient avec leur main droite. Il semblerait que la directionnalité issue des contraintes biomécaniques soit renforcée par la direction de l'écriture. L'absence d'adhésion à une directionnalité spécifique avec la main gauche peut suggérer que l'influence culturelle et les contraintes biomécaniques se neutralisent mutuellement et/ou que les facteurs culturels ne sont pas assez fortement intériorisés pour prendre l'ascendant sur les facteurs biomécaniques. Cependant, les effets culturels et biomécaniques ne peuvent pas être facilement dissociés dans l'étude présente comme la main droite est aussi la main dominante pour l'écriture. A cet égard, des recherches complémentaires incluant des gauchers sont souhaitables.

De la même façon, les enfants adhéraient à une directionnalité de gauche à droite au niveau intermédiaire et global uniquement lorsque l'orientation de la forme et la direction de

l'écriture étaient congruentes (i.e., orientation à droite de la forme). L'absence d'adhésion à une directionnalité spécifique en situation non congruente (i.e., orientation à gauche de la forme) peut suggérer que les facteurs syntaxiques rivalisent avec le facteur culturel et/ou que le facteur culturel n'est pas assez intériorisé pour s'appliquer sans être supporté par des facteurs syntaxiques.

En ce qui concerne la directionnalité globale et locale, les patterns de résultats rapportés plus haut ne s'appliquent qu'aux enfants les plus âgés dans notre échantillon, c'est-à-dire ceux qui bénéficiaient d'une plus grande exposition à l'écrit. Chez les enfants pré-lecteurs, l'absence d'une directionnalité spécifique apparaissait indépendamment des facteurs biomécaniques et syntaxiques. Une explication simple est que les enfants pré-lecteurs ont une expérience de l'écrit faible malgré qu'ils soient conscients et qu'ils pratiquent la direction d'écriture de gauche à droite (Brenneman et al., 1996). Egalement, il est possible qu'ils ne soient pas à cet âge en mesure d'exploiter les ressources de leur système effecteur (Chiappedi et al., 2012). L'absence de tendances directionnelles dans le dessin pourrait aussi suggérer que le dessin et l'écriture répondent à des systèmes différents (Adi-Japha & Freeman, 2001). La directionnalité de l'écrit ne serait pas encore assez fortement intériorisée pour imprégner les autres domaines graphiques. Chez les lecteurs débutants (6 ans), l'influence de l'expérience soutenue de l'écrit sur les comportements de dessin était limitée à la condition de production congruente avec la condition d'écriture, c'est-à-dire lorsque la forme est orientée à droite et reproduite avec la main droite. Chez les lecteurs novices (8 ans), l'influence culturelle est moins dépendante du contexte que dans les étapes antérieures de l'acquisition de l'écrit. En effet, l'effet de congruence entre les facteurs syntaxiques et culturels apparaissait quelle que soit la main utilisée, suggérant que certaines contraintes de la direction de l'écrit seraient également incarnées dans le comportement de la main gauche non dominante. En résumé, l'augmentation de l'expérience de l'écrit, exposition et pratique, renforce l'impact de la

direction de l'écriture jusqu'à être étendue à la main qui ne pratique pas l'écriture. Cependant, en s'appuyant sur des facteurs sémantiques, les enfants de 6 et 8 ans sont capables de se désengager d'un comportement promu par l'expérience culturelle et prédominant pour satisfaire des contraintes contextuelles (syntaxiques). Les enfants qui évoquaient une signification concrète dirigeaient la directionnalité globale en fonction de l'orientation de la forme. Une explication plausible est qu'une signification concrète renvoie à la représentation interne d'un objet construit à partir du percept et qui active des représentations procédurales saillantes qui vont guider la planification et l'exécution de manière consistante dans le cadre de dessins répétés (Braswell & Rosengren, 2002). Ces résultats répliquent conceptuellement chez l'enfant des observations faites chez l'adulte par Suitner et Giacomantonio (2012). En effet dans leur étude, l'influence de la direction de l'écriture sur le biais spatial d'agentisme s'exprimait lorsque le niveau de représentation mentale amorcé était abstrait (i.e., distance temporelle élevée), en d'autres termes, lorsqu'aucune information contextuelle n'était disponible. En revanche, l'amorçage d'un niveau concret de représentation (i.e., distance temporelle faible) générait une attention et une sensibilité plus importante à des informations contextuelles (i.e., l'organisation syntaxique de la phrase). Dans l'étude présente, les pré-lecteurs ne montraient pas d'effet relatif à la signification attribuée à la forme ce qui suggère qu'ils n'étaient pas sensibles au niveau de représentation de la forme. Comme le souligne Vinter (1999), les éléments d'une représentation engendrés par l'attribution d'une signification déterminent le comportement graphique et la sensibilité au contexte à la condition que les enfants soient en capacité d'exploiter ces éléments dans leur stratégie d'exécution. Ainsi, les pré-lecteurs qui utilisent des stratégies de proche en proche, apparaissaient fortement contraints par les caractéristiques physiques du modèle externe à reproduire. De plus, celles-ci ne témoignaient pas d'une flexibilité liée à des variables contextuelles comme observé pour les enfants plus âgés. Cependant, les effets liés à la

signification attribuée à la figure doivent être interprétés avec précaution dans la mesure où celle-ci a été recueillie après la production. Des recherches futures sont nécessaires afin de manipuler expérimentalement les facteurs sémantiques et ainsi d'analyser plus précisément leur implication.

Dans l'ensemble, l'étude présente révèle une influence culturelle croissante sur la directionnalité graphique en fonction de l'expérience de l'écrit. Certains résultats mériteraient d'être confirmés (e.g., en incluant des gauchers) et d'autres clarifiés. En effet, les groupes d'expérience de l'écrit se distinguaient sur deux composantes de l'expérience de l'écrit qui sont l'exposition et la pratique, et également sur des facteurs cognitifs liés à l'âge, ce qui rend l'origine de l'influence culturelle difficilement compréhensible. Cette question est intéressante car certains résultats semblent suggérer que l'exposition à l'écrit et la pratique de l'écrit joueraient chacun un rôle spécifique dans le processus d'incarnation culturelle. Le lien exclusif entre la main droite (dominante) et la directionnalité locale de gauche à droite, chez les enfants les plus âgés, suggère que l'émergence d'une influence culturelle dépend d'une pratique active de l'écrit. Ainsi, quand les contraintes biomécaniques sont fortes, l'expérience de l'écrit serait incarnée dans la main qui joue un rôle actif dans l'écriture. À l'inverse, la directionnalité globale de gauche à droite avec la main non dominante (gauche) chez les enfants âgés de 8 ans suggère que le rôle des mains (active vs. passive) n'est pas décisif quand les contraintes biomécaniques sont faibles. Une expérience limitée de l'écrit pourrait expliquer que chez les enfants âgés de 6 ans l'influence culturelle sur la directionnalité globale soit restreinte à la main dominante droite. Il a déjà été rapporté dans la littérature que divers degrés d'exposition à l'écrit sont nécessaires pour impacter les performances dans différentes tâches pour lesquelles la demande motrice est limitée (Göbel et al., 2018; Patro et al., 2016). Des recherches futures sont nécessaires afin de dissocier, s'il y a lieu, la

contribution spécifique de l'exposition et de la pratique de l'écrit dans la directionnalité graphique.

L'analyse des performances a montré que la qualité du tracé était meilleure quand l'orientation de la forme correspondait à la direction de l'écriture (i.e., orientation à droite). Le même résultat a déjà été rapporté par Anouallah (cité dans Bellaj, 2011) dans une étude où des enfants tunisiens scolarisés à l'école élémentaire avaient à recopier la FCR-A selon l'orientation originale (à droite) et dans l'orientation opposée (à gauche), c'est-à-dire, dans le sens de la transcription des langues arabes. La qualité de tracé était meilleure lorsque l'orientation de la figure était congruente avec la direction de l'écriture arabe (i.e., à gauche). Ainsi, cela suggère qu'une orientation implicite vers la droite rend la FCR-A biaisée culturellement en faveur des performances de personnes qui ont des habitudes d'écriture de gauche à droite. La relation entre l'orientation de la forme à droite et la qualité de tracé a été observée dans d'autres contextes. Dans une étude comparant des adultes colombiens lettrés et illettrés, Ardila, Rosselli et Rosas (1989), ont montré que les adultes lettrés adhéraient significativement à une directionnalité globale de gauche à droite tandis que les illettrés produisaient une directionnalité de droite à gauche habituellement retrouvée chez les enfants avant l'âge de 7 ans (Waber & Holmes, 1985). La congruence entre l'orientation de la forme et la direction de l'écriture bénéficiait aux adultes lettrés dont les performances surpassaient celles des adultes illettrés.

Dans l'ensemble, de tels résultats confirment plus globalement que l'évaluation psychologique peut être culturellement biaisée par des outils qui favorisent des compétences promues dans des contextes culturels spécifiques (Bellaj, 2011). Les recherches interculturelles ont montré depuis les années 70 que l'évaluation psychologique développée par la communauté scientifique occidentale est caractérisée par un biais culturel implicite. La validité de l'évaluation psychologique requiert une adaptation adéquate du contenu et du

format des tests psychologiques aux expériences culturelles des personnes (Troadec et al., 2011).

POINTS CLES DE L'ETUDE 1

- > La directionnalité de l'écrit émerge dans le dessin à partir de 6 ans, dans des situations congruentes avec l'écriture.
- > Au niveau local et intermédiaire : La directionnalité de l'écrit s'exprime uniquement avec la main droite dominante.
- > Au niveau global et intermédiaire : L'orientation de la forme est un facteur modulateur à court terme du facteur culturel uniquement lorsqu'une signification concrète est attribuée à la forme.
- > La directionnalité de l'écrit peut biaiser les performances à des tâches perceptivo-motrices qui nécessitent notamment la gestion d'une forme asymétrique.

Etude 2.

Acquisition de la directionnalité de l'écrit dans le développement comparé de l'écriture et du dessin

1. CONTEXTE

L'acquisition de l'écriture en tant qu'acte perceptivo-moteur bénéficie d'habiletés grapho-motrices développées en amont et parallèlement dans le cadre du dessin (Chartrel & Vinter, 2004). Deux modes de contrôle du mouvement classiquement distingués s'exercent sur le système effecteur grapho-moteur (Gentaz, 2009) : 1) un contrôle proactif intervient dans l'anticipation et le paramétrage du mouvement sur la base d'un programme moteur inscrit en mémoire, en s'appliquant de manière privilégiée aux mouvements morpho-cinétiques (Meulenbroek & Van Galen, 1989) ; 2) un contrôle rétroactif assure l'ajustement des mouvements graphiques sur la base de feedbacks visuels et proprioceptifs, en étant davantage mobilisé par des mouvements topo-cinétiques (Smyth & Silvers, 1987). Ces deux modes de contrôle se distinguent sur des paramètres dynamiques du processus graphique. Le contrôle rétroactif est caractérisé par des mouvements plus lents et plus larges, une pression et une dysfluence ainsi qu'un nombre de pauses plus important que le contrôle proactif. Ceci permet de maximiser la prise d'informations sensorielles, visuelles et/ou proprioceptives (Hepp-Reymond et al., 2009). Cependant, la participation relative de ces deux modes de contrôle à l'activité graphique n'est pas exclusive et dépend notamment de la nature de la tâche et du degré d'expertise des scripteurs (Gentaz, 2009).

Tout en partageant le même système effecteur, le dessin et l'écriture sont deux activités graphiques qui renvoient à des systèmes de notation de nature différente et dont la différenciation est fondamentale pour le développement des compétences écrites. Elle concernerait précocement la structure externe, i.e., les caractéristiques perceptivo-motrices,

de ces deux systèmes, avant leur structure interne, i.e., leur fonction référentielle et de communication (Landsmann & Karmiloff-Smith, 1992). La structure externe de l'écriture fait apparaître des caractéristiques universelles, partagées par tous les systèmes d'écriture, et des spécificités culturelles qui imposent un fort degré de contrainte sur les mouvements (Zesiger et al., 1997). Ainsi, dans l'écriture des langues latines, des formes issues d'un répertoire fermé sont agencées horizontalement de gauche à droite. Par comparaison, les contraintes imposées aux mouvements de dessin sont minimales et non explicites. Les éléments graphiques du dessin forment un ensemble ouvert et peuvent être agencés librement dans l'espace. Enfin, aucune direction conventionnelle n'est imposée aux tracés. Cependant, des règles de production motrice ou « grammaire de l'action » (Goodnow & Levine, 1973) qui spécifient une séquentialité et une directionnalité des mouvements peuvent être observées : le tracé d'une forme débute par le point le plus haut à gauche avec le tracé d'une ligne verticale ; les lignes verticales sont tracées de haut en bas et ; les lignes horizontales sont tracées de gauche à droite. Jusqu'à 6 ans, ces règles de production sont communes à tous les systèmes de représentation graphique (Simner, 1981) et peuvent être influencées par des contraintes biomécaniques inhérentes à la dominance manuelle aussi bien en écriture (Simner, 1984) qu'en dessin (Picard, 2011). Ainsi, les droitiers tracent spontanément de gauche à droite et gauchers de droite à gauche (Reed & Smith, 1961). Alors que les tendances directionnelles promues par les facteurs biomécaniques restent stables dans le temps pour ce qui est du tracé des lignes, celles impliquées dans le tracé des cercles subissent un changement dans le développement. Les enfants droitiers tracent les cercles dans le sens horaire jusqu'à 5 ans où une directionnalité antihoraire est privilégiée (Glenn, Bradshaw, & Sharp, 1995; Van Sommers, 1984). Pour les gauchers, un passage d'une directionnalité antihoraire à horaire se manifeste aux alentours de 10 ans (Glenn et al., 1995). A partir de 6 ans, l'apprentissage systématisé et intensif de l'écrit s'accompagne d'une introduction progressive à un système de

référence horizontal culturellement déterminé (Kebbe & Vinter, 2013). Dans notre système d'écriture d'origine gréco-latine, les enfants vont ainsi progressivement se conformer à une direction gauche-droite dans les traitements visuo-moteurs, laquelle voit sa stabilité augmenter avec le degré de pratique de l'écrit (Ferretti et al., 2008) et ce, indépendamment de la dominance manuelle (Kebbe & Vinter, 2013). Egalement, l'écriture va introduire des changements dans les règles de production graphiques, tel l'usage du sens horaire imposé dans le tracé des lettres arrondies. Cette nouvelle règle est transférée aux autres systèmes graphiques et peut prendre l'ascendant sur les contraintes cognitives ou biomécaniques initialement dominantes (Van Sommers, 1984). Ainsi, à partir de 6 ans, les enfants privilégient une directionnalité antihoraire, alignée sur la direction de l'écriture, à une directionnalité horaire auparavant dominante (Meulenbroek, Vinter, & Mounoud, 1993). Ces résultats ont été confirmés dans des études interculturelles développementales chez l'enfant (Fagard & Dahmen, 2003) et des études comparatives auprès d'adultes lettrés et illettrés (Vaid et al., 2002). Dans ces études, les contraintes biomécaniques étaient opérantes lorsque le niveau d'expérience de l'écrit était faible c'est-à-dire chez les enfants pré-lettrés et les adultes illettrés.

Ainsi, les fortes contraintes culturelles exercées sur les mouvements de l'écriture manuscrite facilitent la création d'automatismes moteurs comparativement au dessin. Le développement d'habiletés motrices et la construction de programmes moteurs pour les lettres permettent le passage progressif d'un mode de contrôle principalement proactif (5 ans) à un mode rétroactif (7 ans) lesquels pourront ensuite être coordonnés de manière optimale (à partir de 10 ans) (Meulenbroek & Van Galen, 1988). Ainsi, pour le scripteur expert, l'écriture manuscrite est semi-automatique (Danna & Velay, 2015). Par exemple, chez l'adulte, les paramètres cinématiques de l'écriture restent invariants, que des informations visuelles soient disponibles ou non. Au contraire, chez l'enfant, la suppression des feedbacks visuels affecte la

production manuscrite et ce, de manière plus importante chez les enfants les plus jeunes (Chartrel & Vinter, 2006) avec des effets délétères qui s'expriment par une baisse de la vitesse d'écriture et de la fluidité. En résumé, l'écriture est plus rapide et plus fluide que le dessin car son apprentissage permet, par nature, un contrôle proactif des mouvements.

Adi-Japha et Freeman (2001) ont exploité les différences cinématiques entre l'écriture et le dessin comme marqueur de la séparation graduelle de ces deux systèmes dans le développement. Les auteurs ont utilisé une tâche qualifiée de « quasi-Stroop » pour comparer les productions graphiques d'enfants âgés de 4 à 12 ans dans quatre conditions associant de façon systématique deux modalités graphiques (dessin de formes vs. écriture de lettres) et deux contextes de réalisation (image vs. texte). Les enfants ont eu précisément à tracer deux formes communes au dessin et à l'écriture (ronds vs. « O » ; dents vs. « V ») dans une image ou au sein d'un texte. Ce protocole aboutit à deux conditions congruentes qui sont d'écrire en contexte « texte » et de dessiner en contexte « image » et deux conditions non-congruentes qui sont d'écrire en contexte « image » et de dessiner en contexte « texte ». A 4 ans, l'analyse cinématique des productions montre que la gestion graphique est identique entre les activités d'écriture et de dessin et insensible au contexte de réalisation. Ainsi, l'écriture et le dessin seraient produits à partir de systèmes indifférenciés à cet âge, « les enfants dessinent leurs lettres » (p.112). L'émergence d'une différenciation apparaît à 6 ans par un avantage cinématique de l'écriture sur le dessin (vitesse et fluidité) lorsque le contexte de réalisation est congruent. A cet âge, écrire des lettres nécessite la suppression du dessin. A partir de 9 ans, les systèmes d'écriture et de dessins sont bien différenciés et l'avantage cinématique de l'écriture sur le dessin apparaît indépendamment du contexte de réalisation. Les aspects cinématiques de la production rendent donc compte d'une optimisation de la production écrite parallèlement à la différenciation progressive des systèmes.

L'étude présente exploite le protocole développé par Adi-Japha et Freeman (2000, 2001) chez des enfants âgés de 4 à 10 ans. L'objectif principal de l'étude est d'examiner la différenciation de l'écriture et du dessin dans la gestion de la directionnalité graphique topo-cinétique et morfo-cinétique à travers le tracer de couples de formes communes au dessin et à l'écriture. Les formes impliquaient soit un changement des règles de production graphique entre les deux modes de production (ronds vs. « O ») soit un renforcement de celles-ci (dents vs. « V »). L'intérêt du protocole utilisé est de permettre la comparaison entre les processus d'écriture et de dessin en contrôlant le produit graphique. À notre connaissance, il n'existe aucune comparaison directe de la sorte dans la littérature. Les résultats obtenus permettront donc de fournir des connaissances inédites sur l'acquisition de la directionnalité de l'écrit, notamment en termes d'évolution développementale.

Egalement, des paramètres cinématiques (vitesse et fluidité), la pression du stylo et la longueur du tracé seront recueillis. Les paramètres cinématiques permettent de renseigner le niveau d'automatisation des mouvements et constituent ainsi des marqueurs de la séparation graduelle entre les systèmes d'écriture et de dessin. La pression du stylo et la longueur du tracé seront utilisés comme indicateurs du mode de contrôle du mouvement : une forte pression et une longueur importante du trait servant à maximiser les feedbacks sensoriels dans un mode de contrôle davantage rétroactif que proactif. En ce qui concerne les paramètres cinématiques, nous nous attendons à répliquer les résultats d'Adi-Japha et Freeman (2001) : un avantage cinématique de l'écriture sur le dessin qui émerge à partir de 6 ans dans un contexte de réalisation congruent et qui se renforce indépendamment du contexte à partir de 9 ans. Les paramètres de pression et de longueur devraient être maximaux avec un mode de contrôle rétroactif, qui est dominant pour l'écriture aux alentours de 7-8 ans, et diminuer avec l'installation d'un mode de contrôle davantage proactif, qui est observé pour l'écriture aux alentours de 10 ans (Meulenbroek & Van Galen, 1988). Egalement, l'écriture implique par

nature un contrôle davantage proactif des mouvements par rapport au dessin. Nous nous attendons donc à observer des différences en fonction de la modalité graphique, uniquement à partir de 6 et 9 ans avec une baisse de la pression du stylo et de la longueur du trait qui serait plus forte pour l'écriture que pour le dessin. L'observation conjointe de la directionnalité et des indicateurs présentés en amont permettra également de tester l'hypothèse d'un lien entre l'acquisition de la directionnalité de l'écrit et l'automatisation de l'écriture.

2. METHODE

2.1 Participants

Les participants étaient 80 enfants âgés de 4 à 11 ans et répartis de manière équilibrée en cinq groupes correspondants à une tranche d'âge et un niveau scolaire (Tableau 4). Tous étaient issus de familles francophones et exclusivement exposés à des langues transcrites de gauche à droite. L'étagement des niveaux scolaires permettait de manipuler indirectement le degré d'exposition à l'écrit et de pratique de l'écriture. Tous les participants ont été identifiés comme étant droitiers sur la base d'une épreuve de préférence latérale (ci-après) et l'usage préférentiel et spontané de leur main droite dans les activités graphiques proposées.

Tableau 4 : Caractéristiques des participants

	4	5	6	8	10
<i>N</i>	16	16	16	16	16
Age (mois)	55.94 (3.17)	70.38 (2.58)	83.75 (3.71)	106.88 (3.93)	129.19 (3.06)
Genre (M F)	10 6	10 6	8 8	8 8	8 8
Latéralité	.68 (0.16)	.74 (0.30)	.88 (0.14)	.84 (0.15)	.86 (0.19)
Fluidité	3.73 (1.33)	3.75 (1.39)	15.75 (4.74)	14.5 (5.82)	18.38(4.69)

2.2 Epreuves préliminaires

Trois épreuves préliminaires à la tâche expérimentale ont été proposées aux enfants. Elles visaient à définir les caractéristiques des participants et créer des groupes homogènes par rapport au développement de certaines habiletés psychomotrices.

- Préférence latérale

L'épreuve de latéralité est analogue à celle proposée dans les études précédentes. Les scores moyens pour chaque groupe d'âge sont rapportés dans le Tableau 4. Le score moyen obtenu sur l'ensemble de l'échantillon était de .71 (ET = .21) témoignant d'une forte constance de la préférence latérale à droite.

- Précision visuo-motrice

Une épreuve du subtest de précision visuo-motrice de la NEPSY-II (Korkman, Kirk, & Kemp, 2003) a permis d'évaluer la précision de la coordination oculo-manuelle et la vitesse de la motricité fine. Elle consistait à tracer le plus rapidement une ligne à l'intérieur d'un parcours reliant une voiture à un point d'arrivée sans en dépasser les bords. Le parcours était divisé en 108 sections. La précision du tracé était évaluée à partir du nombre de sections qui comportaient au moins une erreur de tracé. Le temps de tracé (en secondes) était également recueilli. Les performances des enfants de l'échantillon correspondaient aux performances attendues pour chaque groupe d'âge.

- Fluidité grapho-motrice

La fluidité grapho-motrice a été évaluée à l'aide d'une tâche de copie de lettres chronométrée. Les enfants devaient écrire sur une feuille lignée une suite de R et une suite de J. Trois exemples de chaque lettre étaient imprimés au début et à la fin de la ligne pour

préciser l'espacement à respecter et rappeler la forme des lettres. L'épreuve commençait par un entraînement comprenant l'écriture du prénom en trois exemplaires successifs et d'une ligne de T dans les mêmes conditions que pour les lettres tests. Les enfants étaient arrêtés après 30 secondes d'écriture pour chacune des deux lettres. Le score était le nombre moyen de lettres correctement identifiables.

2.3 Tâche expérimentale

Le paradigme élaboré par Adi-Japha et Freeman (2001) a été aménagé pour comparer la production graphique dans quatre conditions associant de façon systématique deux modalités graphiques (dessin de formes vs. écriture de lettres) et deux contextes de réalisation (image vs. texte). Les enfants ont eu à tracer des trois couples de formes communes au dessin et à l'écriture (ronds vs. « O » ; dents vs. « V » dans une image ou dans un texte. Par exemple, pour le couple rond /« O » (Figure 17), les enfants avaient à compléter le mot FOOT dans un texte (condition congruente) ou sur une image (condition non-congruente), et à tracer les hublots d'un bateau (condition congruente) et à faire des trous dans le titre d'un texte (condition non congruente). La forme à reproduire était présentée à l'enfant sur une carte séparée de la feuille de réponse comportant le contexte. Les consignes données à l'enfant en condition congruente d'écriture étaient les suivantes : l'expérimentateur pointait un « O » en disant : « Deux de ceux-là doivent être mis ici (l'expérimentateur montrait l'espace dédié à la réalisation des formes sur la feuille réponse) pour former le mot FOOT ». Le même type de consigne a été utilisé pour chaque condition avec des modifications mineures en fonction du contexte. Les tâches d'écriture et dessin ont été contrebalancées entre les enfants. Au sein de chaque activité (écriture vs. dessin), l'ordre de présentation des conditions (congruentes vs. non congruentes) a été contrebalancé et les formes d'un même couple ont été traitées successivement.

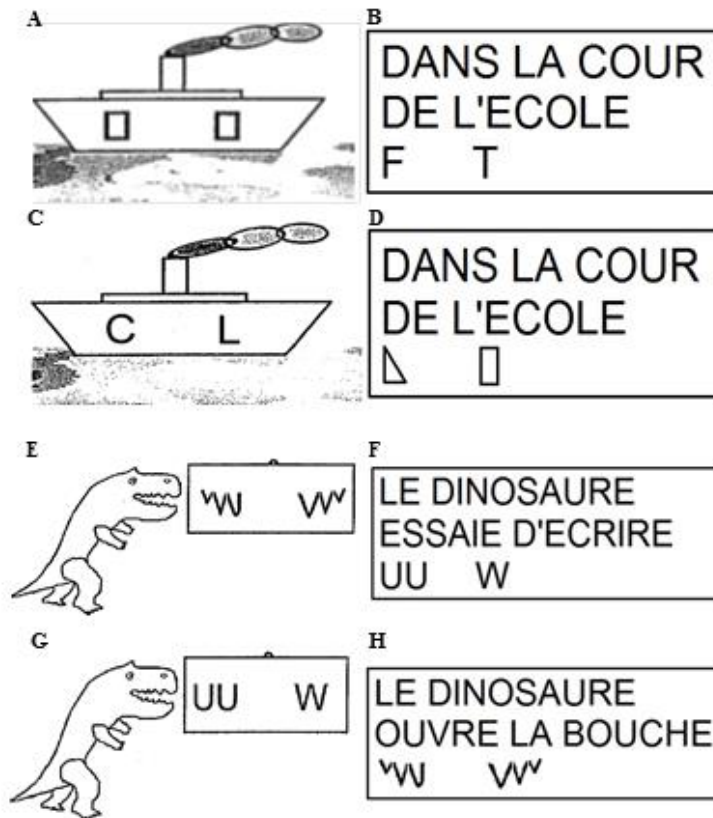


Figure 17 : Contextes de réalisation (image ou texte) dans lesquels les couples de formes devaient être produits en dessin ou en écriture

A : Image-dessin, forme O ; B : Texte-Ecriture, forme O ; C : Image-Ecriture, forme O ; D : Texte-Image, forme O. A et B montrent des conditions congruentes de dessin de hublots dans une image et d'écriture de deux lettres O pour former le mot « FOOT ». C et D montrent des conditions non congruentes d'écriture de deux lettres O pour compléter le nom du bateau sur sa coque et de dessin de trous de souris dans un texte. E : Image-dessin, forme V ; F : Texte-Ecriture, forme V ; G : Image-Ecriture, forme V ; H : Texte-Image, forme V. E et F montrent des conditions congruentes de dessin des dents du dinosaure dans une image et d'écriture de deux lettres V pour représenter l'écriture du dinosaure. G et H montrent des conditions non congruentes d'écriture de paires de lettres dans une image et de dents pour illustrer un texte.

L'enregistrement des productions en temps réel à l'aide d'un crayon numérique sous technologie Anoto[®] permettait de recueillir la directionnalité, la vitesse et la fluidité des tracés ainsi que la pression du stylo. La cotation a été réalisée indépendamment pour les formes O et V.

Directionnalité topo-cinétique : Elle correspond à l'ordre spatio-temporel de tracé du couple de formes. Elle est cotée selon deux modalités : gauche-droite si la deuxième forme a

été tracée à droite de la première ; droite-gauche si la deuxième forme a été tracée à gauche de la première.

Directionnalité morpho-cinétique : Elle correspond à la trajectoire de tracé de chaque primitive graphique qui compose la forme.

Vitesse : La vitesse mesurée en millimètres par seconde a été directement extraite sous format numérique par le logiciel *Eliau*[®].

Fluidité : La mesure de la fluidité du tracé correspondait au nombre d'alternances de vitesse au cours du tracé d'un caractère et pouvait être extraite d'une représentation graphique proposée par le logiciel *Eliau*[®]. Une bonne fluidité est caractérisée par un score faible et inversement.

Pression : La pression a été directement extraite sous format numérique par le logiciel *Eliau*[®].

Longueur du trait : La longueur moyenne des traits en millimètres étaient directement extraite sous format numérique par le logiciel *Eliau*[®]

3. RESULTATS

Dans un premier temps, des analyses de Chi-deux ont permis d'examiner le développement de la directionnalité graphique en testant les différences entre les âges pour chaque condition graphique \times contexte. Des analyses par âge ont ensuite été menées à l'aide de tests Q de Cochran afin d'investiguer l'effet de la condition issue du croisement tâche \times contexte sur la directionnalité. Des tests de McNemar réalisés par contexte au sein de chaque groupe d'âge ont permis de comparer la directionnalité mobilisée par les activités de dessin et d'écriture. Les formes O et V ont été analysées indépendamment.

Les mesures cinématiques de vitesse et de fluidité, de pression et de longueur ont chacune été soumises à des analyses de variances séparées pour chaque forme avec l'âge à

cinq modalités (4, 5, 6, 8, 10) comme facteur inter-participants et la modalité graphique (dessin, écriture) et le contexte (image, texte) comme facteurs intra-participants. Des tests post-hoc de Tukey ont été réalisés afin de situer les différences.

3.1 Directionnalité

- Directionnalité topo-cinétique

Pour chaque couple de formes, la directionnalité topo-cinétique gauche-droite est choisie en moyenne à plus de 87,5% à tous les âges et ce, quelle que soit la condition modalité graphique \times contexte ($p_s > .29$).

- Directionnalité morpho-cinétique

Pour la forme O, il existe des différences de directionnalité morpho-cinétique entre les âges quelle que soit la condition modalité graphique \times contexte ($p_s < .004$). Des analyses post-hoc ont permis de situer ces différences entre les enfants de 4 ans, qui adhèrent préférentiellement à une directionnalité horaire, et les enfants de 6, 8 et 10 ans qui adhèrent fortement à une directionnalité anti-horaire ($p_s < .05$). Les enfants de 5 ans se différencient des enfants plus âgés uniquement dans la condition dessin-texte ($p_s < .01$), la seule où ils produisent préférentiellement une directionnalité horaire.

Les productions d'écriture et de dessin ont ensuite été comparées pour chaque contexte de réalisation à l'aide du test de McNemar. En contexte texte, la directionnalité morpho-cinétique ne varie pas entre les deux modalités graphiques à 4, 6, 8 et 10 ans ($p_s = 1$). Chez les enfants de 5 ans la directionnalité morpho-cinétique varie avec la modalité graphique: gauche-droite pour l'écriture et droite-gauche pour le dessin (Figure 18). Cette variation observée n'est pas statistiquement significative ($p = .12$) et un test binomial montre qu'il n'existe pas d'adhésion à une directionnalité spécifique quel que soit la modalité graphique ($p_s > .21$).

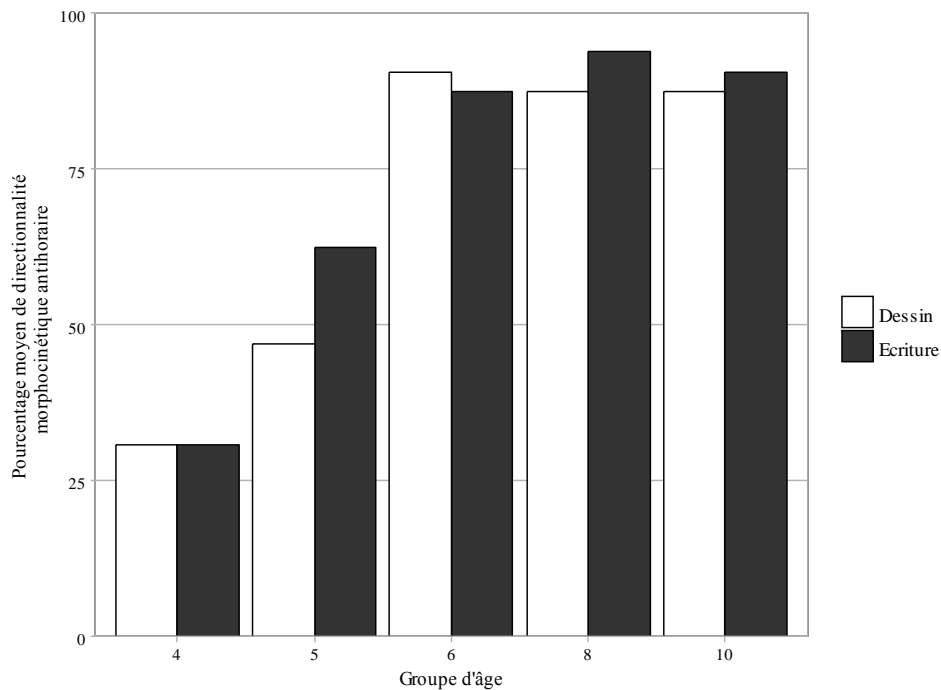


Figure 18 : Pourcentage moyen de directionnalité antihoraire en fonction de la modalité graphique par âge.

Des Q de Cochran ont permis de tester la sensibilité à la congruence modalité graphique \times contexte. Il n'existe pas de variation significative de la directionnalité morpho-cinétique entre les conditions modalités graphique \times contexte quel que soit l'âge ($p_s > .13$).

Pour la forme V, l'adhésion à une directionnalité morpho-cinétique de gauche à droite est massive et ne varie significativement ni entre les âges (4 ans : 75% ; 5 ans : 83% ; 6 ans : 97% ; 8 ans : 90% ; 10 ans : 100% ; $p_s > .07$), ni entre les modalités graphiques (dessin vs. écriture) ($p_s > .25$), ni entre les conditions modalité graphique \times contexte ($p_s > .08$).

3.2 Mesures cinématiques

- Développement de la vitesse et de la fluidité graphique

Il existe un effet principal de l'âge sur la vitesse pour les formes O et V : respectivement, $F(4, 75) = 8.12$, $p < .001$, $\eta^2_G = .24$, $F(4, 75) = 9.72$, $p < .001$, $\eta^2_G = .30$. Pour

chacune de ces deux formes, les enfants âgés de 10 ans sont significativement plus rapides que les autres groupes d'enfants plus jeunes ($p_s < .001$), à l'exception du groupe de 8 ans pour la forme V ($p = .009$).

La fluidité graphique progresse significativement entre les groupes d'âge pour la forme V, $F(4, 75) = 9.54, p < .001, \eta^2_G = .23$. Les enfants âgés de 8 et 10 ans se distinguent par une meilleure fluidité graphique que les enfants âgés de 4 et 5 ans ($p_s < .009$). Le groupe des 6 ans montre également une fluidité graphique significativement meilleure que celle des 4 ans ($p = .03$). Pour la forme O, le nombre d'inversions de vitesse augmente entre 4 et 6 ans et diminue entre 6 et 10 ans. L'effet de l'âge n'est cependant pas significatif ($p = .11$).

- Différences cinématiques entre le dessin et l'écriture

L'analyse de variance révèle un effet principal significatif de la modalité graphique de production sur la vitesse de tracé pour les formes O et V (Figure 19 et 20): respectivement, $F(1, 75) = 11.86, p < .001, \eta^2_G = .02$ et $F(1, 75) = 19.04, p < .001, \eta^2_G = .02$. L'écriture est en

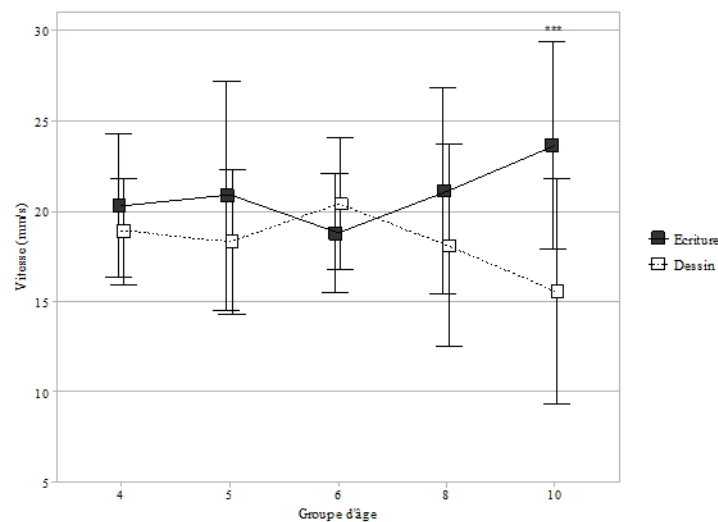


Figure 19 : Effet de la modalité graphique sur la vitesse en fonction de l'âge pour la forme O, *** $p < .001$

moyenne plus rapide que le dessin, respectivement $M = 20.96$ ($ET = 12.02$) et $M = 18.27$ ($ET = 9.89$). Cet effet est dépendant de l'âge pour O ($F(4, 75) = 4.02, p = .005, \eta^2_G = .03$) et pour

V ($F(4, 75) = 6.40, p < .001, \eta^2_G = .02$). Il apparaît à partir de 10 ans pour la forme O ($p < .001$) et de 8 ans pour la forme V ($p_s < .03$).

La modalité graphique a également un effet significatif sur la fluidité pour la forme V : $F(1, 75) = 11.73, p = .001, \eta^2_G = .02$. L'écriture provoque en moyenne plus d'inversions de vitesse que le dessin, respectivement, $M = 4.44 (ET = 1.74)$ et $M = 4,0 (ET = 1.76)$. Il n'existe pas d'effet significatif de la modalité graphique pour la forme O sur l'ensemble de l'échantillon ($p = .39$).

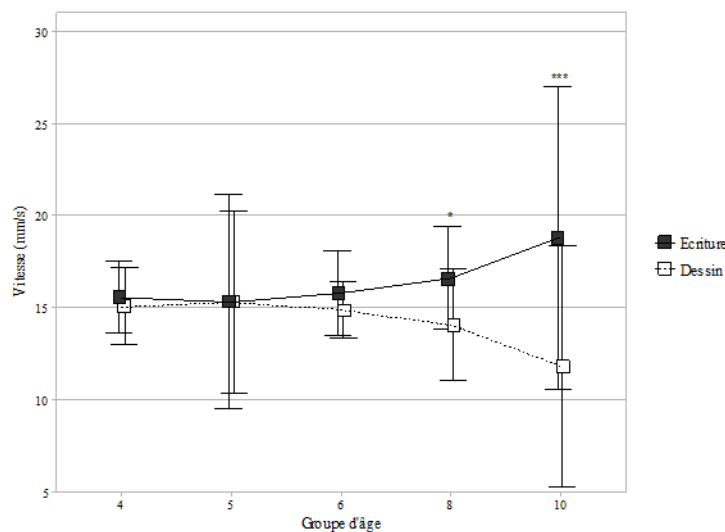


Figure 20 : Effet de la modalité graphique sur la vitesse en fonction de l'âge pour la forme V. * $p < .05$. *** $p < .001$.

- Sensibilité à la congruence modalité graphique \times contexte

L'interaction entre la modalité graphique et le contexte n'a pas d'effet significatif sur la vitesse ($p_s > .16$). En ce qui concerne la fluidité, une interaction double entre la modalité graphique, le contexte et l'âge apparaît pour la forme V, $F(4, 75) = 3.01, p = .02, \eta^2_G = .02$. Cet effet est tendanciel à 6 ans ($p = .06$) avec un nombre d'inversions de vitesse plus important en situation de congruence pour l'écriture (Texte : $M = 5.17, ET = 1.32$; Image : $M = 3.97, ET = 0.87$) que pour le dessin (Texte : $M = 3.77, ET = 1.54$; Image : $M = 3.69, ET =$

1.65). Elle n'apparaît pas significative pour les autres âges ($p_s > .10$). Pour la forme O, il n'existe pas d'effet d'interaction double ($p_s > .49$).

3.3 Pression

- Développement de la pression graphique

L'âge a un effet significatif sur la pression graphique pour les formes O et V : respectivement, $F(4, 75) = 10.99, p < .001, \eta^2_G = .21, F(4, 75) = 5.10, p < .001, \eta^2_G = .11$. Pour chacune de ces deux formes, les enfants âgés de 4 ans se distinguent par une pression significativement moins forte que les enfants plus âgés (6, 8 et 10 ans) (O et V : $p_s > .20$). Pour la forme O, les enfants de 5 ans se distinguent également de ceux de 6 ans et de 10 ans ($p_s < .04$), pour lesquels la pression est la plus importante. Cependant ils ne se distinguent pas des enfants de 8 ans ($p = .82$) pour lesquels la pression est en baisse.

- Différences de pression entre le dessin et l'écriture

Il existe un effet principal de la modalité graphique pour la forme V : $F(1, 75) = 17.19, p < .001, \eta^2_G = .04$. La pression est moins importante pour l'écriture que pour le dessin, respectivement, $M = 110.54 (ET = 5.27)$ et $M = 112.57 (ET = 5.27)$. Pour la forme O, l'effet principal de la modalité graphique n'est pas significatif, $p = .88$.

- Sensibilité à la congruence modalité graphique \times contexte

Une interaction double entre la modalité graphique, le contexte et l'âge apparaît pour la forme O, $F(4, 75) = 2.79, p = .03, \eta^2_G = .02$. Cet effet est significatif à 8 ans ($p = .005$) avec une pression plus importante en situation de congruence pour le dessin (Texte : $M = 112.8, ET = 4.37$; Image : $M = 115.56, ET = 3.24$) qui n'apparaît pas pour l'écriture (Texte : $M = 114.06, ET = 2.67$; Image : $M = 114.38, ET = 2.63$). L'interaction double n'apparaît pas aux

autres âges ($p_s > .11$). L'interaction modalité graphique \times contexte \times âge n'est pas significative pour la forme V ($p = .80$).

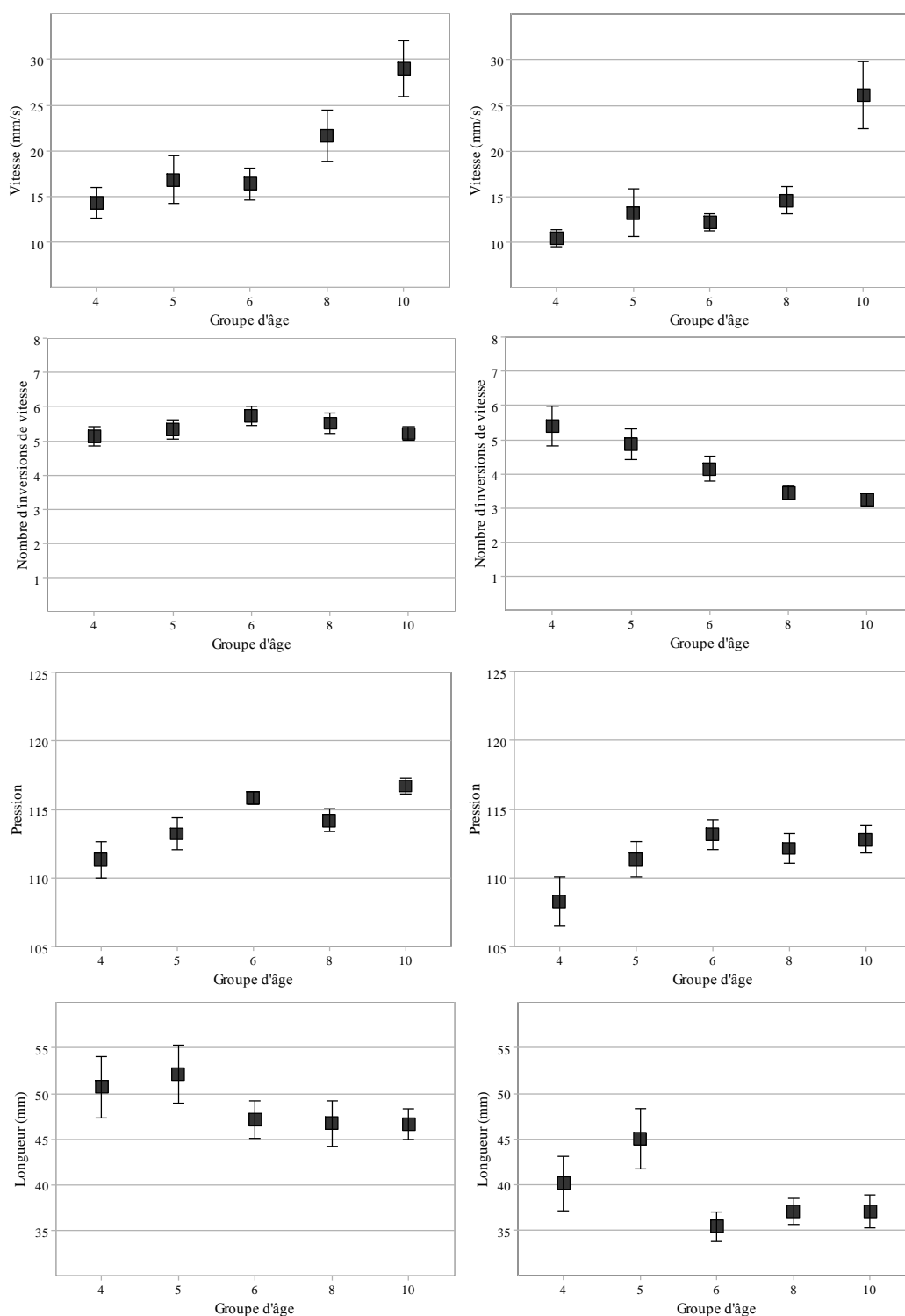


Figure 21 : Paramètres de la production en fonction de l'âge pour la forme O (à gauche) et V (à droite)

3.4 Longueur

- Effet développemental

L'âge a un effet significatif sur la longueur moyenne du trait pour la forme V : $F(4, 75) = 6.88$, $p < .001$, $\eta^2_G = .13$. La longueur moyenne du trait est significativement plus importante à 5 ans par rapport aux autres âges ($p_s < .002$) à l'exception de 4 ans ($p_s = .12$). La distribution des profils de longueur en fonction de l'âge est identique pour la forme O, mais les différences entre les âges ne sont pas significatives ($p = .12$).

- Différences de longueur entre dessin et écriture

Il existe un effet principal de la modalité graphique sur la longueur moyenne du trait pour la forme V, $F(1, 75) = 17.19$, $p < .001$, $\eta^2_G = .04$. Les traits sont moins longs en écriture qu'en dessin, respectivement : $M = 37.11$ ($ET = 9.36$) ; $M = 40.78$ ($ET = 10.24$). La modalité graphique n'affecte pas significativement la longueur moyenne des traits pour la forme O ($p = .40$).

- Sensibilité à la congruence mode production \times contexte

Pour les formes O et V, il n'existe pas d'interaction double entre le mode de production, le contexte et l'âge ($p_s > .12$)

3.5 Directionnalité et cinématique

Les associations entre les mesures cinématiques et la directionnalité morpho-cinétique ont été testées chez les enfants de 5 ans pour la forme O en fonction du mode de production. Ces associations n'ont pu être testées pour les autres groupes d'âge ni pour la forme V du fait d'une adhésion massive à une directionnalité morpho-cinétique spécifique.

Une association tendancielle apparaît à 5 ans pour l'écriture, $r_{pb} = .30$, $N = 32$, $p = .09$: la directionnalité antihoraire est associée à une vitesse plus importante que la directionnalité horaire. En dessin, cette association entre vitesse et directionnalité n'est pas significative, $r_{pb} = .09$, $N = 32$, $p = .63$.

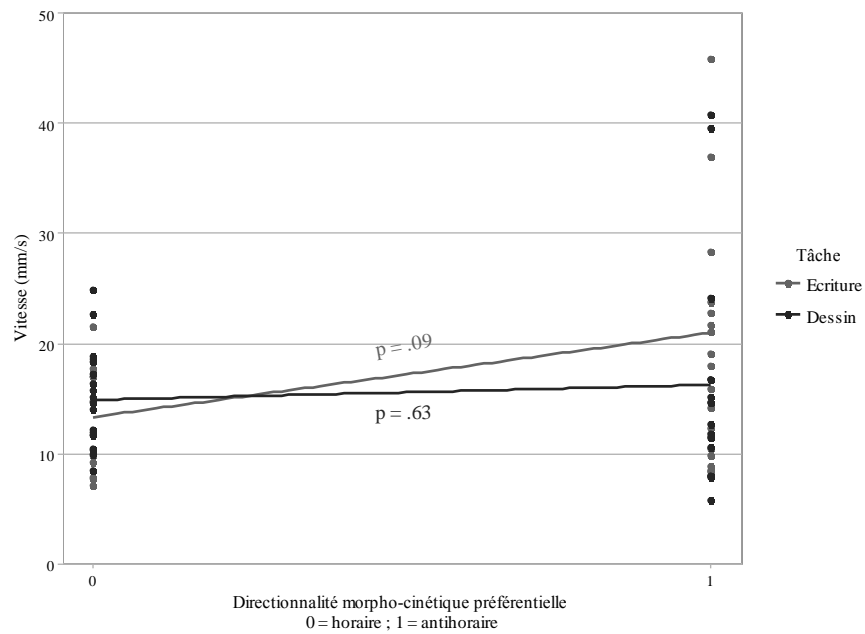


Figure 22 : Association entre la vitesse de tracé et la directionnalité morpho-cinétique à 5 ans pour la forme O

4. DISCUSSION

L'objectif principal de l'étude était d'examiner la différenciation de l'écriture et du dessin dans la gestion de divers paramètres dynamiques, notamment la directionnalité graphique topo-cinétique et morpho-cinétique, à travers le tracé de couples de formes communes au dessin et à l'écriture.

Les résultats obtenus montrent une forte adhésion dès 4 ans à une directionnalité topo-cinétique de gauche à droite. Ce résultat apparaît en faveur d'une acquisition précoce des caractéristiques culturelles des systèmes d'écriture (Pollo et al., 2009; Treiman et al., 2007, 2015) bien qu'à cet âge l'expérience de l'écrit repose essentiellement sur des activités informelles. Les enfants seraient alors capables d'extraire des connaissances implicites sur le système d'écriture notamment à travers la lecture médiatisée (Göbel, Shaki, & Fischer, 2011). Cependant, l'adhésion à une directionnalité de gauche à droite peut également être interprétée comme une manifestation de contraintes biomécaniques étant donné que l'échantillon de l'étude était exclusivement composé d'enfants droitiers. L'étude présente ne permet cependant pas de démêler le poids relatif de chacun de ces deux facteurs. Cependant, les résultats obtenus à l'étude 1, suggèrent une influence faible des contraintes biomécaniques sur la mobilisation d'une directionnalité au niveau topo-cinétique. À cet égard, des recherches complémentaires incluant des gauchers sont souhaitables.

En ce qui concerne la directionnalité morpho-cinétique, les formes impliquaient soit un changement des règles de production graphique entre les deux modalités graphiques (ronds vs. « O ») soit un renforcement de celles-ci (dents vs. « V »). Pour la forme V, il existait dès 4 ans une adhésion massive à une directionnalité morpho-cinétique de gauche à droite ne permettait pas d'observer de différenciation entre les modalités graphiques dans la gestion de la directionnalité. Ainsi, aucun changement quantitatif lié à un renforcement progressif de la directionnalité de l'écrit n'était observé pour la forme V. Egalement, la dominance manuelle

constituait un facteur confondu en référence aux contraintes biomécaniques. À l'inverse, un changement qualitatif apparaît au cours du développement pour la forme O. Indépendamment de la modalité graphique, les enfants de 4 ans traçaient majoritairement la forme dans le sens horaire alors qu'une forte augmentation de la directionnalité antihoraire apparaît entre 5 et 7. Le changement du sens de rotation préférentiel des cercles et son renforcement sous l'effet de l'expérience croissante de l'écrit sont des résultats largement rapportés dans la littérature à la fois dans des activités d'écriture (Meulenbroek et al., 1993; Thomassen & Teulings, 1979; Van Sommers, 1984) et de dessin (Glenn et al., 1995). L'inhibition du mouvement initialement privilégié à 4 ans par les enfants droitiers de l'échantillon ne peut être exclusivement expliquée en référence à des changements au niveau biomécanique. En effet, une interaction tendancielle observée entre les modalités graphiques et la vitesse suggère que la directionnalité antihoraire émerge des contraintes éducatives liées à la pratique de l'écrit (Goodnow & Levine, 1973). Cependant, les résultats obtenus dans l'étude ne permettent pas d'attester clairement de l'installation d'une directionnalité spécifique pour l'écriture ni de son influence dans la gestion de la directionnalité graphique, probablement du fait de la porosité des deux systèmes en émergence. Des mesures, rapprochées dans le temps, de la directionnalité des formes courbes pour le dessin et l'écriture dans la fenêtre développementale entre 5 et 6 ans, permettraient sans doute de mieux capturer le développement de la directionnalité de l'écrit et ses interactions.

En ce qui concerne les indicateurs du mode de contrôle moteur (pression et longueur), les résultats de l'étude permettent de mettre en évidence le passage d'un contrôle proactif à rétroactif entre 5 et 6 ans rapporté dans la littérature (Meulenbroek & Van Galen, 1988). À cet âge, une meilleure exploitation des feedbacks sensoriels permettrait une augmentation de la pression, une diminution de la longueur du trait et potentiellement l'acquisition de la directionnalité de l'écrit sous l'effet de l'instruction. Ce n'est qu'après 8 ans que le tracé des

lettres contrairement aux formes bénéficierait d'un contrôle proactif du mouvement lié à la création de programmes moteurs pour les lettres. En effet, bien que les enfants produisent des couples de formes pour le dessin et l'écriture qui sont très précocement comparables (i.e., invariance de la longueur du trait et de la directionnalité), des différences cinématiques apparaissent entre les modalités graphiques. Entre 8 et 10 ans, l'écriture devient plus rapide que le dessin. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Adi-Japha et Freeman (2001) ainsi que des données en neuropsychologie (Anderson et al., 1990) suggérant l'existence de deux systèmes distincts et autonomes pour l'écriture et le dessin.

POINTS CLES DE L'ETUDE 2 :

- > L'émergence de la directionnalité de l'écrit apparaît à 5 ans avec l'apparition du sens antihoraire pour le tracé des formes courbes.
- > Il existe une invariance à des paramètres dynamiques (longueur du trait et directionnalité) à partir de 6 ans.
- > Entre 8 et 10 ans, l'écriture devient plus rapide que le dessin suggérant l'existence de systèmes bien différenciés.

Etude 3.a.

Etude comparative des paramètres dynamiques de l'écriture en miroir et de l'écriture conventionnelle chez l'enfant pré-lettré

1. CONTEXTE

L'apprentissage initial de l'écrit fait apparaître des manifestations spontanées et transitoires d'écriture en miroir de lettres et de chiffres qui témoignent des difficultés de production de formes asymétriques chez le jeune enfant. Les premières recherches dans le domaine ont expliqué l'écriture en miroir par des facteurs endogènes tels que la dominance manuelle à gauche, un déficit spatial ou des difficultés d'apprentissage. Egalement, plusieurs théories ont proposé une explication unique des écritures en miroir en s'appuyant principalement sur des cas pathologiques de lésion ou d'affection de l'hémisphère gauche (Della Sala & Cubelli, 2007; Heilman et al., 1980; Orton, 1925). Des recherches récentes chez le jeune enfant ont exclu ces premières hypothèses. Notamment, des comparaisons empiriques récentes ne rapportent pas de différences de prévalence des écritures en miroir selon la dominance manuelle des enfants (Cubelli & Della Sala, 2009; Della Sala & Cubelli, 2007; Fischer & Koch, 2016b; Fischer & Tazouti, 2012). Egalement, les écritures en miroir apparaissent dans l'acquisition typique de l'écrit entre 3 et 7 ans chez l'enfant sans qu'elles ne soient associées à des difficultés scolaires ou à un déficit ultérieur en lecture (Fischer & Tazouti, 2012; Johansson, 2005; Simner, 1982). La nature transitoire des écritures en miroir au cours de l'acquisition typique de l'écrit est corroborée par des données comportementales (Pegado et al., 2011) et en neuro-imagerie (Cohen et al., 2000, 2003) qui convergent autour d'un processus de désapprentissage (Pegado, Nakamura, Cohen, & Dehaene, 2011) ou d'inhibition (Ahr, Houdé, & Borst, 2016) de la généralisation en miroir. Les résultats obtenus

dans le cadre de ces recherches suggèrent que l'apprentissage des formes de l'écrit se réalise en deux étapes successives. Au cours de l'acquisition initiale de l'écrit, le traitement visuel des lettres et des chiffres active les mêmes aires cérébrales que celles impliquées dans la reconnaissance des objets et des visages. A cette première étape, les enfants connaissent les composantes graphiques de la forme de la lettre mais pas son orientation du fait d'une propriété intrinsèque du système visuel à traiter les images latérales comme identiques (Corballis & Beale, 1976). Ce phénomène de généralisation en miroir des images latérales est délétère dans le traitement des formes de l'écrit en particulier les formes de lettres qui diffèrent uniquement dans leur orientation (e.g., b et d). Ainsi, les erreurs en miroir fréquemment observées chez le jeune enfant seraient dues à l'absence de représentation de l'orientation des formes de l'écrit. Dans une seconde étape, le traitement de l'orientation des lettres est rendu possible par recyclage neuronal (Cohen & Dehaene, 2004; Dehaene et al., 2010) de structures corticales du système ventral visuel gauche connues sous le nom de forme visuelle des mots. Elles se spécialiseraient progressivement et sous l'effet de l'instruction de la reconnaissance des objets et des visages à l'identification des caractères de l'écrit. Bien que l'hypothèse du recyclage neuronal fournisse une explication convaincante sur l'origine des écritures en miroir, elle ne permet pas de rendre compte de leur nature. Notamment, il est aujourd'hui largement admis dans la littérature que les écritures en miroir chez l'enfant concernent de manière prédominante les caractères orientés à gauche et ce, dès lors que les enfants ont atteint un certain niveau d'expérience de l'écrit (Treiman & Kessler, 2011). Treiman et Kessler (2011) s'appuient sur la notion d'apprentissage statistique pour expliquer la sélectivité des écritures en miroir aux caractères orientés à gauche. Dans nos sociétés lettrées, les enfants sont exposés de manière extensive à l'écrit et seraient très tôt capables d'en extraire des caractéristiques générales, notamment le fait que la plupart des lettres soit orientées à droite. Cette connaissance implicite serait alors activée dans le traitement des

formes de l'écrit dès lors que les enfants ne disposent pas en mémoire de connaissances explicites sur leur orientation. Au-delà des caractéristiques des formes de lettres, les écritures en miroir apparaissent également influencées par la directionnalité du système d'écriture. L'écriture impose de fortes contraintes sur les mouvements des doigts et des mains à travers les composantes directionnelles du système d'écriture: la composante morpho-cinétique qui correspond à la trajectoire de tracé des formes individuelles (les lettres) et la composante topo-cinétique qui se réfère à la direction de tracé d'une séquence de formes (les mots et les phrases). Des recherches montrent qu'il est possible de favoriser l'apparition d'écritures en miroir chez le jeune enfant en imposant une contrainte spatiale qui incite à une directionnalité topo-cinétique contraire à la directionnalité conventionnelle dans un système d'écriture donné (e.g., Cornell, 1985). En comparant une condition d'écriture conventionnelle de gauche à droite à une condition artificielle d'écriture de droite à gauche chez des enfants français, Fischer (2017a) a pu montrer que la nature des erreurs en miroir variait en fonction de la directionnalité de l'écriture : les caractères orientés à gauche étaient plus fréquemment écrits en miroir dans la condition conventionnelle versus artificielle tandis que les caractères orientés à droite étaient plus fréquemment écrits en miroir dans la condition artificielle versus conventionnelle. Ce résultat récent corrobore la proposition théorique de Fischer et son équipe (Fischer, 2011, 2013; Fischer & Koch, 2016b; Fischer & Tazouti, 2012) selon laquelle la combinaison de l'orientation des caractères et de la directionnalité de l'écriture promeut une règle implicite d'écriture à droite dans notre culture. Au cours de la période de dé-généralisation en miroir, les enfants s'appuieraient sur ces connaissances implicites, les poussant à inverser l'orientation des caractères orientés à gauche. De plus, les observations récentes de Fischer (2017a) ont permis de mettre en avant le rôle prédominant de la direction de l'écriture dans les écritures en miroir et de formuler une explication universelle des écritures en miroir selon laquelle l'orientation des caractères est biaisée dans la direction de

l'écriture. Il est important de noter que les enfants apprennent également une directionnalité morpho-cinétique à l'école qui apparaît de manière saillante dans le changement du sens de rotation des boucles, d'horaire à antihoraire, au cours de développement (Meulenbroek et al., 1993). Par conséquent, la directionnalité morpho-cinétique constitue un facteur confondu de la direction d'écriture dont la contribution spécifique mériterait d'être clarifiée.

L'étude présente permet de comparer les productions en temps réel et appariées d'écriture conventionnelles et en miroir. A cette fin, des enfants pré-lettrés avaient à apprendre à écrire sous la dictée des lettres et des chiffres qui étaient, soit orientés à gauche soit orientés à droite. Une contrainte spatiale était ensuite imposée à une tâche d'écriture sous dictée afin de manipuler implicitement le produit de l'écriture (écriture conventionnelle vs écriture en miroir) en incitant à une directionnalité topo-cinétique de gauche à droite ou de droite à gauche (Cornell, 1985).

L'étude a été conçue pour répondre à trois objectifs. Premièrement, il s'agissait de tester deux explications théoriques des écritures en miroir chez l'enfant pré-lettré. Selon l'hypothèse de l'apprentissage statistique de l'orientation (Treiman et al., 2014; Treiman & Kessler, 2011), les enfants s'appuieraient sur la connaissance implicite de la prévalence de lettres orientées à droite comparativement aux lettres orientées à gauche. Par conséquent, les lettres orientées à gauche seraient plus fréquemment écrites en miroir que les lettres orientées à droite et ce, quelle que soit la directionnalité topo-cinétique amorcée par la condition spatiale. Selon la règle d'écriture vers la droite (Fischer, 2011, 2013, 2017; Fischer & Koch, 2016b; Fischer & Tazouti, 2012), les enfants produisent les formes de lettres de telle sorte que leur orientation corresponde avec la direction de l'écriture. Conformément aux résultats récents obtenus par Fischer (2017a), nous nous attendons à ce que les écritures en miroir soient limitées aux caractères orientés à gauche avec une directionnalité conventionnelle de gauche à droite et aux caractères orientés à droite avec une directionnalité opposée.

Deuxièmement, l'étude a pour objectif de spécifier l'effet de la direction de l'écriture sur les écritures en miroir chez l'enfant en examinant la directionnalité morpho-cinétique. Enfin, un troisième objectif est d'investiguer les connaissances que possèdent les enfants sur l'orientation des lettres à travers les paramètres cinématiques de la production. Au moins deux hypothèses peuvent être formulées à cet égard. Selon l'hypothèse du recyclage neuronal, les écritures en miroir sont dues à un phénomène de généralisation en miroir dans le développement. Ainsi, les enfants peuvent rappeler la forme des lettres mais pas leur orientation. Selon cette hypothèse, une invariance cinématique entre les productions conventionnelles et les productions en miroir devraient être observée. Ou bien, une connaissance implicite sur l'orientation prédominante des lettres (i.e., à droite) serait activée au cours du processus d'écriture comme suggéré par l'hypothèse de l'apprentissage statistique de l'orientation et ainsi, un avantage cinématique pour les formes orientées à droite pourrait être attendu.

2. METHODE

2.1 Participants

Trente enfants (18 garçons et 12 filles) âgés de 4.25 à 5 ans ($M_{\text{age}} = 4.63$) ont été recrutés au sein de deux classes de moyenne section de maternelle dans une école publique. Aucun ne savait lire ou écrire et leur expérience de l'écrit était limitée à des activités linguistiques et d'écriture informelles. Tous ont été évalués comme étant droitiers sur la base d'une épreuve de préférence latérale et utilisaient préférentiellement et de manière spontanée leur main droite dans les activités graphiques proposées.

L'épreuve de latéralité est analogue à celle proposée dans les études précédentes. Les participants de l'étude ont obtenu un score moyen de 0.86 ($ET = 0.11$) qui témoigne d'une forte constance de la préférence latérale à droite.

2.2 Apprentissage

Les enfants ont eu à apprendre à écrire sous la dictée et de mémoire 11 caractères : 9 lettres et 2 chiffres. Parmi eux, cinq étaient considérés comme orientés à droite (B, E, N, R, S), 4 étaient considérés comme orientés à gauche (3, Z, 1, J) et deux étaient considérés comme symétriques (O, U) par deux échantillons de participants adultes (Fischer, 2017b). Des lettres capitales ont été utilisées car elles sont les plus familières et les plus simples à écrire pour des enfants âgés entre 4 et 5 ans. Aussi, les 9 lettres n'ont pas été apprises individuellement mais étaient incluses dans 5 mots dont la longueur n'excédait pas 5 lettres afin que les enfants puissent mémoriser plus facilement leur orthographe : BISES, NEZ, OURS, JOUE, ROSE. Enfin, les mots retenus ont été intégrés avec les deux chiffres dans une histoire courte et cohérente afin de rendre l'apprentissage plus attractif: « Quand on lui donne 3 BISES sur le NEZ, petit OURS a 1 JOUE ROSE ».

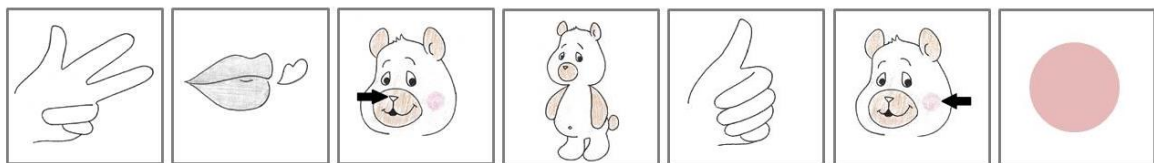


Figure 23 : Les 7 cartes imagées qui ont servi de support visuel à l'histoire

L'apprentissage s'est déroulé en petits groupes (4-5 enfants) sur une période de quatre semaines à raison d'une session de 30 minutes par semaine. Au cours des 4 sessions d'apprentissage, des tâches de difficultés croissantes co-construites avec les enseignants associés au projet ont été proposées aux enfants. La première session consistait en une

exposition visuelle à l'écriture des mots et des chiffres. Tandis que l'expérimentateur racontait l'histoire, des cartes représentant les mots et les chiffres sous forme imagée et écrite étaient présentées dans leur ordre d'apparition (Figure 23). Ensuite, les enfants avaient à prononcer à haute voix l'histoire au fur et à mesure que l'expérimentateur leur montrait les cartes. La seconde session avait pour but de manipuler les lettres constitutives des mots. Chaque enfant recevait successivement les 7 cartes contenant le matériel écrit et avait à assembler des lettres magnétiques sur un tableau pour former le mot cible ou associer correctement le chiffre correspondant au chiffre cible. Egalement, les enfants s'entraînaient à la copie manuscrite des mots préalablement formés. La troisième session comprenait des jeux de mémorisation et également un entraînement à la copie. Parmi les jeux de mémorisation proposés, l'un consistait à associer à une carte imagée la carte écrite correspondante que l'enfant devait sélectionner parmi deux distracteurs visuellement proches (e.g. JOUE parmi JOUR et BOUE). Pour la quatrième et dernière session, les enfants s'entraînaient à écrire de mémoire sur une feuille de papier le mot dicté par l'expérimentateur avec, puis sans le support de la carte imagée. A l'issue de cette dernière séance, tous les enfants étaient capables d'écrire de mémoire sous dictée les 5 mots et 2 chiffres du matériel expérimental.

2.3 Tâche d'écriture

Les enfants avaient à écrire les mots et les chiffres appris sous la dictée et de mémoire sur une feuille de papier partagée en deux par une ligne verticale (Cornell, 1985). Chaque mot ou chiffre était écrit deux fois: 1) dans une condition normale, l'écriture a été réalisée à partir d'un point placé à 1cm à droite de la ligne verticale, incitant à une directionnalité topocinétique de gauche à droite et ; 2) dans une condition contrainte, l'écriture était réalisée à partir d'un point placé à 1cm à gauche de la ligne verticale, incitant à une directionnalité topocinétique de droite à gauche. La contrainte spatiale imposée par le point de départ

relativement à la ligne verticale de bissection devait encourager une écriture conventionnelle dans la condition normale et une écriture en miroir dans la condition contrainte. La présentation des stimuli selon les conditions a été contrebalancée pour chaque mot/chiffre entre les enfants de telle sorte qu'un stimulus était présenté en condition normale puis en condition contrainte pour la moitié des participants et inversement pour l'autre moitié. Aussi, un contrebalancement a été réalisé à un niveau intra-sujet de telle sorte qu'approximativement la moitié des stimuli était d'abord écrite en condition normale puis en condition contrainte et inversement pour l'autre moitié. Les données ont été recueillies à l'aide d'un dispositif sous technologie Anoto[®], précédemment utilisé. Toutes les données ont été analysées avec le logiciel *Eliau*[®].

Les 12 caractères ont été codés individuellement selon le produit de l'écriture et la directionnalité morpho-cinétique.

Produit de l'écriture : le produit de l'écriture des caractères asymétriques a été classé en deux catégories : 1) écriture conventionnelle ; 2) écriture en miroir (inversion de l'orientation sur le plan horizontal).

Directionnalité morpho-cinétique : La directionnalité morpho-cinétique a été codée pour tous les caractères en fonction de leur trajectoire de tracé. Pour les caractères présentant une structure barre-appendice (B, E, J, N, R, 1), la directionnalité morpho-cinétique était codée selon la progression de gauche à droite ou de droite à gauche du tracé. Pour les caractères dont la forme est caractérisée par une ou plusieurs concavités (S, Z, 3, U et O), la directionnalité morpho-cinétique était codée selon la trajectoire horaire ou antihoraire du premier mouvement initié. Le codage a été réalisé à partir d'une visualisation statique colorée de la production écrite fournie par le logiciel *Eliau*[®] où les différentes nuances de couleurs renseignent la direction du mouvement.

Aussi, des paramètres cinématiques, vitesse et fluidité, ont été enregistrés pour chaque caractère de la manière suivante :

Vitesse : La vitesse en millimètres par seconde a été directement extraite sous format numérique par le logiciel *Eliau*[®].

Fluidité : La mesure de la fluidité du tracé correspondait au nombre d'alternances de vitesse par centimètre au cours du tracé d'un caractère et pouvait être extraite d'une représentation graphique proposée par le logiciel *Eliau*[®]. Une bonne fluidité est caractérisée par un score faible et inversement.

3. RESULTATS

Deux séries d'analyses ont été conduites séparément pour chaque caractère. La première concernait l'effet de la condition spatiale sur le produit de l'écriture (écriture conventionnelle versus écriture en miroir), la directionnalité morpho-cinétique (gauche-droite ou horaire versus droite-gauche ou anti-horaire), la vitesse et la fluidité. La seconde permettait d'examiner l'association du produit de l'écriture avec la directionnalité morpho-cinétique et les paramètres cinématiques.

3.1 Condition spatiale

Certaines lettres apparaissaient dans plusieurs mots cibles et étaient ainsi écrites plus d'une fois (i.e., E, O, R, S, U). Pour ces lettres, la distribution des variables « produit de l'écriture » et « directionnalité morpho-cinétique » était hautement polarisée au sein de chaque condition spatiale : tous les exemplaires étaient écrits en miroir / écrits vers la gauche versus tous les exemplaires étaient correctement écrits / écrits vers la droite. Les valeurs intermédiaires représentaient moins de 24% et moins de 14% respectivement pour les

variables « produit de l'écriture » et « directionnalité morpho-cinétique ». Ainsi, ces deux variables ont été dichotomisées à partir de la valeur médiane.

Des tests de McNemar pour échantillons appariés ont révélé un effet de la condition spatiale sur le produit de l'écriture ($p_s < .005$) à l'exception de la lettre Z ($p = .18$). La direction de l'effet variait selon l'orientation intrinsèque du caractère : les caractères orientés à gauche (1, 3, J) étaient plus fréquemment écrits en miroir dans la condition normale comparativement à la condition contrainte et les caractères orientés à droite (B, E, R, N, S) étaient plus fréquemment écrits en miroir dans la condition contrainte comparativement à la condition normale (Figure 24).

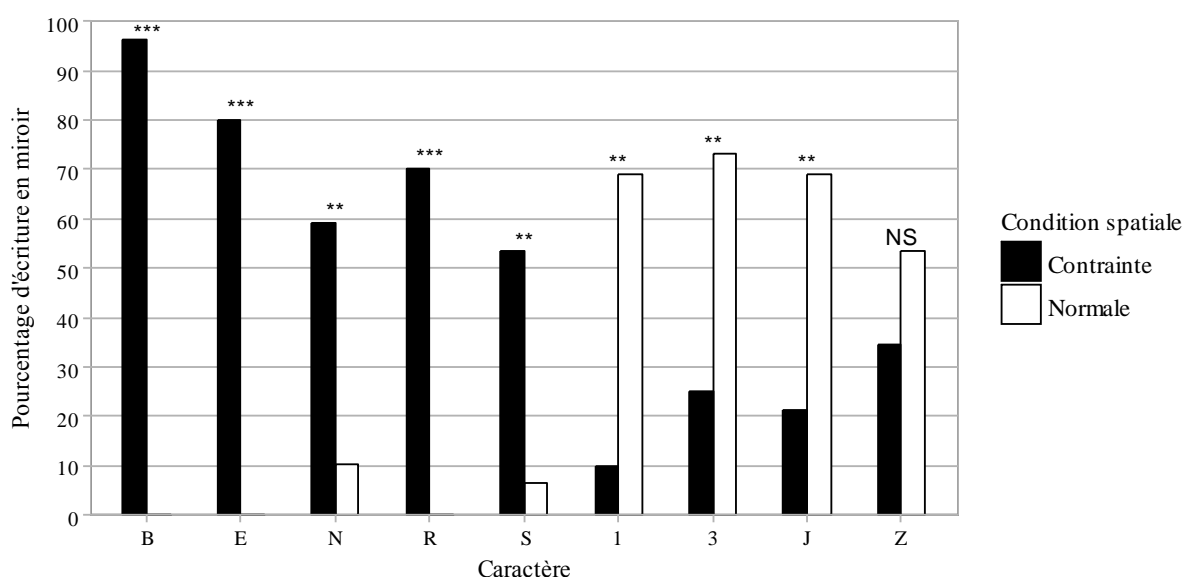


Figure 24 : Pourcentages d'écriture en miroir selon la condition spatiale (normale vs. contrainte) pour chaque caractère, *** $p < .001$ ** $p < .01$; NS $p > .05$

Des tests de McNemar pour échantillons appariés ont également révélé un effet de la condition d'écriture sur la directionnalité morpho-cinétique pour 8 caractères (B, E, J, N, R, U, 1 et 3 ; $p_s < .009$). La directionnalité morpho-cinétique à droite était plus fréquente dans la condition normale comparativement à la condition contrainte (Figure 25). Cet effet n'est pas significatif pour les lettres O, S et Z ($p_s > .72$).

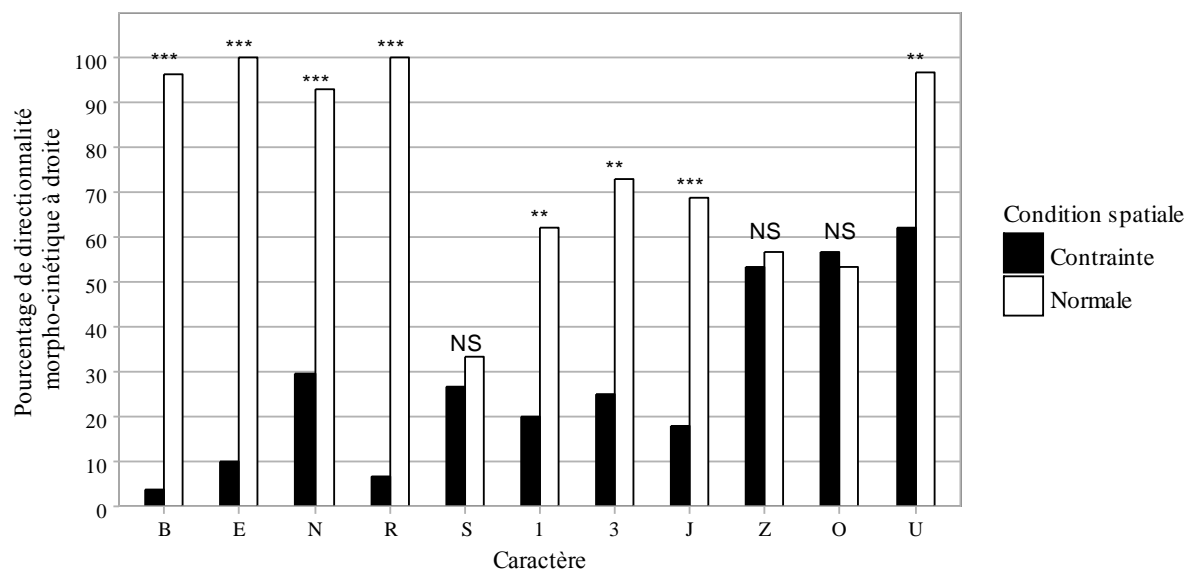


Figure 25 : Pourcentages de directionnalité morpho-cinétique gauche-droite ou antihoraire selon la condition d’écriture (spontanée vs. contrainte) pour chaque caractère, *** $p < .001$ ** $p < .01$; NS $p > .05$

3.2 Produit de l’écriture

Des tests de corrélations phi ont montré une forte association entre le type d’écriture et la directionnalité morpho-cinétique pour tous les caractères ($p_s < .001$) à l’exception du S (p

Tableau 5 : Pourcentages moyens et associations statistiques de la directionnalité morpho-cinétique gauche-droite ou antihoraire en fonction du produit de l’écriture

	Conventionnelle	Miroir	ϕ^1
B	96.55	0.00	-.96***
E	69.05	0.00	-.90***
J	3.23	92.31	.89***
N	89.19	10.53	-.77***
R	82.05	0.00	-.78***
S	76.19	55.55	-.21
Z	21.87	73.07	.51***
1	8.33	91.30	.82***
3	0.00	100.00	1***

¹ Note *** $p < .001$

= .21). Le sens de cette corrélation variait en fonction de l’orientation intrinsèque des caractères : Pour les caractères orientés à gauche (1, 3, J), l’écriture en miroir était associée à

une directionnalité gauche-droite tandis qu'elle est associée à une directionnalité droite-gauche pour les caractères orientés à droite (B, E, N, R, S) (Tableau 5).

3.3 Cinématique

Les données sur la cinématique ont été analysées afin de tester l'effet de la condition spatiale et leur association avec le produit de l'écriture. Des tests T de Student pour échantillons appariés ne révélaient aucune différence significative entre les conditions d'écriture (normale vs. contrainte) sur les paramètres cinématiques de vitesse ($p_s > .10$) et de fluidité ($p_s > .29$). De plus, le produit de l'écriture n'était pas significativement corrélé avec la vitesse (biserial ponctuel : $p_s > .06$; Figure 26a) et la fluidité (biserial ponctuel : $p_s > .27$; Figure 26b).

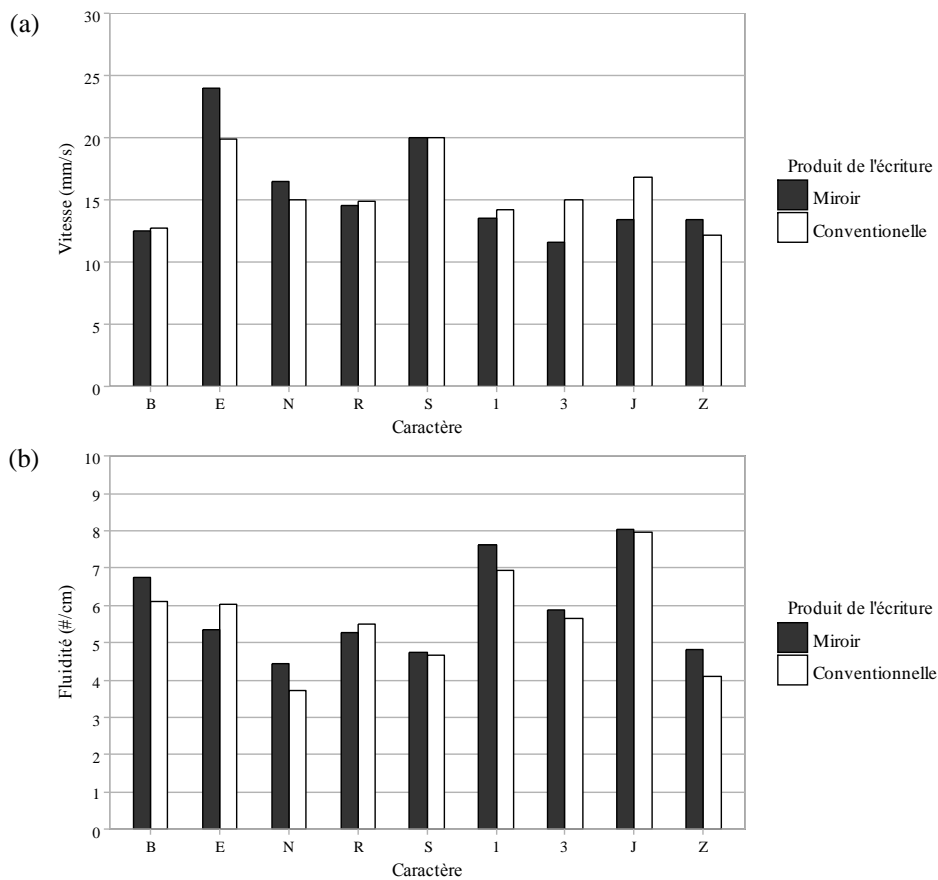


Figure 26 : Vitesse (a) et fluidité (b) moyennes en fonction du produit de l'écriture

4. DISCUSSION

L'objectif de l'étude présente était d'investiguer les déterminants de la production de l'orientation pour les lettres et les chiffres chez l'enfant. Les participants avaient à écrire des caractères intrinsèquement orientés à gauche ou à droite selon deux conditions spatiales qui amorçaient des directionnalités topo-cinétiques opposées (Cornell, 1985). Des productions conventionnelles et en miroir ont été analysées entre les conditions spatiales et comparées par rapport à la directionnalité morpho-cinétique et des paramètres cinématiques.

Les conditions spatiales provoquaient des écritures conventionnelles et des écritures en miroir selon l'orientation intrinsèque des caractères. La condition normale qui amorce une directionnalité topo-cinétique de gauche à droite génère une écriture conventionnelle des caractères orientés à droite (B, E, N, R, S) et une écriture en miroir des caractères orientés à gauche (1, 3, J). Ce résultat correspond au pattern généralement observé dans les écritures en miroir spontanées des enfants pré-lettrés dans une culture où la langue est transcrite de gauche à droite : les lettres orientées à gauche sont plus fréquemment écrites en miroir que les lettres orientées à droite (e.g., Treiman & Kessler, 2011). Un pattern similaire de résultat s'applique pour les chiffres (Fischer, 2013). Deux hypothèses théoriques ont été invoquées pour expliquer la sélectivité des écritures en miroir aux caractères orientés à gauche. Selon Treiman et collaborateurs (Treiman et al., 2014; Treiman & Kessler, 2011), les enfants acquièrent, par apprentissage statistique, une connaissance implicite sur la prévalence des lettres orientées à droite. Cette connaissance serait activée en production lorsque l'orientation des formes n'est pas disponible en mémoire. Pour Fischer et collaborateurs (Fischer, 2017a, 2011, 2013; Fischer & Koch, 2016b; Fischer & Tazouti, 2012) ce n'est pas seulement la prédominance d'une orientation pour les lettres mais principalement la direction de l'écriture qui promeut la production d'une orientation à droite des formes de l'écrit dans des cultures où

la langue est transcrite de gauche à droite. La condition contrainte, qui amorçait une directionnalité topo-cinétique de droite à gauche est particulièrement éclairante au regard de ce débat théorique. Dans cette condition, l'hypothèse de Treiman et collaborateurs prédit des résultats similaires à la condition normale, i.e., les caractères orientés à gauche seront plus fréquemment écrits en miroir quelles que soient les conditions de production. En revanche, un pattern inversé de résultats peut être prédit à partir de l'hypothèse de Fischer et collaborateurs, i.e., les caractères orientés à droite seraient plus fréquemment écrits en miroir afin que leur orientation corresponde à la direction de l'écriture. Les résultats obtenus dans l'étude présente corroborent une règle d'écriture vers la droite car ils révèlent une écriture conventionnelle pour les caractères orientés à gauche et une écriture en miroir pour les caractères orientés à droite dans la condition contrainte. Il est alors peu probable que les enfants s'appuient sur une connaissance implicite de l'orientation des lettres (i.e., la plupart des lettres sont orientées à droite) dans leurs productions écrites comme postulé par Treiman et collègues. Comme mis en évidence par Fischer (2017a), la direction de l'écriture joue un rôle majeur dans les écritures en miroir spontanées des enfants d'âge préscolaire.

L'invariance des paramètres cinématiques en fonction du produit de l'écriture constitue à notre connaissance un résultat original de l'étude. Les caractères étaient produits avec la même facilité de manière conventionnelle ou en miroir. Une meilleure performance aurait pu être attendue pour les productions conventionnelles auxquelles les participants ont été exposés au cours de l'apprentissage. Ainsi, l'apprentissage proposé dans l'étude permettait de rendre accessible en mémoire les formes de lettres, de telle sorte que les enfants soient capables de les écrire sous la dictée, mais pas leur orientation. L'invariance cinématique des formes en miroir constitue une preuve empirique supplémentaire du phénomène de généralisation en miroir chez les enfants pré-lettrés. Une meilleure performance aurait également pu être attendue pour les caractères produits selon une orientation à droite

indépendamment de leur orientation intrinsèque comme suggéré par l'hypothèse de l'apprentissage statistique de l'orientation. En effet, si une connaissance implicite sur l'orientation prédominante des caractères était active au cours de l'écriture, elle aurait pu générer un processus plus efficient de production. A cet égard, les résultats sur les paramètres cinématiques affaiblissent l'hypothèse de l'apprentissage statistique de l'orientation. Des recherches futures investiguant conjointement les changements cinématiques et la prévalence d'écriture en miroir au cours du développement permettraient d'éclairer le décours temporel du processus de généralisation en miroir.

A notre connaissance, cette étude est la seule à avoir examiné la contribution de la directionnalité morpho-cinétique dans l'écriture en miroir. La directionnalité morpho-cinétique était alignée sur le niveau topo-cinétique et ainsi résultait en des patterns de résultats opposés en fonction de la condition spatiale : les caractères étaient produits avec une directionnalité morpho-cinétique à droite dans la condition normale (i.e., directionnalité topo-cinétique gauche-droite) et avec une directionnalité morpho-cinétique à gauche dans la condition contrainte (i.e., directionnalité topo-cinétique droite-gauche). Ainsi, dans les premières étapes de l'acquisition de l'écrit, la directionnalité morpho-cinétique est fortement contrainte par le niveau topo-cinétique qui la précède ontologiquement dans le développement (Chartrel & Vinter, 2004). En effet, les enfants scolarisés en moyenne section de maternelle n'ont pas jusqu'alors bénéficié d'un enseignement assez intensif de l'écriture permettant de construire un programme moteur qui conserve en mémoire la trajectoire spécifique des lettres et des chiffres. De plus, les sessions d'apprentissage intégrées dans l'étude n'étaient pas conçues et ne fournissaient pas des conditions adéquates à cette fin. Trois lettres (O, S et Z) ne montraient aucun changement au niveau morpho-cinétique en fonction du niveau topo-cinétique. La lettre O constitue une primitive graphique qui bénéficie d'une pratique de longue durée à travers notamment la production de cercle et une production automatique

pourrait expliquer ce résultat. Le statut particulier des lettres S et Z sera développé plus bas. Aussi, la directionnalité morpho-cinétique était fortement associée au produit de l'écriture : les formes produites selon une directionnalité à droite sont orientées à droite et les formes produites avec une directionnalité à gauche sont orientées à gauche. Ces résultats spécifient l'influence de la directionnalité dans la production de l'orientation des formes de l'écrit. Dans une culture où la langue est transcrite de gauche à droite, des écritures en miroir fréquemment rencontrées pour les caractères orientés à gauche au cours de l'acquisition initiale de l'écrit résultent de contraintes imposées par la direction de l'écriture (directionnalité topo-cinétique) sur le mouvement des mains et des doigts (directionnalité morpho-cinétique). Deux lettres, S et Z ne correspondent pas aux tendances principales rapportées pour les autres caractères sélectionnés. Ces différences peuvent être dues à leur forme particulière qui n'obéit pas à une structure barre-appendice rendant ainsi leur orientation plus incertaine (Fischer, 2017b) et qui requiert une alternance entre des directionnalités morpho-cinétiques opposées. Des recherches futures investiguant l'orientation perçue par les enfants pré-lettrés des lettres S et Z présentent un vif intérêt à cet égard.

En conclusion, les résultats présents corroborent et spécifient la proposition théorique de Fischer et son équipe (Fischer, 2017a, 2011, 2013; Fischer & Koch, 2016b; Fischer & Tazouti, 2012) sur la contribution de la direction de l'écriture aux manifestations d'écriture en miroir. Ils constituent une illustration supplémentaire du phénomène d'écriture en miroir chez l'enfant comme ayant une inscription biologique et une manifestation culturelle. Aussi, les résultats présents sont en accord avec un nombre important de recherches indiquant que la représentation corticale des lettres dans le système visuel ne dépend pas uniquement de l'expérience visuelle (Reich, Szwed, Cohen, & Amedi, 2011) mais recrute un réseau sensori-moteur complexe (James & Gauthier, 2006) impliqué dans l'apprentissage de l'écriture des

lettres (Longcamp, Zerbato-Poudou, et al., 2005). Plus précisément, la directionnalité de l'écriture a un rôle majeur dans la production de l'orientation des formes de lettres.

Etude 3.b

Orientation des formes de lettres et de chiffres en volume chez des enfants pré-lettrés : une étude pilote

1. CONTEXTE

Les résultats obtenus à l'étude 3a constituent le contexte de l'étude présente. Ils apportent des arguments empiriques supplémentaires en faveur d'une hypothèse théorique récente sur le phénomène d'écriture en miroir au cours de l'acquisition initiale et typique de l'écrit (Fischer, 2017a). En effet, la manipulation de la directionnalité topo-cinétique de l'écriture dans l'étude 3a a révélé un effet prédominant de la directionnalité de l'écrit dans la production d'une orientation pour les caractères. Conformément à la règle implicite d'orientation/écriture (Fischer, 2017a), l'orientation des formes de l'écrit apparaissait biaisée dans la direction de l'écriture. Un autre résultat majeur de l'étude 3a était l'invariance cinématique des productions conventionnelles et des productions en miroir d'écritures appariées. Nous avons proposé une interprétation de ce résultat en références à des hypothèses neuropsychologiques qui concernent le développement de la représentation cérébrale des formes de l'écrit. Selon ces hypothèses, les enfants pré-lettrés ne disposeraient pas des mécanismes cérébraux nécessaires à un traitement différencié des images latérales (Corballis & Beale, 1976). Cette compétence serait acquise ultérieurement, sous l'effet de l'instruction, par la spécialisation progressive d'une sous partie du système visuel à l'identification des formes de l'écrit (Cohen & Dehaene, 2004; Dehaene et al., 2010). La pertinence de ces hypothèses est confirmée par un ensemble de données cliniques et comportementales (Cohen et al., 2000, 2003) ainsi que des avancées récentes en neuro-imagerie (Pegado et al., 2011). Cependant les résultats obtenus à l'étude 3a ne permettent pas de rejeter une hypothèse alternative selon laquelle les enfants ont construit et utilisent des connaissances implicites

pour traiter l'orientation des formes de l'écrit (Treiman et al., 2014; Treiman & Kessler, 2011). Dans des tâches de production, l'influence massive de la directionnalité de l'écrit sur l'orientation des formes de lettres ne permettrait pas de faire émerger ces connaissances implicites. Cependant, les enfants apparaissent très tôt capables de repérer la régularité des fréquences d'apparition des événements au travers d'expériences répétées et d'en extraire une structure générale. Ainsi, la prévalence d'une orientation à droite pour les lettres dans notre système d'écriture pourrait faire l'objet d'un apprentissage statistique, dès lors que les enfants disposent d'une expérience suffisante de l'écrit (Treiman et al., 2014; Treiman & Kessler, 2011).

L'objectif de l'étude 3b était de tester l'hypothèse d'un apprentissage statistique de l'orientation des formes de lettres dans une tâche qui ne mobilise pas la motricité de l'écriture. A cette fin, une tâche de manipulation de lettres et de chiffres en volume a été proposée à des enfants pré-lettrés dont le niveau d'expérience de l'écrit variait. Deux prédictions peuvent être formulées à partir de l'hypothèse d'un apprentissage statistique: 1) une orientation à droite des formes de lettres et de chiffres devrait prévaloir quelle que soit l'orientation intrinsèque des caractères et ce, 2) plus le niveau d'expérience de l'écrit augmente.

2. METHODE

2.1 Participants

Trente-trois enfants scolarisés en maternelle (17 filles et 16 garçons) âgés entre 4.2 ans et 5.9 ans ($M_{\text{age}} = 5.18$) ont participé à l'étude. Les participants ont été recrutés dans des classes de moyenne et de grande section de maternelle. Ainsi, le degré d'expérience de l'écrit variait entre les enfants comme attesté par les performances à une tâche de dénomination de lettres. Néanmoins, leur expérience de l'écrit était limitée à des activités linguistiques et

d'écriture informelles. Tous les participants étaient droitiers comme évalué par une tâche de préférence latérale.

2.2 Epreuves préliminaires

Des tâches permettant d'évaluer la préférence latérale et l'expérience de l'écrit ont été administrées individuellement une semaine avant la tâche expérimentale de manipulation.

- Préférence latérale

L'épreuve de latéralité est analogue à celle proposée dans les études précédentes. Les résultats obtenus témoignent d'une forte consistance de la dominance manuelle à droite sur l'ensemble de l'échantillon ($M = .78$, $ET = .19$).

- Dénomination de lettres

Le niveau d'expérience de l'écrit a été évalué par une épreuve de dénomination des lettres qui est considérée comme un indice fidèle de l'expérience précoce de l'écrit (Foulin, 2005). Les enfants devaient nommer les 26 formes de lettres capitales de l'alphabet qui leur étaient imprimées sur des cartes individuelles (Arial 200) et présentées dans un ordre aléatoire. La moyenne sur l'ensemble de l'échantillon était de 10.09 avec une forte variabilité au sein de l'échantillon ($ET = 9.03$).

2.3 Tâche expérimentale

Les participants avaient à positionner sur une table des lettres et des chiffres en volume (Figure 27). Les caractères asymétriques de l'étude 3a ont été utilisés pour cette tâche afin de permettre, s'il y a lieu, des comparaisons entre les tâches. Parmi eux, quatre étaient orientés à droite (B, E, R, S) et quatre étaient orientés à gauche (J, Z, 1, 3). La consigne était pour chaque caractère de le « *placer debout sur la table comme il est écrit dans les livres* ».



Figure 27. Les huit caractères asymétriques en volume présentés selon une orientation à droite

L'enfant validait sa réponse en prenant une photo de la lettre à l'aide d'une tablette numérique. Pour chaque caractère, l'orientation choisie par l'enfant était recueillie selon deux catégories, orientation à droite et orientation à gauche.

3. RESULTATS

Des tests binomiaux unilatéraux ont été réalisés pour chaque caractère afin d'examiner l'existence d'une prévalence de l'orientation à droite. Les résultats sont présentés graphiquement dans la Figure 28. La prévalence d'une orientation à droite était uniquement

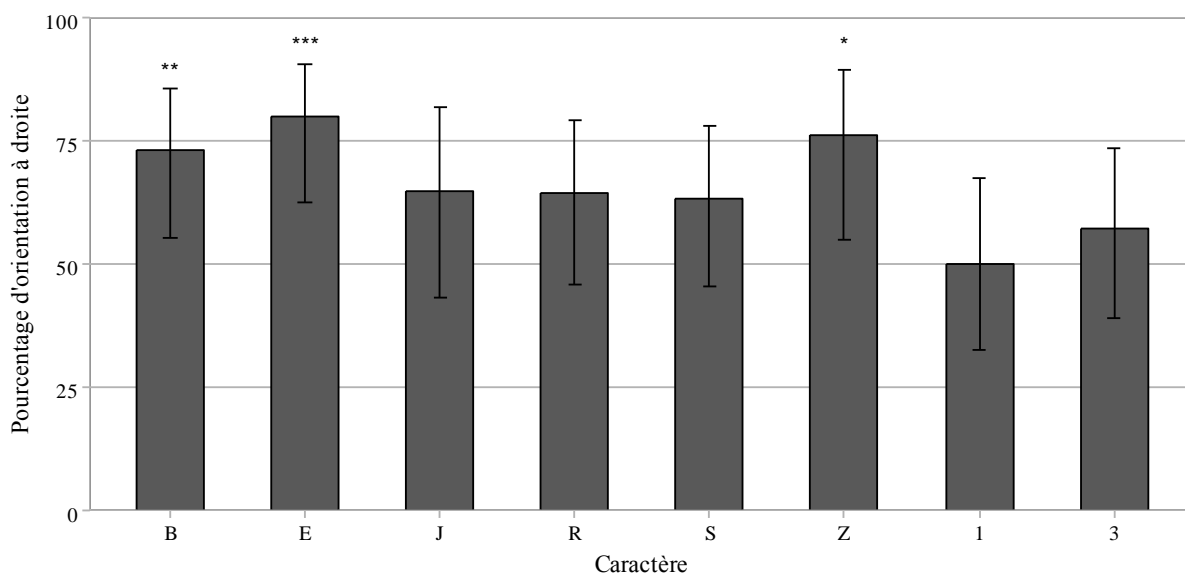


Figure 28 : Pourcentage moyen d'orientation à droite pour chaque caractère (les barres d'erreurs représentent l'intervalle de confiance à 95%)

significative pour trois lettres (B, E et Z). Pour les autres caractères, la fréquence d'orientation à droite n'était pas plus élevée que celle attendue du hasard ($p_s > .09$).

De plus, des analyses de corrélations bisériales de point ont été menées pour chaque caractère afin de tester l'existence d'un lien entre l'orientation des formes de caractère et le nombre de lettres correctement dénommées lors de l'épreuve préliminaire correspondante. Les résultats ne montraient aucune association entre ces deux variables ($p_s > .25$).

4. DISCUSSION

L'objectif de l'étude était d'investiguer si les enfants pré-lettrés utilisent une connaissance implicite, acquise par apprentissage statistique, sur la prévalence d'une orientation à droite dans la production de l'orientation des formes de l'écrit.

Selon l'hypothèse d'un apprentissage statistique (Treiman et al., 2014; Treiman & Kessler, 2011), une adhésion massive à une orientation à droite quelle que soit le caractère considéré et son orientation intrinsèque était attendue chez l'enfant pré-lettré. Egalement, un renforcement de cette tendance devait avec l'expérience croissante de l'écrit être attendu. Les résultats obtenus dans l'étude présente ne corroborent pas ces prédictions. En effet, seule une minorité de lettres a fait l'objet d'une orientation prévalente à droite. Parmi elles, le B et le E bénéficiaient d'une orientation correcte et le Z d'une orientation incorrecte. Une explication possible est que le E et le B sont mieux connus des enfants, du fait de leur fréquence dans la langue et de leur place dans l'alphabet. En ce qui concerne la lettre Z, nous pouvons faire l'hypothèse d'un effet de facilitation motrice liée à la préhension de la forme quand elle est orientée à droite pour des enfants droitiers. Par ailleurs, comme discuté dans l'étude précédente, la forme du Z n'obéit pas à une structure barre-appendice, ce qui rend son orientation plus incertaine. Enfin, le niveau d'expérience de l'écrit tel qu'évalué par les

performances à une tâche de dénomination apparaît indépendant de la tendance à orienter un caractère, quelle qu'elle soit.

Les résultats de l'étude pilote permettent uniquement des conclusions prudentes sur la pertinence de l'hypothèse statistique appliquée à l'orientation des formes de lettres. Des futures recherches sont nécessaires afin d'étendre les investigations à d'autres formes de lettres et de chiffres. Une attention particulière doit être portée au contrôle d'un effet direct de la dominance manuelle liée au matériel utilisé. A cet égard, des transparents représentant les deux orientations d'une même lettre en recto-verso devront être privilégiés.

POINTS CLES DES ETUDES 3A ET 3B :

CHEZ L'ENFANT D'AGE PRESOLAIRE :

- > Le phénomène de généralisation en miroir est attesté par l'invariance cinématique entre des formes en miroir et des formes conventionnelles appariées.
- > La directionnalité de l'écriture joue un rôle central dans les écritures en miroir spontanées.
- > La directionnalité morpho-cinétique contribue spécifiquement à l'orientation des formes de l'écrit.

Etude 4.

Contribution de la directionnalité de l'écriture à la reconnaissance de l'orientation de pseudo-lettres chez l'enfant pré-lettré

1. CONTEXTE

Dans les systèmes d'écriture alphabétiques, connaître les lettres individuelles est une composante cruciale de l'acquisition initiale de l'écrit, si bien qu'elle constitue un apprentissage préscolaire à forte valeur prédictive des compétences ultérieures en lecture (Foulin, 2005). La connaissance des lettres est une acquisition composite puisque les lettres doivent être connues sous leurs différentes identités : leur forme, leur nom, leur son et leur tracé. La construction d'une représentation intégrée pour chacune des lettres, revêt un enjeu éducatif fondamental.

Les enfants semblent être capables d'extraire et de reproduire très précocement la structure externe de l'écrit, même avant d'être conscients des enjeux représentationnels des différents systèmes de notation. Ainsi, les premières connaissances sur les lettres concerneraient leur forme. Les formes de l'écrit confrontent pour la première fois l'enfant à des objets dont l'identité visuelle n'est pas indépendante de l'orientation. Celle-ci constitue même l'unique caractéristique distinctive des formes de lettres réversibles licites (i.e., b et d, p et q) ou illicites (e.g, E et \exists).

Les manifestations spontanées d'écriture en miroir qui apparaissent au cours de l'acquisition typique de l'écrit témoignent de l'absence de représentation de l'orientation des lettres (Fischer & Tazouti, 2012) en lien avec la généralisation en miroir des images latérales. La gestion de l'orientation des formes de lettres requiert une adaptation ontogénétique du système visuel (Cohen & Dehaene, 2004; Dehaene et al., 2010). Plusieurs

recherches suggèrent que la motricité de l'écriture manuscrite jouerait un rôle majeur dans l'émergence d'une spécialisation fonctionnelle du traitement visuel de la forme des lettres. Des études en neuro-imagerie indiquent notamment une activation de régions pré-motrices et motrices dans des tâches de perception de lettres connues chez l'adulte (James & Gauthier, 2006; Longcamp et al., 2003; Longcamp, Zerbato-Poudou, et al., 2005). Ces résultats suggèrent que l'acquisition dynamique et combinée d'informations visuelles et motrices permettrait une réactivation automatique du programme moteur de tracé des lettres à partir d'une entrée visuelle. Les informations motrices, ainsi accessibles en mémoire, soutiendraient le système visuel en contribuant de manière décisive au traitement des formes de l'écrit (Bara & Gentaz, 2011; Bara et al., 2007; Longcamp et al., 2008, 2006; Longcamp, Zerbato-Poudou, et al., 2005). Des études comportementales montrent, en effet, un avantage de l'entraînement manuscrit versus tapuscrit dans la reconnaissance subséquente des formes de lettres et de leur orientation chez l'enfant pré-lecteur (Longcamp, Zerbato-Poudou, et al., 2005) et de pseudo-lettres chez l'adulte (Longcamp et al., 2006).

L'objectif de cette dernière étude est de prolonger les résultats de Longcamp et collaborateurs (2005) en examinant l'influence particulière de la directionnalité de l'écriture manuscrite sur la reconnaissance de l'orientation des lettres chez l'enfant pré-lecteur. Notre hypothèse est que la forme d'une lettre devrait être mieux apprise et mieux reconnue lorsque la directionnalité morpho-cinétique est congruente avec son orientation. Cette hypothèse est dérivée des résultats empiriques obtenus à l'étude 3a qui montrent une association systématique entre la directionnalité morpho-cinétique et l'orientation des formes de lettres (i.e., les lettres tracées de gauche à droite sont produites comme étant orientées à droite). Jusqu'alors, l'étude de la contribution de la directionnalité à la reconnaissance des lettres a donné lieu à des résultats divergents dans la littérature. Dans une étude de Naka (1998), la directionnalité (conventionnelle, non conventionnelle ou aléatoire) selon laquelle des

logographes étaient appris n'affectait pas les performances à une tâche de rappel écrit. Courrieu et De falco (1989) ont élaboré un entraînement des lettres les plus fréquemment confondues par les enfants (b, d, p, q, f, t, n, u) qui pouvait faire intervenir une présentation et une production segmentée ou dynamique des lettres. Dans les conditions de présentation et de production segmentées de lettres, les primitives constitutives des lettres étaient mises en évidence et devaient être produites une à une pour former la forme globale. Dans les conditions de présentation dynamique de lettres, la directionnalité de l'écriture de la lettre était mise en évidence par une configuration en pointillés de densité variable que l'enfant devait utiliser en production. Les résultats montraient uniquement un effet des conditions segmentées sur l'amélioration des performances de discrimination perceptives entre le post-test et le pré-test. En revanche, d'autres études ont montré un bénéfice de l'amorçage d'une présentation dynamique congruente sur la reconnaissance (Giovanni, 1994; Parkinson & Khurana, 2007). Dans cette étude, par exemple, la lettre H était plus rapidement reconnue lorsque la séquence de présentation débutait avec la barre à gauche du H (condition consistante) que lorsqu'elle débutait avec la barre à droite du H (condition inconsistante) (Parkinson & Khurana, 2007).

Dans notre étude, des enfants scolarisés en grande section de maternelle ont eu à apprendre huit pseudo-lettres asymétriques dont l'orientation était manipulée. Ainsi, chaque enfant ne rencontrait qu'une seule orientation d'une même lettre, à droite pour quatre lettres et à gauche pour les quatre autres. Pour une partie des enfants, l'entraînement consistait en des activités de copie manuscrite selon une directionnalité imposée, congruente versus non congruente avec l'orientation de la lettre. Un groupe contrôle apparié participait à des activités de dessin et de coloriage sans faire l'expérience des trajectoires de tracé. L'effet du traitement entre les deux groupes d'entraînement et entre les modalités d'entraînement

manuscrit a été évalué une semaine après, à l'aide d'une tâche de reconnaissance et d'une tâche de rappel.

2. METHODE

2.1 Participants

Quarante-cinq enfants (25 garçons, 20 filles) d'âge moyen 5:7 ans (tranche d'âge : 5.3 à 6.2 ans) ont participé à l'étude. Ils étaient scolarisés en grande section de maternelle au sein de deux écoles publiques. Tous ont été évalués comme étant droitiers sur la base de leurs performances à une épreuve de préférence latérale et de l'utilisation préférentielle et spontanée de leur main droite dans les activités graphiques proposées.

Deux groupes d'entraînement ont été appariés le plus strictement possible sur les critères suivants: âge, genre, consistance de la préférence latérale, précision de la coordination oculo-manuelle et vitesse de la motricité fine (subtest de précision visuo-motrice de la NEPSY-II; Korkman, Kirk, & Kemp, 2003), dénomination de lettres, tâche d'appariement à choix forcé de l'orientation de formes (Tableau 6). Les épreuves préliminaires ont précédé d'une semaine le début de l'entraînement.

2.2 Epreuves préliminaires

- Préférence latérale

L'épreuve de latéralité est analogue à celle proposée dans les études précédentes. Les participants de l'étude ont obtenu d'un score moyen de 0.70 ($ET = 0.22$) qui témoigne d'une forte constance de la préférence latérale à droite.

- Précision visuo-motrice

Une épreuve du subtest de précision visuo-motrice de la NEPSY-II (Korkman, Kirk, & Kemp, 2003) a permis d'évaluer la précision de la coordination oculo-manuelle et la vitesse de la motricité fine. La tâche consiste à relier une voiture à un point d'arrivée en traçant une ligne le plus rapidement possible à l'intérieur d'un parcours sans en dépasser les bords. Le parcours était divisé en 108 sections. La précision du tracé était évaluée à partir du nombre de sections comportant au moins une erreur de tracé. Le temps de tracé (en secondes) était également recueilli. Tous les participants ont obtenus des performances égales à celles attendues pour leur âge.

- Dénomination de lettres

Le niveau d'expérience de l'écrit a été évalué par une épreuve de dénomination des lettres. Les enfants devaient nommer les 26 formes de lettres capitales de l'alphabet qui leur étaient imprimées sur des cartes individuelles (Arial 200) et présentées dans un ordre aléatoire.

- Appariement à choix forcé de l'orientation

Une tâche informatisée d'appariement à choix forcé a été proposée aux enfants afin d'évaluer leur compétence initiale à discriminer perceptivement une pseudo-lettre de sa forme en miroir. Les pseudo-lettres asymétriques utilisées au cours de cette tâche partageaient les mêmes caractéristiques de forme que les lettres de l'alphabet connues des enfants et étaient différentes de celles utilisées pour la phase d'entraînement (Annexe 3A). Parmi les 14 pseudo-lettres présentées, sept étaient orientées à gauche et sept étaient orientées à droite. Chaque pseudo-lettre cible apparaissait au centre de l'écran pendant deux secondes et était suivie par la présentation simultanée de la pseudo-lettre cible et de sa version en miroir. La position (gauche ou droite) de la pseudo-lettre cible sur l'écran était contrebalancée entre les

essais. La tâche de l'enfant consistait à choisir parmi les deux pseudo-lettres celle qui lui avait été présentée au préalable. Trois essais d'entraînement ont été proposés afin de s'assurer de la compréhension de la tâche par l'enfant. La réponse de l'enfant était enregistrée sur l'ordinateur par l'expérimentateur. Aucune consigne de vitesse n'était donnée. Le score à l'épreuve correspondait au nombre d'essais réussis avec un maximum de 14.

Tableau 6 : Critères de répartition des enfants dans les deux groupes d'entraînement (les écarts-types sont présentés entre parenthèses)

	Manuscrit	Contrôle	Différences entre les groupes
n	27	18	-
Sexe (M F)	15 12	10 8	-
Age (mois)	68.52 (2.70)	67 (2.85)	$t(43) = 1.10, p = .27$
Latéralité	0.67 (0.23)	0.74 (0.20)	$U = 284.5, p = .32$
Précision Erreur	4 (5.35)	2.67 (4.15)	$U = 156.5, p = .29$
Précision Vitesse	37.22 (11.19)	36.72 (13.20)	$t(43) = 0.1', p = .89$
Dénomination	23.00 (3.50)	22.11 (4.84)	$U = 268.5, p = .55$
Appariement	10.04 (2.59)	10.5 (3.03)	$t(43) = 0.13, p = .59$

2.3 Entraînement

L'entraînement a porté sur huit pseudo-lettres asymétriques (Figure 29) tirées ou inspirées d'alphabets inconnus des enfants (Cyrillique, Berbère, Copte et Inuit) afin d'éviter tout effet de connaissance préalable. Elles partageaient les caractéristiques formelles des lettres gréco-latines : 1) leurs composantes, au nombre de deux ou trois, étaient issues d'un nombre limité de primitives graphiques ; 2) leur agencement suivait une structure barre-appendice (Treiman & Kessler, 2011). L'orientation de chaque pseudo-lettre (à gauche vs. à droite) était manipulée entre les enfants afin d'évacuer tout effet de complexité inhérent à la forme des lettres. Chaque enfant ne rencontrait qu'une seule orientation d'une même pseudo-lettre: à gauche pour quatre lettres, à droite pour les quatre autres. L'entraînement s'est

déroulé en petits collectifs de trois à cinq participants en trois séances de 30 minutes chacune sur une période de trois semaines.

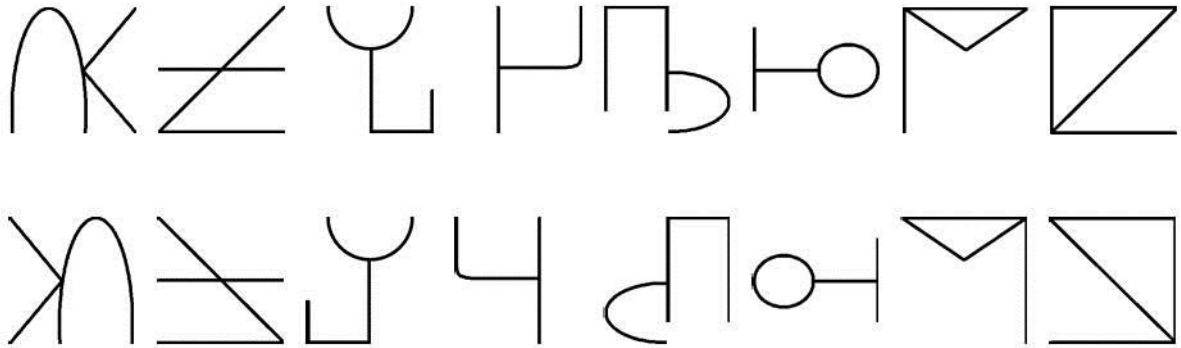


Figure 29 : Les huit pseudo-lettres asymétriques dans leur orientation à droite (en haut) et à gauche (en bas)

- Entraînement manuscrit

Le groupe « manuscrit » a appris à tracer les pseudo-lettres selon une trajectoire imposée qui était soit congruente soit non congruente avec l'orientation de la forme (e.g. lettre orientée à droite tracée de gauche à droite vs. de droite à gauche). Quatre groupes d'entraînement ont été constitués afin de contrebalancer l'assignation des pseudo-lettres aux différentes conditions (orientation \times directionnalité) d'entraînement. Chaque groupe apprenait à tracer quatre pseudo-lettres orientées à gauche, deux de manière congruente (i.e., gauche-droite) et deux de manière non congruente (i.e., droite-gauche) ; et quatre pseudo-lettres orientées à droite, deux de manière congruente (i.e., droite-gauche) et deux de manière non congruente (i.e., gauche-droite). Un exemple des trois activités avec guidage visuel de l'entraînement manuscrit en fonction de l'orientation de la forme et de la directionnalité est présenté en Annexe 4. Chaque forme a été apprise à partir de quatre tâches successives de tracé différant par la quantité d'informations visuelles fournies: 1) repasser sur la forme de la pseudo-lettre présentée en trait plein ; 2) repasser sur la forme de la pseudo-lettre présentée en pointillés ; 3) tracer la forme en reliant des points délimitant sa structure; 4) copier la forme à

partir d'un modèle. Chaque activité était réalisée trois fois à la suite. Quatre pseudo-lettres ont été apprises lors de la première séance et les quatre autres lors de la deuxième séance. La troisième séance était consacrée à la révision des huit formes de pseudo-lettres à partir des activités de copie et de tracé en reliant les points. Les formes des pseudo-lettres mesuraient 4cm de hauteur. A l'exception de l'activité de copie, la trajectoire de chaque tracé était renseignée à l'aide d'un indicateur de séquentialité (i.e., les traits constitutifs de la forme étaient numérotés en suivant l'ordre du tracé) et d'un indicateur de directionnalité (i.e., la direction du tracé de chaque trait constitutif était indiquée par une flèche directionnelle) (Figure 30). Ce double codage a été préalablement expliqué aux participants. L'expérimentateur a veillé à ce que la trajectoire demandée soit respectée pour chaque tracé notamment pour ceux réalisés en copie.

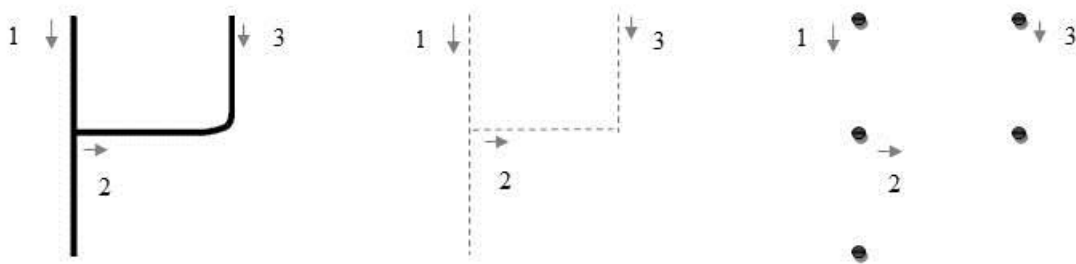


Figure 30 : Un exemple des trois activités d'entraînement du tracé manuscrit avec le codage de la directionnalité

- Entraînement contrôle

Le groupe contrôle rencontrait les formes de pseudo-lettres à partir d'activités de dessin et de coloriage qui ne permettaient pas la manipulation de la trajectoire du tracé. Dans une première activité, les pseudo-lettres étaient présentées imprimées sur un fond vierge avec pour consigne de les intégrer dans un dessin. Pour la deuxième activité, les pseudo-lettres étaient présentées sur un fond avec des motifs qui devaient être coloriés (Figure 31).

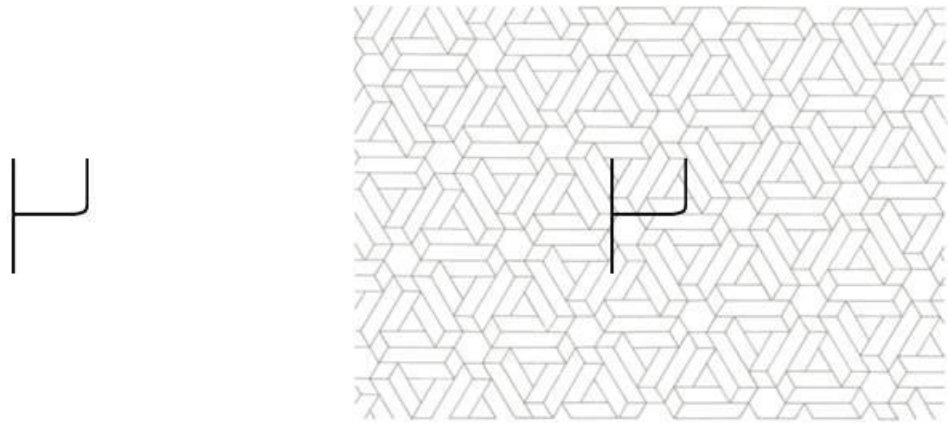


Figure 31 : Un exemple du matériel utilisé pour les tâches de dessin et de coloriage proposées au groupe contrôle

La consigne leur demandait de ne pas tourner la feuille et de la laisser dans la position initiale. Quatre pseudo-lettres ont été « apprises » ainsi lors de la première séance et les quatre autres lors de la deuxième séance. Lors de la troisième séance, les productions de chaque enfant étaient présentées à l'ensemble du groupe.

2.4 Evaluation de l'entraînement

L'évaluation de l'entraînement a été proposée une semaine après la dernière séance. L'effet de la modalité d'entraînement a été comparé par le biais de deux tâches post-test de reconnaissance et de rappel des pseudo-lettres.

Dans une tâche informatisée (Eprime) de reconnaissance à choix forcé, les enfants devaient sélectionner la pseudo-lettre apprise qui apparaissait simultanément à côté de sa forme miroir. La présentation des deux versions se poursuivait jusqu'à la réponse de l'enfant. Chaque pseudo-lettre était présentée deux fois non successivement et la position des deux versions sur l'écran (gauche ou droite) variait entre les essais. Trois essais d'entraînement aléatorisés ont été proposés afin de s'assurer de la compréhension de la consigne par l'enfant. La réponse de l'enfant était enregistrée sur l'ordinateur par l'expérimentateur. Aucune consigne de vitesse n'était donnée. Le score était le nombre de pseudo-lettres correctement

reconnues aux deux essais de présentation. Ce critère visait à se prémunir des réponses données au hasard. Ainsi, le score maximal 8 correspondait à 16 bonnes réponses.

Une tâche de complètement a été proposée à la suite de la tâche informatisée de reconnaissance. L'enfant devait compléter la pseudo-lettre apprise en traçant l'appendice qui lui donne son orientation. Dans un premier temps, l'appendice de la pseudo-lettre était à sélectionner entre un exemplaire cible et un exemplaire miroir présentés simultanément à l'enfant sur la feuille réponse. La position de l'exemplaire cible sur la feuille (gauche vs. droite) était contrebalancée entre les enfants et entre les pseudo-lettres. L'enfant devait ensuite copier l'appendice sélectionné pour compléter la forme de la pseudo-lettre. Le score correspondait au nombre de pseudo-lettres correctement complétées (maximum 8).

3. RESULTATS

3.1 Effets de l'entraînement

Les deux groupes d'entraînement ont obtenu des scores faibles à la tâche de reconnaissance forme-miroir (Manuscrit : $M = 3$, $ET = 1.65$; Contrôle : $M = 2.28$, $ET = 1.49$). Il n'existe pas de différence statistiquement significative entre les performances des deux groupes à cette tâche, $t(43) = 1.51$, $p = .14$ (Figure 32).

La tâche de complètement fait apparaître une différence statistiquement significative entre les groupes : $t(43) = 2.60$, $p = .01$, $g = .78^3$ (Figure 33). Le groupe manuscrit ($M = 4.11$, $ET = 1.23$) a obtenu de meilleures performances que le groupe contrôle ($M = 5.11$, $ET = 1.28$).

³ Le coefficient g de Hedges a été utilisé pour calculer la taille d'effet pour des comparaisons de moyennes à groupes indépendants comme recommandé dans la littérature (Lakens, 2013). Il s'agit d'une correction du d de Cohen dont l'interprétation est identique.

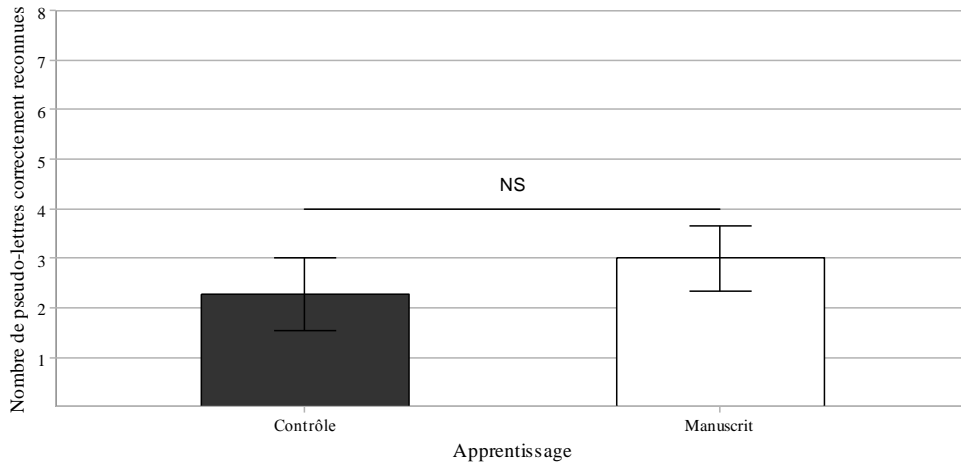


Figure 32 : Nombre moyen de pseudo-lettres correctement reconnues en fonction du groupe d'entraînement (les barres d'erreurs représentent l'intervalle de confiance à 95%)

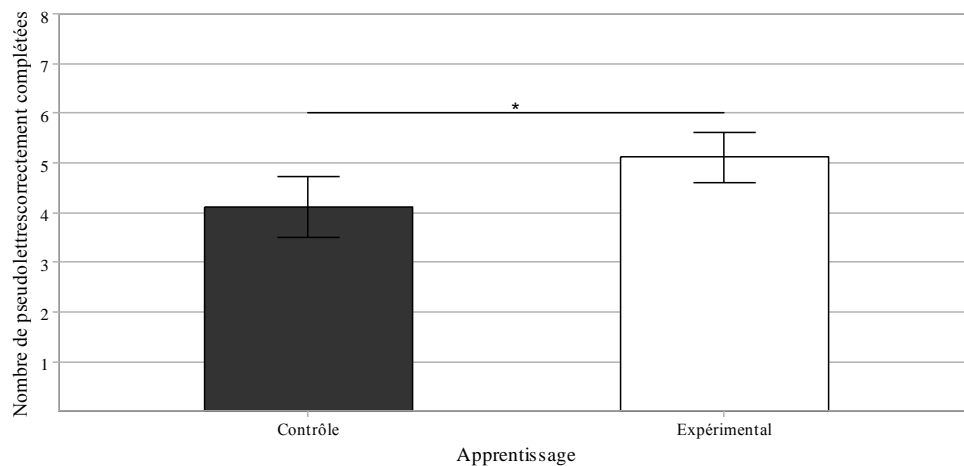


Figure 33 : Nombre moyen de pseudo-lettres correctement complétées en fonction du type d'entraînement (les barres d'erreurs représentent l'intervalle de confiance à 95%)

3.2 Effet de la modalité de tracé

Des analyses de variance (ANOVAs) à mesures répétées ont été conduites sur les mesures de reconnaissance et de rappel avec l'orientation de la forme (gauche vs. droite) et la directionnalité du tracé (gauche-droite vs. droite-droite) comme facteurs intra-participants.

L'analyse des scores de reconnaissance ne montre pas d'effet d'interaction entre l'orientation de la pseudo-lettre et la directionnalité du tracé, $F(1, 26) = 1.73$, $p = .19$, ni d'effets simples de ces facteurs ($p_s > .40$) (Figure 34). Un effet d'interaction a été mis en

évidence pour la tâche de complètement, $F(1, 26) = 7.06, p = .01, \eta^2_G = .04$, (Figure 35). Des analyses de contrastes au sein de chaque modalité d'orientation montrent un effet de congruence avec la direction du tracé pour une orientation à droite ($p = .02, d_z = .46$). Dans cette condition, les performances de complètement sont meilleures lorsque les pseudo-lettres sont tracées de gauche à droite ($M = 1.52, ET = 0.58$) plutôt que de droite à gauche ($M = 1.07, ET = 0.68$). L'effet de congruence n'apparaît pas avec la modalité d'orientation à gauche ($p = .56$).

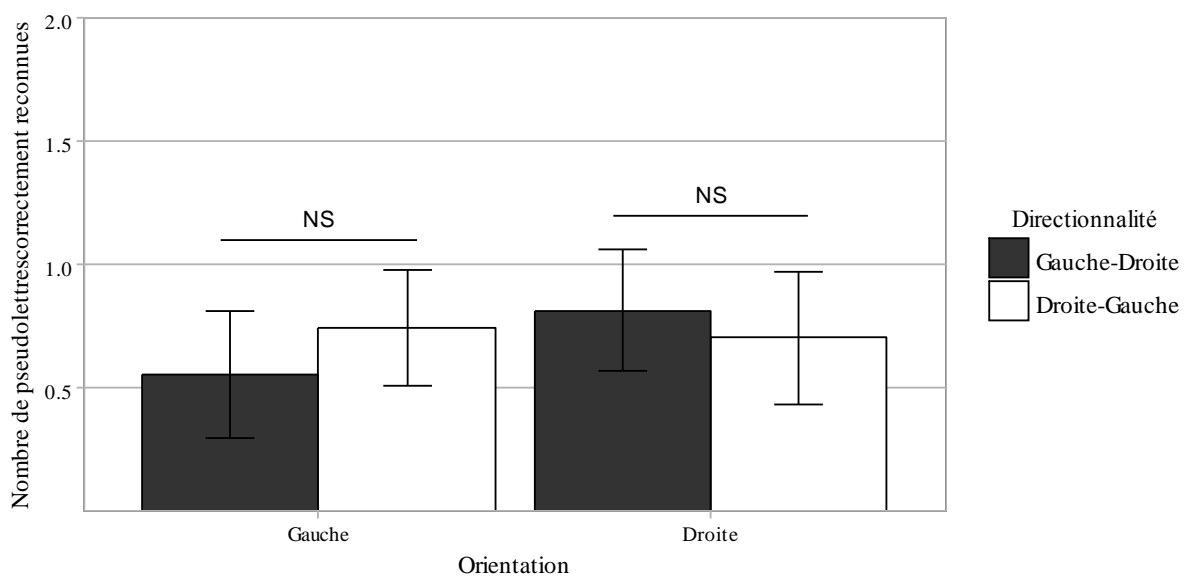


Figure 34: Nombre moyen de pseudo-lettres correctement reconnues en fonction de la modalité d'entraînement manuscrit (les barres d'erreurs représentent l'intervalle de confiance à 95%)

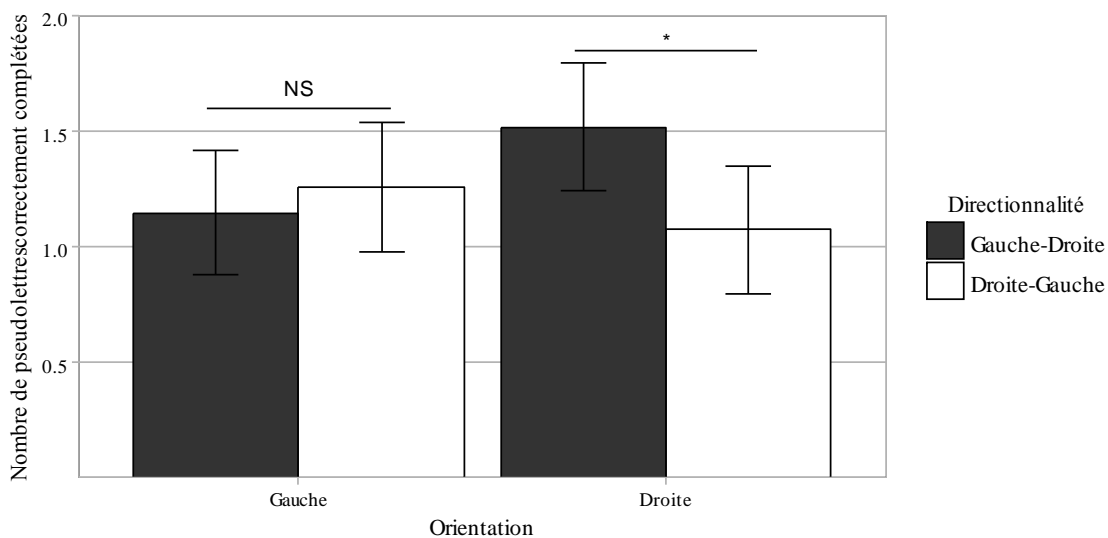


Figure 35: Nombre moyen de pseudo-lettres correctement complétées en fonction de la modalité d'entraînement manuscrit (les barres d'erreurs représentent l'intervalle de confiance à 95%)

4. DISCUSSION

L'objectif premier de l'étude présente était d'examiner l'influence de la directionnalité du tracé dans la reconnaissance et le rappel de l'orientation de la forme de pseudo-lettres. À cette fin, un groupe manuscrit apprenait les pseudo-lettres à travers des activités de tracé et de copie selon une directionnalité imposée : congruente ou non congruente avec l'orientation de la forme de la pseudo-lettre. Egalement, les performances du groupe manuscrit étaient comparées à celles d'un groupe contrôle qui apprenait les pseudo-lettres par des activités de coloriage et de dessin sans manipuler la trajectoire de la lettre.

La tâche de reconnaissance visuelle proposée à l'issue de l'entraînement ne faisait pas apparaître de différence entre les groupes d'entraînement (manuscrit vs. contrôle) ni entre les modalités de l'entraînement manuscrit (directionnalité congruente vs. non congruente). Au regard des faibles performances obtenues, ce résultat peut être imputé à la complexité de la tâche de reconnaissance en lien avec les caractéristiques du matériel expérimental, les processus cognitifs impliqués dans les performances à la tâche de reconnaissance et les caractéristiques de l'entraînement. En effet, l'entraînement de formes de pseudo-lettres totalement inconnues du répertoire des enfants aurait nécessité un entraînement plus long par rapport à des lettres auxquelles les enfants sont exposés quotidiennement et de manière extensive, comme les capitales latines dans l'étude de Longcamp (2005). Egalement, les performances évaluées dans des tâches de reconnaissance à choix multiple reflètent dans une large mesure le degré de familiarité à l'item (Jacoby, 1991) et ce, d'autant plus lorsque le nombre d'alternatives est faible (deux dans notre étude contre quatre dans l'étude de Longcamp). En outre, le niveau de familiarité variait peu entre les deux alternatives puisqu'il s'agissait d'une même forme présentée selon des orientations opposées. Dans l'étude de Longcamp (2005), la familiarité de l'orientation conventionnelle des lettres bénéficiait du fait qu'elle soient déjà connues par les enfants. Enfin, l'objectif principal de l'étude était

d'investiguer l'influence de la directionnalité sur la reconnaissance de l'orientation de pseudo-lettres. Un guidage visuel a alors été intégré aux activités d'écriture du groupe manuscrit afin de pouvoir manipuler et contrôler au maximum la séquentialité et la directionnalité de chaque trait. Contrairement à l'étude de Longcamp et collaborateurs (2005), l'écriture manuscrite n'était pas exécutée librement. Les tâches d'écriture manuscrite libre permettent la production d'exemplaires variés contrairement aux tâches de tracé où la directionnalité, imposée par le modèle en pointillés par exemple, contraint la forme produite. Une étude chez l'enfant pré-lecteur a montré qu'un entraînement manuscrit libre entraîne une activation plus importante et généralisée des régions impliquées dans les processus de lecture et d'écriture lors de la perception visuelle de lettres (i.e., le gyrus frontal inférieur gauche, le gyrus fusiforme et le cortex pariétal postérieur) qu'un entraînement nécessitant de tracer la forme sur des contours en pointillés (James & Engelhardt, 2012). Au-delà des interactions perceptivo-motrices, ce serait la production de formes non stéréotypées qui faciliterait la reconnaissance ultérieure en favorisant l'abstraction des caractéristiques saillantes et invariantes des lettres et la construction d'une représentation plus large (Li & James, 2016). Les activités d'écriture proposées au groupe manuscrit bénéficieraient moins à la reconnaissance visuelle des lettres que des tâches libres d'écriture manuscrite.

La tâche de complètement fait apparaître des différences entre les groupes d'entraînement avec un avantage pour le groupe manuscrit. Le bénéfice de la motricité de l'écriture à cette tâche ne peut être uniquement lié à la spécificité de l'encodage de l'information spatiale (Naka & Naoi, 1995). En effet, un effet de la congruence de tracé apparaissait à cette même tâche. La directionnalité morpho-cinétique contribuait positivement au rappel de la lettre uniquement lorsqu'elle fournissait des informations sur les caractéristiques spatiales des formes c'est-à-dire lorsqu'elle était congruente avec l'orientation. Contrairement aux résultats obtenus par Courrieu et de Falco (1989), le bénéfice

Etude 4. Contribution de la directionnalité de l'écriture à la reconnaissance des lettres

de la motricité de l'écriture au traitement de l'orientation des lettres n'est pas limité à l'acquisition de connaissances sur leurs traits constitutifs. En effet, des différences entre les modalités d'entraînement manuscrit apparaissaient dans l'étude bien que les informations de segmentation de la lettre soient identiques à l'ensemble des modalités. Ainsi, il existe un effet spécifique des informations dynamiques du tracé manuscrit dans le rappel subséquent. Elle associe l'expérience motrice de la trajectoire des lettres et l'expérience perceptive de sa forme. La directionnalité de l'écrit pourrait contribuer aux processus de dé-généralisation en miroir des images latérales.

POINTS CLES DE L'ETUDE 4

CHEZ L'ENFANT D'AGE PRESCOLAIRE :

- > Le bénéfice de la motricité de l'écriture sur le rappel de l'orientation des formes de pseudo-lettres est dépendant de la directionnalité morpho-cinétique
- > Une directionnalité congruente constitue un indice saillant de l'orientation des lettres
- > L'écriture manuscrite est un outil pertinent pour soutenir l'acquisition de connaissances sur les formes particulières de lettres

DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

Le postulat fondamental qui a donné lieu à ce travail de thèse est que nos mouvements structurent notre représentation de l'espace. Le traitement de certaines orientations, comme l'axe vertical, bénéficie d'une prédisposition phylogénétique enracinée dans l'expérience physique de forces environnementales. Par contraste, le traitement de l'axe horizontal témoigne spécifiquement d'une contrainte structurelle à la symétrisation. Notamment, le système visuel n'apparaît pas équipé à la naissance pour traiter les images latérales de manière différenciée. Cependant, la perception et la manipulation d'objets asymétriques, qu'ils soient concrets ou abstraits, font apparaître des tendances directionnelles. Un exemple particulier est le phénomène d'écriture en miroir dans l'acquisition initiale et typique de l'écrit qui se manifeste par un biais d'orientation à droite des formes de lettres. Les tendances directionnelles sont multi-déterminées. La directionnalité de l'écrit en constitue un facteur prédominant des tendances directionnelles au sein des activités de littératie et même au-delà.

L'objectif de la thèse était d'investiguer l'évolution développementale de la directionnalité de l'écrit et sa contribution au traitement des formes de lettres. À cette fin, deux axes de recherches empiriques ont été développés. Cette section finale est destinée à intégrer l'ensemble des résultats obtenus dans des questionnements théoriques et applicatifs plus larges que ceux développés à la suite de chaque étude empirique. Des limites et perspectives de recherches seront également évoquées.

1 LA DIRECTIONNALITE DE L'ECRIT BRISE LA SYMETRIE

Vous avez 4 ans. Vous venez de vous réveiller pour aller à l'école. Vous traversez le salon pour vous rendre dans la cuisine et vous apercevez les informations qui défilent sur la partie basse de l'écran de télévision. Au petit déjeuner, votre regard se pose, encore endormi, sur la liste des ingrédients de la boîte de céréales. Vous êtes en retard, vite ! Se brosser les dents, s'habiller. Vous prenez quand même le temps de caresser Lili, le chien. Sans doute sans

vous en rendre compte, vous aurez perçu toute sorte d'écriture : la marque du dentifrice, les consignes de lavage sur l'étiquette de votre pull, le numéro de téléphone sur le médaillon de votre chien. Puis, il y aura les graffitis colorés de l'autre côté de la rue et les panneaux routiers qui défilent à la vitre de la voiture. Avant d'avoir ouvert un livre, avant même d'avoir franchi la porte de l'école, vous avez été exposé à maintes reprises à de l'information écrite. Bien qu'informelles, ces expériences de littératie peuvent être le support d'un apprentissage statistique. En effet, les enfants sont très tôt capables de repérer la régularité des fréquences d'apparition des événements dans l'environnement et d'en extraire une structure générale. L'apprentissage statistique repose sur deux critères : 1) la structure d'un objet est rendue accessible par certains éléments caractéristiques et; 2) les apprenants disposent des mécanismes d'apprentissage appropriés pour utiliser les éléments caractéristiques afin de découvrir la structure sous-jacente de l'objet (Saffran, 2010). Cette habileté a été détectée très précocement chez le nourrisson (Teinonen, Fellman, Näätänen, Alku, & Huotilainen, 2009). Elle permet de soutenir d'importantes acquisitions notamment dans le domaine du langage oral (Saffran, Aslin, & Newport, 1996). Egalement, l'écrit constitue un domaine de connaissance hautement structuré à la fois par les caractéristiques culturelles de la langue et celles du système d'écriture. Les résultats obtenus dans cette thèse suggèrent une acquisition synchrone des invariants universels (i.e., l'écriture est uni-directionnelle) et des spécificités culturelles du système d'écriture (i.e., la langue est transcrite de gauche à droite). En effet, la directionnalité conventionnelle de l'écrit apparaissait dès 4 ans dans l'agencement de formes simples dans l'espace (Etude 2) conformément à des résultats antérieurs (Brenneman et al., 1996; Gombert & Fayol, 1992). Une directionnalité préférentielle et alignée sur la direction de l'écriture émergeait à 6 ans à la copie de formes graphiques plus complexes, en lien avec le développement de compétences d'analyse spatiale et une augmentation significative de l'expérience de l'écrit (Portex, Foulin, & Troadec, 2016). Ces résultats rejoignent ceux

obtenus pour l'orientation de la ligne d'écriture (Treiman et al., 2015) en faveur de l'hypothèse d'un apprentissage statistique de la structure externe de l'écrit (Pollo et al., 2009; Treiman et al., 2007, 2015). Il en est de même pour certaines connaissances relatives aux lettres, de leur forme globale (Treiman & Yin, 2011) jusqu'à des principes grapho-tactiques (Pollo et al., 2009).

En ce qui concerne l'orientation des lettres, l'hypothèse d'un apprentissage statistique a été évoquée par Treiman et collaborateurs (Treiman et al., 2014; Treiman & Kessler, 2011) sur la base des erreurs d'écriture en miroir observées chez l'enfant pré-lettré. En effet, ces erreurs ne sont pas distribuées de manière équilibrée sur l'ensemble des caractères mais portent de façon marquée sur les caractères orientés à gauche (i.e., de type « d »). Elles reflèteraient ainsi la mobilisation d'une connaissance implicite sur la prévalence de l'orientation à droite pour les caractères lorsque l'orientation des formes n'est pas disponible en mémoire (Treiman et al., 2014; Treiman & Kessler, 2011). Les études 3a et 3b constituent des arguments empiriques qui affaiblissent l'hypothèse d'un apprentissage statistique pour l'orientation des caractères. En effet, les résultats obtenus révélaient une invariance cinématique entre les productions conventionnelles et celles d'écriture en miroir (Etude 3a) et une absence d'orientation préférentielle pour une variété de caractères (Etude 3b). Si l'orientation des lettres permet, par sa structure barre-appendice, l'applicabilité d'un apprentissage statistique (Treiman et al., 2014), les enfants pré-lettrés ne semblent pas disposer des mécanismes d'apprentissage appropriés pour la saisir. Par conséquent, l'orientation des lettres échapperait exceptionnellement à cette forme d'apprentissage. Néanmoins, apprendre l'orientation des lettres revêt un enjeu éducatif important car elle constitue une composante saillante de leur forme. Les résultats obtenus en production (Etude 3a) sont conformes à l'hypothèse théorique de la règle implicite d'orientation/écriture développée par Fischer (2017a) : les erreurs d'orientation à droite constituent une

manifestation culturelle dans les systèmes d'écriture gauche-droite d'un biais universel à orienter les lettres dans le sens de l'écriture. L'hypothèse d'universalité de la règle universelle mériterait cependant d'être testée pour d'autres systèmes d'écriture horizontaux qui comportent des formes de caractères différentes. En effet, la structure barre-appendice de nos lettres semble constituer une caractéristique particulièrement propice à induire des confusions en miroir. Pour exemple, l'estompage de la barre verticale s'est avéré suffisant pour réduire la tendance des enfants à confondre les lettres « d », « b », « p » et « q » dans une tâche de recherche visuelle (Hyman, 1975). Plus spécifiquement, les résultats obtenus dans cette thèse ont mis en évidence que l'influence de la directionnalité topo-cinétique sur l'orientation des formes résulte des fortes contraintes qu'elle impose au niveau morpho-cinétique chez l'enfant pré-lettré (Etude 3a). La directionnalité morpho-cinétique de l'écriture manuscrite était également impliquée dans le rappel subséquent de l'orientation comme attesté par un effet de congruence entre la directionnalité morpho-cinétique et l'orientation de la lettre sur les performances de rappel (Etude 4). Ce résultat constitue un argument supplémentaire en faveur du rôle majeur de la motricité de l'écriture manuscrite dans l'émergence d'une spécialisation fonctionnelle du traitement visuel de la forme des lettres (James & Atwood, 2009). D'un point de vue appliqué, il existerait un effet bénéfique de l'apprentissage d'un ductus, dès la fin de la maternelle, pour les lettres capitales qui permettrait de favoriser l'acquisition de connaissances sur les formes de lettres, en particulier leur orientation, en amorçant le processus de dé-généralisation en miroir. Par ailleurs, les résultats obtenus ne permettent pas de déterminer si la contribution de la directionnalité de l'écrit intervient au niveau du processus moteur, en permettant un couplage en direct d'informations visuelles et motrices, ou au niveau du produit perceptif par l'extraction de caractéristiques dynamiques du geste. Des recherches futures cherchant à dissocier ces effets permettraient de proposer des pistes pédagogiques plus précises.

De manière plus globale, ce champ de recherche fournit des éléments supplémentaires en faveur de la pertinence d'une approche incarnée de la cognition.

2 LES TENDANCES DIRECTIONNELLES A LA LUMIERE DE LA COGNITION INCARNEE

Les tendances directionnelles sont déterminées par une interaction entre des facteurs distaux et proximaux dont le poids relatif varie dans le développement. La distinction d'effets *online* et *offline* proposés par Wilson (2002) fournit un cadre heuristique pour comprendre la valeur fonctionnelle de ces interactions dans une approche incarnée des processus cognitifs.

Les représentations *online* font référence à des informations sensori-motrices intégrées à la tâche en cours qui vont impacter la cognition. Ainsi, la pensée fonctionne au service du corps en interaction avec l'environnement. Dans le cadre des tendances directionnelles, les facteurs contextuels pourraient être considérés comme une représentation *online*. En effet, l'orientation de la forme (facteur syntaxique) et la main active (facteur biomécanique), manipulées dans l'étude 1, constituent des informations sensori-motrices qui contraignent l'exploration visuo-motrice du stimulus. Les représentations *offline* renvoient à des représentations sensori-motrices internes, formées préalablement à la tâche en cours qui assistent la cognition. Elles transcendent le domaine de l'activité au-delà du contexte initial de leur construction. Dans ce cas, le corps fonctionne au service de la pensée. Dans le cadre des tendances directionnelles, la directionnalité de l'écrit pourrait être considérée comme une représentation *offline*. En effet, notre expérience de l'écrit promeut une stratégie de balayage visuo-moteur alignée sur la direction de l'écriture qui imprègne la façon dont nous percevons et nous représentons des objets concrets et abstraits dans l'espace (Maass, Suitner, & Deconchy, 2014). Cet élément trouve un écho particulier dans le renforcement de la directionnalité alignée sur la direction de l'écriture qui apparaît dans le graphisme avec une expérience croissante de l'écrit (Portex et al., 2016). Concernant les interactions possibles

entre les représentations *online* et *offline*, les travaux de Suitner et Giacomantonio (2012) montraient, dans le domaine de la représentation spatiale de l'agentisme, que le niveau de représentation mentale amorcée impactait l'accessibilité aux représentations *online*. En condition abstraite, les représentations *offline* étaient dominantes et s'exprimaient par un effet massif de la directionnalité de l'écrit. En condition concrète, les représentations *online* (i.e., l'organisation syntaxique de la phrase) étaient plus opérantes et s'exprimaient à travers des effets de congruence. De manière générale, une potentialisation des performances ou d'une tendance est observée lorsque les représentations *online* et *offline* sont congruentes (Niedenthal, Barsalou, Winkielman, Krauth-Gruber, & Ric, 2005). Nos résultats corroborent cette proposition chez des enfants de 8 ans en mettant en évidence une influence de la signification attribuée au stimulus sur le poids relatif de ces deux formes de représentations dans la mobilisation d'une directionnalité graphique (Portex et al., 2016). Au même titre que les participants adultes dans l'étude de Suitner et Giacomantonio (2012), les enfants de 8 ans bénéficiaient d'un niveau d'expérience de l'écrit suffisant pour que des tâches indépendantes activent la représentation *offline* des expériences sensori-motrices liées à la direction de l'écriture. Par ailleurs, les résultats obtenus chez les enfants plus jeunes dans la même étude peuvent permettre d'éclairer le processus d'incarnation culturelle dans une perspective développementale au regard de la dynamique des interactions. Dans cette optique, il est nécessaire de dépasser une représentation dichotomisée des processus *online* et *offline* au profit d'une vision en continuum comme suggérée par Carruthers (2008) et Tsakiris et Fotopoulou (2008). Si on considère également que certaines représentations *offline* émergent de la répétition d'expériences sensori-motrices *online* (Niedenthal et al., 2005), alors une représentation pourrait avoir un statut intermédiaire sur le continuum au cours du processus d'incarnation. Ainsi, plus les représentations sensori-motrices liées à la direction de l'écriture « avancent » du côté *offline* du continuum, plus l'influence culturelle est opérante dans une

variété de contextes. Une absence d'influence culturelle dans le graphisme à 5 ans peut alors être expliquée par une expérience non intensive et informelle de l'écrit. Néanmoins, les enfants sont capables à cet âge d'utiliser des expériences sensori-motrices liées à la direction de l'écriture à travers des représentations *online*. Cette compétence est mobilisée dans les paradigmes d'amorçage et permet d'expliquer les différences de résultats sur l'âge chronologique d'apparition de l'influence culturelle (Göbel et al., 2018; Patro et al., 2016). Les enfants de 6 ans, qui ont une expérience intermédiaire de l'écriture, présentent quant à eux une directionnalité préférentielle et alignée sur la direction de l'écriture uniquement lorsque les représentations *online* sont congruentes (i.e., main droite et orientation droite). Cela pourrait suggérer l'existence d'une représentation *offline* « dormante » mobilisable uniquement avec le support de représentations *online*. Cette hypothèse semble soutenue par les résultats obtenus dans l'étude 4 qui investiguait l'effet de la motricité de l'écriture manuscrite sur la reconnaissance et le rappel de l'orientation de la forme des lettres. Dans ce champ de recherche, la motricité de l'écriture peut être considérée comme une représentation *offline* car elle est automatiquement recrutée par la perception des lettres pour assister la reconnaissance. Ainsi, des techniques d'écriture différentes affectent différemment les performances en tâche de reconnaissance (Bara & Gentaz, 2011; Bara et al., 2007; Longcamp et al., 2008, 2006; Longcamp, Zerbato-Poudou, et al., 2005). Certaines traces mnésiques sensorielles et motrices formées au cours d'un apprentissage seraient plus pertinentes que d'autres pour contribuer à la performance subséquente de reconnaissance (Kiefer & Trumpp, 2012). Les résultats dans cette thèse suggèrent que l'orientation des lettres peut être prédite chez l'enfant à partir de la directionnalité morpho-cinétique (Etude 3a). Celle-ci pourrait donc constituer une information pertinente, acquise lors de l'apprentissage de l'écriture des lettres, qui contribuerait à leur reconnaissance et plus spécifiquement à la reconnaissance de leur orientation. L'étude 4 a été conçue pour évaluer spécifiquement cette hypothèse qu'elle

confirme en partie. En effet, un avantage de la congruence entre la directionnalité et l'orientation était mis en évidence uniquement dans une tâche de rappel qui comportait une composante motrice et non dans une tâche « purement » visuelle de reconnaissance. Les effets dissociés de la modalité d'entraînement en fonction des performances évaluées ont été initialement interprétés en référence à la complexité de la tâche de reconnaissance visuelle. De manière complémentaire, ce résultat peut être compris en référence au processus d'incarnation. La tâche de rappel fournit des informations contextuelles qui ravivent la représentation *offline* « dormante » lorsque l'apprentissage ne permet pas une répétition suffisante des expériences sensori-motrices. A l'inverse, la tâche de reconnaissance ne fournissant aucune information contextuelle repose uniquement sur des représentations *offline* qui seules ne sont pas encore opérantes.

En conclusion, le développement d'une représentation *offline* d'expériences sensori-motrices liées à la direction de l'écriture revêt une double fonction culturelle et cognitive. D'une part, elle permet la coordination des comportements des individus au sein d'une même culture dans les activités de littératie et au-delà. D'autre part, elle facilite également le traitement des objets asymétriques par un principe d'économie cognitive et également en soutenant d'autres représentations. Plus important encore, c'est la flexibilité de ces représentations qui permettent d'interagir efficacement avec l'environnement physique et social. La valeur fonctionnelle de ces représentations et plus globalement la pertinence de ce modèle dans le champ spécifique de la directionnalité de l'écrit, mériteraient de faire l'objet de recherches futures.

Références

- Adams, M. J. (1990). *Beginning to read: Learning and thinking about print*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Adi-Japha, E., & Freeman, N. H. (2000). Regulation of division of labour between cognitive systems controlling action. *Cognition*, 76(1), 1-11.
- Adi-Japha, E., & Freeman, N. H. (2001). Development of differentiation between writing and drawing systems. *Developmental Psychology*, 37(1), 101-114.
- Akshoomoff, N. A., & Stiles, J. (1995). Developmental trends in visuospatial analysis and planning: I. Copying a complex figure. *Neuropsychology*, 9(3), 364.
- Anderson, P., Anderson, V., & Garth, J. (2001). Assessment and development of organizational ability: The Rey complex figure organizational strategy score (RCF-OSS). *The Clinical Neuropsychologist*, 15(1), 81-94.
- Anderson, S. W., Damasio, A. R., & Damasio, H. (1990). Troubled letters but not numbers: Domain specific cognitive impairments following focal damage in frontal cortex. *Brain*, 113(3), 749-766.
- Ardila, A., Rosselli, M., & Rosas, P. (1989). Neuropsychological assessment in illiterates: Visuospatial and memory abilities. *Brain and cognition*, 11(2), 147-166.
- Ahr, E., Houdé, O., & Borst, G. (2016). Inhibition of the mirror generalization process in reading in school-aged children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 145, 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2015.12.009>
- Babcock, M. K., & Freyd, J. J. (1988). Perception of Dynamic Information in Static Handwritten Forms. *The American Journal of Psychology*, 101(1), 111-130. <https://doi.org/10.2307/1422797>
- Bakeman, R. (2005). Recommended effect size statistics for repeated measures designs. *Behavior research methods*, 37(3), 379-384.
- Bara, F., & Gentaz, E. (2011). Haptics in teaching handwriting: The role of perceptual and visuo-motor skills. *Human movement science*, 30(4), 745-759.
- 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.
- Bartolomeo, P., Bachoud-Lévi, A. C., Chokron, S., & Degos, J.-D. (2002). Visually- and motor-based knowledge of letters: evidence from a pure alexic patient. *Neuropsychologia*, 40(8), 1363-1371.
- Beaumont, J. G. (1985). Lateral organization and aesthetic preference: The importance of peripheral visual asymmetries. *Neuropsychologia*, 23(1), 103-113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(85\)90048-X](https://doi.org/10.1016/0028-3932(85)90048-X)
- Bellaj, T. (2011). Evaluation psychologique et culture: aspects conceptuels et méthodologiques. In B. Troadec & T. Bellaj, *Psychologies et cultures* (p. 209-236). Paris: L'Harmattan.
- Blom, E. C. (1928). Mirror-writing. *Psychological Bulletin*, 25(10), 582.
- Bornstein, M. H., Gross, C. G., & Wolf, J. Z. (1978). Perceptual similarity of mirror images in infancy. *Cognition*, 6(2), 89-116.
- Bourne, V. J. (2008). Examining the relationship between degree of handedness and degree of cerebral lateralization for processing facial emotion. *Neuropsychology*, 22(3), 350.
- Bowers, D., & Heilman, K. M. (1980). Pseudoneglect: effects of hemispace on a tactile line bisection task. *Neuropsychologia*, 18(4-5), 491-498.

- Bradshaw, J. L., & Bradshaw, J. A. (1988). Reading mirror-reversed text: Sinistrals really are inferior. *Brain and language*, 33(1), 189-192.
- Bradshaw, J. L., Nettleton, N. C., Wilson, L., & Burden, V. (1985). Mirror reading in right and left handers: Are sinistrals really superior? *Brain and Language*, 26(2), 322-331. [https://doi.org/10.1016/0093-934X\(85\)90046-X](https://doi.org/10.1016/0093-934X(85)90046-X)
- Bradshaw, J. L., Spataro, J. A., Harris, M., Nettleton, N. C., & Bradshaw, J. (1988). Crossing the midline by four to eight year old children. *Neuropsychologia*, 26(2), 221-235.
- Braswell, G. S., & Rosengren, K. S. (2002). The role of handedness in graphic production: Interactions between biomechanical and cognitive factors in drawing development. *British Journal of Developmental Psychology*, 20(4), 581-599.
- Brenneman, K., Massey, C., Machado, S. F., & Gelman, R. (1996). Young children's plans differ for writing and drawing. *Cognitive Development*, 11(3), 397-419. [https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(96\)90011-8](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(96)90011-8)
- Brodie, E. E., & Dunn, E. M. (2005). Visual line bisection in sinistrals and dextrals as a function of hemispace, hand, and scan direction. *Brain and cognition*, 58(2), 149-156.
- Brodie, E. E., & Pettigrew, L. E. (1996). Is left always right? Directional deviations in visual line bisection as a function of hand and initial scanning direction. *Neuropsychologia*, 34(5), 467-470.
- Brown, J. S., Knauft, E. B., & Rosenbaum, G. (1948). The Accuracy of Positioning Reactions as a Function of Their Direction and Extent. *The American Journal of Psychology*, 61(2), 167-182. <https://doi.org/10.2307/1416963>
- Bultitude, J. H., & Davies, A. M. A. (2006). Putting attention on the line: Investigating the activation-orientation hypothesis of pseudoneglect. *Neuropsychologia*, 44(10), 1849-1858.
- Carruthers, G. (2008). Reply to Tsakiris and Fotopoulou « Is My Body the Sum of Online and Offline Body Representations ». *Consciousness and Cognition*, 17(1321), 1323.
- Casasanto, D. (2009). Embodiment of abstract concepts: good and bad in right- and left-handers. *Journal of Experimental Psychology. General*, 138(3), 351-367. <https://doi.org/10.1037/a0015854>
- Casasanto, D., & Bottini, R. (2014). Mirror reading can reverse the flow of time. *Journal of Experimental Psychology. General*, 143(2), 473-479. <https://doi.org/10.1037/a0033297>
- Casasanto, D., & Chrysikou, E. G. (2011). When left is "right" motor fluency shapes abstract concepts. *Psychological Science*, 22(4), 419-422.
- Chao, L. L., & Martin, A. (2000). Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream. *Neuroimage*, 12(4), 478-484.
- Chartrel, E., & Vinter, A. (2004). L'écriture : une activité longue et complexe à acquérir. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 16(78), 174-180.
- Chartrel, E., & Vinter, A. (2006). Rôle des informations visuelles dans la production de lettres cursives chez l'enfant et l'adulte. *L'année psychologique*, 106(1), 43-63.
- Chartrel, E., & Vinter, A. (2008). The impact of spatio-temporal constraints on cursive letter handwriting in children. *Learning and Instruction*, 18(6), 537-547.
- Chatterjee, A., Maher, L. M., & Heilman, K. M. (1995). Spatial characteristics of thematic role representation. *Neuropsychologia*, 33(5), 643-648.
- Chatterjee, A., Maher, L. M., Rothi, L. J. G., & Heilman, K. M. (1995). Asyntactic Thematic Role Assignment: The Use of a Temporal-Spatial Strategy. *Brain and Language*, 49(2), 125-139. <https://doi.org/10.1006/brln.1995.1024>
- Chatterjee, A., Southwood, M., & Basilico, D. (1999). Verbs, events and spatial representations. *Neuropsychologia*, 37(4), 395-402.

- Chia, L. G., & Kinsbourne, M. (1987). Mirror-writing and reversed repetition of digits in a right-handed patient with left basal ganglia haematoma. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *50*(6), 786-788.
- Chiang, C. H., Ballantyne, A. O., & Trauner, D. A. (2000). Development of Perceptual Asymmetry for Free Viewing of Chimeric Stimuli. *Brain and Cognition*, *44*(3), 415-424. <https://doi.org/10.1006/brcg.1999.1202>
- Chiappedi, M., Togni, R., De Bernardi, E., Baschenis, I. M. C., Battezzato, S., Balottin, U., ... Bejor, M. (2012). Arm trajectories and writing strategy in healthy children. *BMC Pediatrics*, *12*, 173. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-12-173>
- Chokron, S., Colliot, P., & Bartolomeo, P. (2004). The role of vision in spatial representation. *Cortex*, *40*(2), 281-290.
- Chokron, S., & De Agostini, M. (1995). Reading habits and line bisection: A developmental approach. *Cognitive Brain Research*, *3*(1), 51-58.
- Chokron, S., & De Agostini, M. (2000). Reading habits influence aesthetic preference. *Cognitive Brain Research*, *10*(1), 45-49.
- Chung, H. K. S., Liu, J. Y. W., & Hsiao, J. H. (2017). How does reading direction modulate perceptual asymmetry effects? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *70*(8), 1559-1574. <https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1193549>
- Cohen, L., & Dehaene, S. (2004). Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area. *NeuroImage*, *22*(1), 466-476. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.12.049>
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehéricy, S., Dehaene-Lambertz, G., Hénaff, M. A., & Michel, F. (2000). The visual word form area: spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain: A Journal of Neurology*, *123* (Pt 2), 291-307.
- Cohen, L., Martinaud, O., Lemer, C., Lehéricy, S., Samson, Y., Obadia, M., ... Dehaene, S. (2003). Visual word recognition in the left and right hemispheres: anatomical and functional correlates of peripheral alexias. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, *13*(12), 1313-1333.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological review*, *108*(1), 204.
- Corballis, M. C., & Beale, I. L. (1976). *The psychology of left and right* (Vol. x). Oxford, England: Lawrence Erlbaum.
- Cornell, J. M. (1985). Spontaneous mirror-writing in children. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie*, *39*(1), 174-179. <https://doi.org/10.1037/h0080122>
- Courrieu, P., & de Falco, S. (1989). Segmental vs. dynamic analysis of letter shape by preschool children. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*. Consulté à l'adresse <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1989-36027-001>
- Critchley, M. (1927). *The significance of mirror writing*. SAGE Publications.
- Cubelli, R., & Della Sala, S. (2009). Mirror writing in pre-school children: a pilot study. *Cognitive Processing*, *10*(2), 101-104. <https://doi.org/10.1007/s10339-008-0233-z>
- Cunningham, A. E., & Stanovich, K. E. (1990). Early Spelling Acquisition: Writing Beats the Computer. *Journal of Educational Psychology*, *82*(1), 159-62.
- Danna, J., & Velay, J.-L. (2015). Basic and supplementary sensory feedback in handwriting. *Frontiers in Psychology*, *6*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00169>
- De Agostini, M., & Chokron, S. (2002). The influence of handedness on profile and line drawing directionality in children, young, and older normal adults. *Brain and Cognition*.

- de Boisferon, A. H., 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.
- Dehaene, S. (2007). *Neurones de la lecture (Les): La nouvelle science de la lecture et de son apprentissage*. Odile Jacob.
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(3), 371.
- Dehaene, S., Nakamura, K., Jobert, A., Kuroki, C., Ogawa, S., & Cohen, L. (2010). Why do children make mirror errors in reading? Neural correlates of mirror invariance in the visual word form area. *NeuroImage*, 49(2), 1837-1848. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.09.024>
- Della Sala, S., & Cubelli, R. (2007). « Directional apraxia »: a unitary account of mirror writing following brain injury or as found in normal young children. *Journal of Neuropsychology*, 1, 3-26.
- Demont, É., & Gombert, J.-É. (2004). L'apprentissage de la lecture : évolution des procédures et apprentissage implicite, SUMMARY. *Enfance*, 56(3), 245-257.
- Dobel, C., Diesendruck, G., & Bölte, J. (2007). How writing system and age influence spatial representations of actions: A developmental, cross-linguistic study. *Psychological Science*, 18(6), 487-491.
- Dreman, S. B. (1977). A Review of Directionality Trends in the Horizontal Dimension as a Function of Innate and Environmental Factors. *The Journal of General Psychology*, 96(1), 125-134. <https://doi.org/10.1080/00221309.1977.9920806>
- Ecalte, J. (2003). *Timé-2: test d'identification de mots écrits pour enfants de 6 à 8 ans*. Paris: Editions du centre de psychologie appliquée.
- Fagard, J., & Dahmen, R. (2003). The effects of reading-writing direction on the asymmetry of space perception and directional tendencies: a comparison between French and Tunisian children. *Laterality*, 8(1), 39-52. <https://doi.org/10.1080/713754473>
- Failla, C. V., Sheppard, D. M., & Bradshaw, J. L. (2003). Age and responding-hand related changes in performance of neurologically normal subjects on the line-bisection and chimeric-faces tasks. *Brain and cognition*, 52(3), 353-363.
- Farias, D., Davis, C., & Harrington, G. (2006). Drawing: Its contribution to naming in aphasia. *Brain and language*, 97(1), 53-63.
- Farrell, W. S. (1979). Coding left and right. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5(1), 42.
- Ferretti, G., Mazzotti, S., & Brizzolara, D. (2008). Visual scanning and reading ability in normal and dyslexic children. *Behavioural Neurology*, 19(1-2), 87-92.
- Fischer, J-P. (2011). Mirror writing of digits and (capital) letters in the typically developing child. *Cortex*, 47(6), 759-762. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.01.010>
- Fischer, J-P. (2013). Digit reversal in children's writing: A simple theory and its empirical validation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 115(2), 356-370. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.02.003>
- Fischer, J-P. (2017a). Character reversal in children: the prominent role of writing direction. *Reading and Writing*, 30(3), 523-542. <https://doi.org/10.1007/s11145-016-9688-y>
- Fischer, J-P. (2017b). Studies on the written characters orientation and its influence on digit reversal by children. *Educational Psychology*. Consulté à l'adresse <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01443410.2017.1359239>
- Fischer, J-P & Koch, A.-M. (2016a). Mirror writing in 5- to 6-year-old children: The preferred hand is not the explanation. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 21(1), 34-49. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2015.1066383>

- Fischer, J-P & Koch, A.-M. (2016b). Mirror writing in typically developing children: A first longitudinal study. *Cognitive Development*, 38, 114-124. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2016.02.005>
- Fischer, M.H, Mills, R. A., & Shaki, S. (2010). How to cook a SNARC: Number placement in text rapidly changes spatial–numerical associations. *Brain and cognition*, 72(3), 333-336.
- Fischer, M.H, Shaki, S., & Cruise, A. (2009). It takes just one word to quash a SNARC. *Experimental Psychology*, 56(5), 361-366. <https://doi.org/10.1027/1618-3169.56.5.361>
- Fischer, J-P & Tazouti, Y. (2012). Unraveling the mystery of mirror writing in typically developing children. *Journal of Educational Psychology*, 104(1), 193-205. <https://doi.org/10.1037/a0025735>
- Flowers, D. L., Jones, K., Noble, K., VanMeter, J., Zeffiro, T. A., Wood, F. B., & Eden, G. F. (2004). Attention to single letters activates left extrastriate cortex. *Neuroimage*, 21(3), 829-839.
- Foulin, J. N. (2005). Why is letter-name knowledge such a good predictor of learning to read? *Reading and Writing*, 18(2), 129-155. <https://doi.org/10.1007/s11145-004-5892-2>
- Freyd, J. J. (1983). Representing the dynamics of a static form. *Memory & Cognition*, 11(4), 342-346. <https://doi.org/10.3758/BF03202447>
- Friedrich, T. E., & Elias, L. J. (2016). The write bias: The influence of native writing direction on aesthetic preference biases. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 10(2), 128.
- Garrett, A. S., Flowers, D. L., Absher, J. R., Fahey, F. H., Gage, H. D., Keyes, J. W., ... Wood, F. B. (2000). Cortical activity related to accuracy of letter recognition. *NeuroImage*, 11(2), 111-123.
- Gazes, R. P., Diamond, R. F. L., Hope, J. M., Caillaud, D., Stoinski, T. S., & Hampton, R. R. (2017). Spatial representation of magnitude in gorillas and orangutans. *Cognition*, 168, 312-319. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.07.010>
- Gentaz, E. (2009). *La main, le cerveau et le toucher*. Dunod.
- Gibson, E. J., & Levin, H. (1975). *The psychology of reading* (Vol. xii). Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Giovanni, F. B. d'Arcais. (1994). Order of strokes writing as a cue for retrieval in reading chinese characters. *European Journal of Cognitive Psychology*, 6(4), 337-355. <https://doi.org/10.1080/09541449408406519>
- Glenn, S. M., Bradshaw, K., & Sharp, M. (1995). Handedness and the Development of Direction and Sequencing in Children's Drawings of People. *Educational Psychology*, 15(1), 11-21. <https://doi.org/10.1080/0144341950150102>
- Göbel, S. M., McCrink, K., Fischer, M.H. & Shaki, S. (2018). Observation of directional storybook reading influences young children's counting direction. *Journal of Experimental Child Psychology*, 166, 49-66. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.08.001>
- Göbel, S. M., Shaki, S., & Fischer, M.H. (2011). The Cultural Number Line: A Review of Cultural and Linguistic Influences on the Development of Number Processing. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 42(4), 543-565. <https://doi.org/10.1177/0022022111406251>
- Gombert, J. E., & Fayol, M. (1992). Writing in preliterate children. *Learning and Instruction*, 2(1), 23-41. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(92\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(92)90003-5)
- González, C. P. (2012). Lateral organisation in nineteenth-century studio photographs is influenced by the direction of writing: A comparison of Iranian and Spanish photographs. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 17(5), 515-532. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2011.586701>
- Goodnow, J., Friedman, S. L., Bernbaum, M., & Lehman, E. B. (1973). Direction and Sequence in Copying: The Effect of Learning to Write in English and Hebrew. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 4(3), 263-282. <https://doi.org/10.1177/002202217300400301>

- Goodnow, J., & Levine, R. A. (1973). "The grammar of action": Sequence and syntax in children's copying. *Cognitive Psychology*, 4(1), 82-98. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(73\)90005-4](https://doi.org/10.1016/0010-0285(73)90005-4)
- Gross, C. G., & Bornstein, M. H. (1978). Left and right in science and art. *Leonardo*, 11(1), 29-38.
- Gullaud-Toussaint, L., & Vinter, A. (2003). The effect of discordant sensory information in graphic production: two distinct subject groups. *Psychological research*, 67(4), 291-302.
- Han, S., & Northoff, G. (2008). Reading direction and culture. *Nature Reviews. Neuroscience*, 9(12), 965.
- Harsel, Y., & Wales, R. (1987). Directional Preference in Problem Solving. *International Journal of Psychology*, 22(2-3), 195-206. <https://doi.org/10.1080/00207598708246777>
- Hausmann, M., Waldie, K. E., & Corballis, M. C. (2003). Developmental changes in line bisection: a result of callosal maturation? *Neuropsychology*, 17(1), 155.
- Heath, R., Mahmasanni, O., Rouhana, A., & Nassif, N. (2005). Comparison of aesthetic preferences among Roman and Arabic script readers. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 10(5), 399-411. <https://doi.org/10.1080/13576500442000166>
- Heilman, K. M., Howell, G., Valenstein, E., & Rothi, L. (1980). Mirror-reading and writing in association with right-left spatial disorientation. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 43(9), 774-780.
- Hepp-Reymond, M.-C., Chakarov, V., Schulte-Mönting, J., Huethe, F., & Kristeva, R. (2009). Role of proprioception and vision in handwriting. *Brain Research Bulletin*, 79(6), 365-370. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2009.05.013>
- Hyman, J. (1975). The Effect of Verticality as a Stimulus Property on the Letter Discriminati... *Journal of Learning Disabilities*, 8(2). Consulté à l'adresse <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=pbh&AN=4742689&lang=fr&site=ehost-live>
- Ireland, W. W. (1881). On mirror-writing and its relation to left-handedness and cerebral disease. *Brain*, 4(3), 361-367. <https://doi.org/10.1093/brain/4.3.361>
- Jacoby, L. L. (1991). A process dissociation framework: Separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of memory and language*, 30(5), 513-541.
- James, K. H., & Atwood, T. P. (2009). The role of sensorimotor learning in the perception of letter-like forms: Tracking the causes of neural specialization for letters. *Cognitive Neuropsychology*, 26(1), 91-110.
- 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>
- James, K. H., & Gauthier, I. (2006). Letter processing automatically recruits a sensory-motor brain network. *Neuropsychologia*, 44(14), 2937-2949. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.06.026>
- James, K. H., & Gauthier, I. (2009). When writing impairs reading: Letter perception's susceptibility to motor interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 138(3), 416.
- James, K. H., James, T. W., Jobard, G., Wong, A. C., & Gauthier, I. (2005). Letter processing in the visual system: different activation patterns for single letters and strings. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 5(4), 452-466.
- Jewell, G., & McCourt, M. E. (2000). Pseudoneglect: a review and meta-analysis of performance factors in line bisection tasks. *Neuropsychologia*, 38(1), 93-110.
- Johansson, B. (2005). Numeral Writing Skill and Elementary Arithmetic Mental Calculations. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 49(1), 3-25. <https://doi.org/10.1080/0031383042000302119>

- Karev, G. B. (1999). Directionality in Right, Mixed and Left Handers. *Cortex*, 35(3), 423-431. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70810-4](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70810-4)
- Karlsdottir, R., & Stefansson, T. (2002). Problems in developing functional handwriting. *Perceptual and motor skills*, 94(2), 623-662.
- Kebbe, H., & Vinter, A. (2013). How Culture, Age, and Manual Dominance Affect Directionality in Drawing Side View Objects. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 44(1), 160-172. <https://doi.org/10.1177/0022022111435098>
- Khomsi, A. (1999). *LMC-R: Epreuve d'évaluation de la compétence en lecture*. Paris: Editions du centre de psychologie appliquée.
- 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. <https://doi.org/10.5709/acp-0178-7>
- Kiefer, M., & Trumpp, N. M. (2012). Embodiment theory and education: The foundations of cognition in perception and action. *Trends in Neuroscience and Education*, 1(1), 15-20.
- Kinsbourne, M. (1970a). A model for the mechanism of unilateral neglect of space. *Transactions of the American Neurological Association*, 95, 143.
- Kinsbourne, M. (1970b). The cerebral basis of lateral asymmetries in attention. *Acta Psychologica*, 33, 193-201. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(70\)90132-0](https://doi.org/10.1016/0001-6918(70)90132-0)
- Kinsbourne, M. (1987). Mechanisms of unilateral neglect. *Advances in psychology*, 45, 69-86.
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. L. (2003). Bilan neuropsychologique de l'enfant. ECPA.
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. L. (2012). *NEPSY II: Bilan neuropsychologique de l'enfant*. Paris: Editions du centre de psychologie appliquée.
- Lachmann, T., & van Leeuwen, C. (2007). Paradoxical enhancement of letter recognition in developmental dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 31(1), 61-77. <https://doi.org/10.1080/87565640709336887>
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>
- Lakoff, G., & Johnson, M. (2008). *Metaphors we live by*. University of Chicago press.
- Landsmann, L. T., & Karmiloff-Smith, A. (1992). Children's understanding of notations as domains of knowledge versus referential-communicative tools. *Cognitive Development*, 7(3), 287-300. [https://doi.org/10.1016/0885-2014\(92\)90017-L](https://doi.org/10.1016/0885-2014(92)90017-L)
- Levine, S. C., & Levy, J. (1986). Perceptual asymmetry for chimeric faces across the life span. *Brain and cognition*, 5(3), 291-306.
- Levy, J. (1976). Lateral dominance and aesthetic preference. *Neuropsychologia*, 14(4), 431-445. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(76\)90072-5](https://doi.org/10.1016/0028-3932(76)90072-5)
- Levy, J., Heller, W., Banich, M. T., & Burton, L. A. (1983). Asymmetry of perception in free viewing of chimeric faces. *Brain and cognition*, 2(4), 404-419.
- Li, J. X., & James, K. H. (2016). Handwriting generates variable visual output to facilitate symbol learning. *Journal of Experimental Psychology. General*, 145(3), 298-313. <https://doi.org/10.1037/xge0000134>
- Lindell, A. K., Tenenbaum, H. R., & Aznar, A. (2017). Left cheek bias for emotion perception, but not expression, is established in children aged 3-7 years. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 22(1), 17-30. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2015.1108328>
- 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., Anton, J.-L., Roth, M., & Velay, J.-L. (2005). Premotor activations in response to visually presented single letters depend on the hand used to write: a study on left-handers. *Neuropsychologia*, 43(12), 1801-1809. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.01.020>
- 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., 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>
- Luquet, G.-H. (1991). *Le dessin enfantin. 5ème édition* (5e éd. présentée et commentée par Jacques Depouilly). Neuchâtel; Paris: Delachaux et Niestlé.
- Maass, A., Pagani, D., & Berta, E. (2007). How beautiful is the goal and how violent is the fistfight? Spatial bias in the interpretation of human behavior. *Social Cognition*, 25(6), 833-852.
- Maass, A., & Russo, A. (2003). Directional bias in the mental representation of spatial events: nature or culture? *Psychological Science*, 14(4), 296-301. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.14421>
- Maass, A., Suitner, C., & Deconchy, J.-P. (2014). *Living in an asymmetrical world: How writing direction affects thought and action*. Psychology Press.
- Maass, A., Suitner, C., & Nadhmi, F. (2014). What drives the spatial agency bias? An Italian–Malagasy–Arabic comparison study. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(3), 991.
- Marquardt, C., Gentz, W., & Mai, N. (1999). Visual control of automated handwriting movements. *Experimental Brain Research*, 128(1-2), 224-228. <https://doi.org/10.1007/s002210050841>
- Martin, A. (2007). The Representation of Object Concepts in the Brain. *Annual Review of Psychology*, 58(1), 25-45. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.57.102904.190143>
- Martin, M., & Jones, G. V. (1999). Motor imagery theory of a contralateral handedness effect in recognition memory: Toward a chiral psychology of cognition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128(3), 265.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: I. An account of basic findings. *Psychological review*, 88(5), 375.
- McCourt, M. E., & Garlinghouse, M. (2000). Stimulus modulation of pseudoneglect: influence of line geometry. *Neuropsychologia*, 38(4), 520-524.
- McCourt, M. E., Garlinghouse, M., & Reuter-Lorenz, P. A. (2005). Unilateral visual cueing and asymmetric line geometry share a common attentional origin in the modulation of pseudoneglect. *Cortex*, 41(4), 499-511.
- McManus, I. C., Sik, G., Cole, D. R., Mellon, A. F., Wong, J., & Kloss, J. (1988). The development of handedness in children. *British Journal of Developmental Psychology*, 6(3), 257-273.
- Merleau-Ponty, M. (1945). *Phénoménologie de la perception*. Paris: Gallimard.
- Meulenbroek, R. G. J., & Van Galen, G. P. (1988). The acquisition of skilled handwriting: Discontinuous trends in kinematic variables. *Advances in psychology*, 55, 273-281.
- Meulenbroek, R. G. J., & Van Galen, G. P. (1989). The production of connecting strokes in cursive handwriting: Developing co-articulation in 8 to 12 year-old children. In R. Plamondon,

- C. Y. Suen, & M. Simner (Éd.), *Computer Recognition and Human Production of handwriting* (World Scientific, p. 273-286). Singapore.
- Meulenbroek, R. G. J., Vinter, A., & Mounoud, P. (1993). Development of the start-rotation principle in circle production. *British Journal of Developmental Psychology*, *11*(3), 307-320. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1993.tb00605.x>
- Meyers, J. E., & Meyers, K. R. (1995). *The rey complex figure test and the recognition trial*. Odessa: Psychological assessment resources.
- Nachshon, I. (1981). Cross-cultural differences in directionality. *International Journal of Psychology*, *16*(1-4), 199-211.
- Nachson, I., Argaman, E., & Luria, A. (1999). Effects of directional habits and handedness on aesthetic preference for left and right profiles. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, *30*(1), 106-114.
- Naka, M. (1998). Repeated writing facilitates children's memory for pseudocharacters and foreign letters. *Memory & Cognition*, *26*(4), 804-809. <https://doi.org/10.3758/BF03211399>
- Naka, M., & Naoi, H. (1995). The effect of repeated writing on memory. *Memory & Cognition*, *23*(2), 201-212. <https://doi.org/10.3758/BF03197222>
- Niedenthal, P. M., Barsalou, L. W., Winkielman, P., Krauth-Gruber, S., & Ric, F. (2005). Embodiment in attitudes, social perception, and emotion. *Personality and Social Psychology Review: An Official Journal of the Society for Personality and Social Psychology, Inc*, *9*(3), 184-211. https://doi.org/10.1207/s15327957pspr0903_1
- Nihei, Y. (1980). Developmental Change in Motor Organization: Covert Principles for the Organization of Strokes in Children's Drawing. *Tohoku Psychologica Folia*, *39*(1-4), 17-23.
- Orton, S. T. (1925). Word blindness in school children. *Archives of Neurology & Psychiatry*, *14*(5), 581-615. <https://doi.org/10.1001/archneurpsyc.1925.02200170002001>
- Ostrosky-Solis, F., Efron, R., & Yund, E. W. (1991). Visual detectability gradients: Effect of illiteracy. *Brain and Cognition*, *17*(1), 42-51.
- Ouellette, G., & Tims, T. (2014). The write way to spell: printing vs. typing effects on orthographic learning. *Frontiers in Psychology*, *5*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00117>
- Palmis, S., Danna, J., Velay, J.-L., & Longcamp, M. (2017). Motor control of handwriting in the developing brain: A review. *Cognitive Neuropsychology*, *0*(0), 1-18. <https://doi.org/10.1080/02643294.2017.1367654>
- Parkinson, J., & Khurana, B. (2007). Temporal order of strokes primes letter recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *60*(9), 1265-1274.
- Patro, K., Fischer, U., Nuerk, H.-C., & Cress, U. (2016). how to rapidly construct a spatial-numerical representation in preliterate children (at least temporarily). *Developmental Science*, *19*(1), 126-144. <https://doi.org/10.1111/desc.12296>
- Patro, K., & Haman, M. (2012). The spatial-numerical congruity effect in preschoolers. *Journal of experimental child psychology*, *111*(3), 534-542.
- Pegado, F., Nakamura, K., Cohen, L., & Dehaene, S. (2011). Breaking the symmetry: Mirror discrimination for single letters but not for pictures in the Visual Word Form Area. *NeuroImage*, *55*(2), 742-749. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.11.043>
- Perelle, I. B., & Ehrman, L. (2005). On the Other Hand. *Behavior Genetics*, *35*(3), 343-350. <https://doi.org/10.1007/s10519-005-3226-z>
- Picard, D. (2011). Impact of manual preference on directionality in children's drawings. *Laterality*, *16*(1), 24-34. <https://doi.org/10.1080/13576500903140610>
- Pollo, T. C., Kessler, B., & Treiman, R. (2009). Statistical patterns in children's early writing. *Journal of experimental child psychology*, *104*(4), 410-426.

- Portex, M., Foulon, J.-N., & Troadec, B. (2016). Cultural influence on directional tendencies in children's drawing. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 0(0), 1-20. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2016.1266363>
- Primus, B. (2004). A featural analysis of the Modern Roman Alphabet. *Written Language & Literacy*, 7(2), 235-274.
- Pulvermüller, F. (1999). Words in the brain's language. *Behavioral and brain sciences*, 22(2), 253-279.
- Reed, G. F., & Smith, A. C. (1961). Laterality and directional preferences in a simple perceptual-motor task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 13(2), 122-124. <https://doi.org/10.1080/17470216108416483>
- Reich, L., Szwed, M., Cohen, L., & Amedi, A. (2011). A ventral visual stream reading center independent of visual experience. *Current Biology: CB*, 21(5), 363-368. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.01.040>
- Rey, A. (1959). *Test de copie et de reproduction de mémoire de figures géométriques complexes*. Editions du centre de psychologie appliquée.
- Rodríguez, R., Aguilar, M., & González, G. (1989). Left non-dominant hand mirror writing. *Brain and Language*, 37(1), 122-144.
- Román, A., Flumini, A., Lizano, P., Escobar, M., & Santiago, J. (2015). Reading direction causes spatial biases in mental model construction in language understanding. *Scientific Reports*, 5. <https://doi.org/10.1038/srep18248>
- Saffran, J. R. (2003). Statistical language learning: Mechanisms and constraints. *Current directions in psychological science*, 12(4), 110-114.
- Saffran, J. R. (2010). What is statistical learning, and what statistical learning is not. In *Neoconstructivism: The New Science of Cognitive Development* (S. Johnson, p. 180-194). Oxford University Press.
- Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, 1926-1928.
- Scheirs, J. G. M. (1990). Relationships between the direction of movements and handedness in children. *Neuropsychologia*, 28(7), 743-748. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(90\)90130-G](https://doi.org/10.1016/0028-3932(90)90130-G)
- Schott, G. D. (2007). Mirror writing: neurological reflections on an unusual phenomenon. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 78(1), 5-13.
- Scribner, S., & Cole, M. (1978). Literacy without schooling: Testing for intellectual effects. *Harvard Educational Review*, 48(4), 448-461.
- Seki, K., Yajima, M., & Sugishita, M. (1995). The efficacy of kinesthetic reading treatment for pure alexia. *Neuropsychologia*, 33(5), 595-609.
- Shaki, S. (2013). What's in a Kiss? Spatial Experience Shapes Directional Bias During Kissing. *Journal of Nonverbal Behavior*, 37(1), 43-50. <https://doi.org/10.1007/s10919-012-0141-x>
- Shaki, S., Fischer, & Göbel, S. M. (2012). direction counts: A comparative study of spatially directional counting biases in cultures with different reading directions. *Journal of Experimental Child Psychology*, 112(2), 275-281.
- Shapiro, L. (2010). *Embodied cognition*. Routledge.
- Shin, M.-S., Park, S.-Y., Park, S.-R., Seol, S.-H., & Kwon, J. S. (2006). Clinical and empirical applications of the Rey-Osterrieth complex figure test. *Nature protocols*, 1(2), 892-899.
- Simner, M. L. (1981). The grammar of action and children's printing. *Developmental Psychology*, 17(6), 866.
- Simner, M. L. (1982). Printing errors in kindergarten and the prediction of academic performance. *Journal of Learning Disabilities*, 15(3), 155-159.

- Simner, M. L. (1984). The grammar of action and reversal errors in children's printing. *Developmental Psychology*, 20(1), 136.
- Sirat, C. (2013). Handwriting and the writing hand. In W. C. Watt (Éd.), *Writing systems and cognition: Perspectives from psychology, physiology, linguistics, and semiotics* (Vol. 6, p. 375-460). Springer Science & Business Media.
- Smyth, M. M. (1989). Visual control of movement patterns and the grammar of action. *Acta Psychologica*, 70(3), 253-265. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(89\)90025-5](https://doi.org/10.1016/0001-6918(89)90025-5)
- Smyth, M. M., & Silvers, G. (1987). Functions of vision in the control of handwriting. *Acta Psychologica*, 65(1), 47-64. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(87\)90046-1](https://doi.org/10.1016/0001-6918(87)90046-1)
- Suitner, C., & Giacomantonio, M. (2012). Seeing the Forest From Left to Right: How Construal Level Affects the Spatial Agency Bias. *Social Psychological and Personality Science*, 3(2), 180-185. <https://doi.org/10.1177/1948550611414591>
- Tada, W. L., & Stiles, J. (1996). Developmental Change in Children's Analysis of Spatial Patterns. *Developmental Psychology*, 32(5), 951-70.
- Tankle, R. S., & Heilman, K. M. (1983). Mirror writing in right-handers and in left-handers. *Brain and Language*, 19(1), 115-123.
- Tashiro, K., Matsumoto, A., Hamada, T., & Moriwaka, F. (1987). The aetiology of mirror writing: a new hypothesis. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 50(12), 1572-1578.
- Teasdale, N., Forget, R., Bard, C., Paillard, J., Fleury, M., & Lamarre, Y. (1993). The role of proprioceptive information for the production of isometric forces and for handwriting tasks. *Acta Psychologica*, 82(1-3), 179-191.
- Teinonen, T., Fellman, V., Näätänen, R., Alku, P., & Huotilainen, M. (2009). Statistical language learning in neonates revealed by event-related brain potentials. *BMC Neuroscience*, 10, 21. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-21>
- Terepocki, M., Kruk, R. S., & Willows, D. M. (2002). The incidence and nature of letter orientation errors in reading disability. *Journal of Learning Disabilities*, 35(3), 214-233. <https://doi.org/10.1177/002221940203500304>
- Teulings, H.-L., & Schomaker, L. R. (1993). Invariant properties between stroke features in handwriting. *Acta psychologica*, 82(1), 69-88.
- Teulings, H.-L., Thomassen, A. J., & Van Galen, G. P. (1983). Preparation of partly precued handwriting movements: The size of movement units in handwriting. *Acta psychologica*, 54(1), 165-177.
- Thomassen, A. J. W. M., & Teulings, H.-L. H. M. (1979). The Development of Directional Preference in Writing Movements. *Visible Language*, 13(3), 299-313.
- Tolchinsky, L. (2003). *The Cradle of Culture and What Children Know About Writing and Numbers Before Being*. Psychology Press.
- Tolchinsky-Landsmann, L., & Levin, I. (1985). Writing in preschoolers: An age-related analysis. *Applied Psycholinguistics*, 6(3), 319-339. <https://doi.org/10.1017/S0142716400006238>
- Treiman, R., Cohen, J., Mulqueeny, K., Kessler, B., & Schechtman, S. (2007). Young children's knowledge about printed names. *Child Development*, 78(5), 1458-1471.
- Treiman, R., Gordon, J., Boada, R., Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2014). Statistical Learning, Letter Reversals, and Reading. *Scientific Studies of Reading*, 18(6), 383-394. <https://doi.org/10.1080/10888438.2013.873937>
- Treiman, R., & Kessler, B. (2011). Similarities Among the Shapes of Writing and Their Effects on Learning. *Written language and literacy*, 14(1), 39-57. <https://doi.org/10.1075/wll.14.1.03tre>
- Treiman, R., Mulqueeny, K., & Kessler, B. (2015). Young children's knowledge about the spatial layout of writing. *Writing systems research*, 7(2), 235-244.

- Treiman, R., & Yin, L. (2011). Early differentiation between drawing and writing in Chinese children. *Journal of experimental child psychology*, *108*(4), 786-801.
- Troadeec, B., Geadah, R.-R., Costa-Fernandez, E., Le Du, C., Mesmin, C., Moro, M.-R., ... Vrignaud, P. (2011). Aspects interculturels de l'examen psychologique de l'enfant. In R. Voyazopoulos, L. Vannetzel, & L.-A. Eynard (Éd.), *L'examen psychologique de l'enfant et l'utilisation des mesures*. Paris: Dunod.
- Troadeec, B., & Zarhbouch, B. (2011). Flèche du temps, compétences linguistiques et routines culturelles: une étude de la diversité chez des enfants de 10-11 ans en France et au Maroc. *Année psychologique*, *111*(2), 227-252.
- Tsakiris, M., & Fotopoulou, A. (2008). Is my body the sum of online and offline body-representations? *Consciousness and Cognition*, *17*(4), 1317-1320.
- Tucha, O., Aschenbrenner, S., & Lange, K. W. (2000). Mirror writing and handedness. *Brain and Language*, *73*(3), 432-441. <https://doi.org/10.1006/brln.2000.2316>
- Tucha, O., Tucha, L., & Lange, K. W. (2008). Graphonomics, automaticity and handwriting assessment. *Literacy*, *42*(3), 145-155.
- Tucker, M., & Ellis, R. (1998). On the relations between seen objects and components of potential actions. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, *24*(3), 830.
- Tversky, B., Kugelmass, S., & Winter, A. (1991). Cross-cultural and developmental trends in graphic productions. *Cognitive psychology*, *23*(4), 515-557.
- Vaid, J., & Singh, M. (1989). Asymmetries in the perception of facial affect: Is there an influence of reading habits? *Neuropsychologia*, *27*(10), 1277-1287.
- Vaid, J., Singh, M., Sakhuja, T., & Gupta, G. C. (2002). Stroke direction asymmetry in figure drawing: influence of handedness and reading/writing habits. *Brain and Cognition*, *48*(2-3), 597-602.
- Vaid, J., & Stiles-Davis, J. (1989). Mirror writing: An advantage for the left-handed? *Brain and Language*, *37*(4), 616-627. [https://doi.org/10.1016/0093-934X\(89\)90115-6](https://doi.org/10.1016/0093-934X(89)90115-6)
- Van Den Heuvel, C. E., van Galen, G. P., Teulings, H.-L., & van Gemmert, A. W. (1998). Axial pen force increases with processing demands in handwriting. *Acta psychologica*, *100*(1), 145-159.
- Van Doorn, R. R., & Keuss, P. J. (1992). The role of vision in the temporal and spatial control of handwriting. *Acta Psychologica*, *81*(3), 269-286.
- Van Galen, G. P. (1991). Handwriting: Issues for a psychomotor theory. *Human movement science*, *10*(2), 165-191.
- Van Galen, G. P., & Teulings, H.-L. (1983). The independent monitoring of form and scale factors in handwriting. *Acta psychologica*, *54*(1), 9-22.
- Van Mier, H., & Hulstijn, W. (1993). The effects of motor complexity and practice on initiation time in writing and drawing. *Acta psychologica*, *84*(3), 231-251.
- Van Sommers, P. (1984). *Drawing and cognition: Descriptive and experimental studies of graphic production processes*. Cambridge University Press.
- Vaughn, S., Schumm, J. S., & Gordon, J. (1992). Early Spelling Acquisition: Does Writing Really Beat the Computer? *Learning Disability Quarterly*, *15*(3), 223-228. <https://doi.org/10.2307/1510245>
- Viggiano, M. P., & Vannucci, M. (2002). Drawing and identifying objects in relation to semantic category and handedness. *Neuropsychologia*, *40*(8), 1482-1487. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(01\)00196-8](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(01)00196-8)
- Vinter, A. (1999). How Meaning Modifies Drawing Behavior in Children. *Child Development*, *70*(1), 33-49. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00004>

- Viviani, P., & Stucchi, N. (1989). The effect of movement velocity on form perception: Geometric illusions in dynamic displays. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 46(3), 266-274.
- Voyer, D., Voyer, S. D., & Tramonte, L. (2012). *Free-viewing laterality tasks: A multilevel meta-analysis*. American Psychological Association.
- Waber, D. P., & Holmes, J. M. (1985). Assessing children's copy productions of the Rey-Osterrieth Complex Figure. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 7(3), 264-280. <https://doi.org/10.1080/01688638508401259>
- Wallon, P., & Mesmin, C. (2009). *Test de la figure complexe de Rey, A et B*. Editions du centre de psychologie appliquée.
- Wang, X. D. (1992). Mirror writing of Chinese characters in children and neurologic patients. *Chinese Medical Journal*, 105(4), 306-311.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 625-636.
- Wolff, P. H., & Melngailis, I. (1996). Reversing letters and reading transformed text in dyslexia: A reassessment. *Reading and writing*, 8(4), 341-355.
- Wood, G., Willmes, K., Nuerk, H.-C., & Fischer, M.H. (2008). On the cognitive link between space and number: A meta-analysis of the SNARC effect. *Psychology Science Quarterly*, 50(4), 489.
- Wydoodt, P., Gentaz, E., & Streri, A. (2006). Role of force cues in the haptic estimations of a virtual length. *Experimental Brain Research*, 171(4), 481-489.
- Yang, M.-J. (1997). Mirror writing in right-handers and in left-handers: a study using chinese characters. *Neuropsychologia*, 35(11), 1491-1498. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(97\)00071-7](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(97)00071-7)
- Yovel, G., Tambini, A., & Brandman, T. (2008). The asymmetry of the fusiform face area is a stable individual characteristic that underlies the left-visual-field superiority for faces. *Neuropsychologia*, 46(13), 3061-3068.
- Zebian, S. (2005). Linkages between number concepts, spatial thinking, and directionality of writing: The SNARC effect and the reverse SNARC effect in English and Arabic monoliterates, biliterates, and illiterate Arabic speakers. *Journal of Cognition and Culture*, 5(1), 165-190.
- Zesiger, P., Martory, M.-D., & Mayer, E. (1997). Writing without graphic motor patterns: A case of dysgraphia for letters and digits sparing shorthand writing. *Cognitive Neuropsychology*, 14(5), 743-763.

ANNEXES

Annexe 1.A

Index des Tableaux

Tableau 1 : Catégorisation des lettres minuscules et capitales selon leur orientation gauche versus droite (la proportion de réponse dominante est donnée entre parenthèses) d'après Treiman et al. (2014)	37
Tableau 2 : Performances aux épreuves préliminaires pour chaque groupe d'âge (les écarts-types sont présentés entre parenthèses et l'intervalle des scores entre crochets)	83
Tableau 3 : Corrélation entre les différentes mesures de directionnalité graphique pour chaque groupe d'âge	93
Tableau 4 : Caractéristiques des participants	106
Tableau 5 : Pourcentages moyens et associations statistiques de la directionnalité morphocinétique à droite en fonction du produit de l'écriture	132
Tableau 6 : Critères de répartition des enfants dans les deux groupes d'entraînement (les écarts-types sont présentés entre parenthèses)	150

Annexe 1.B

Index des Figures

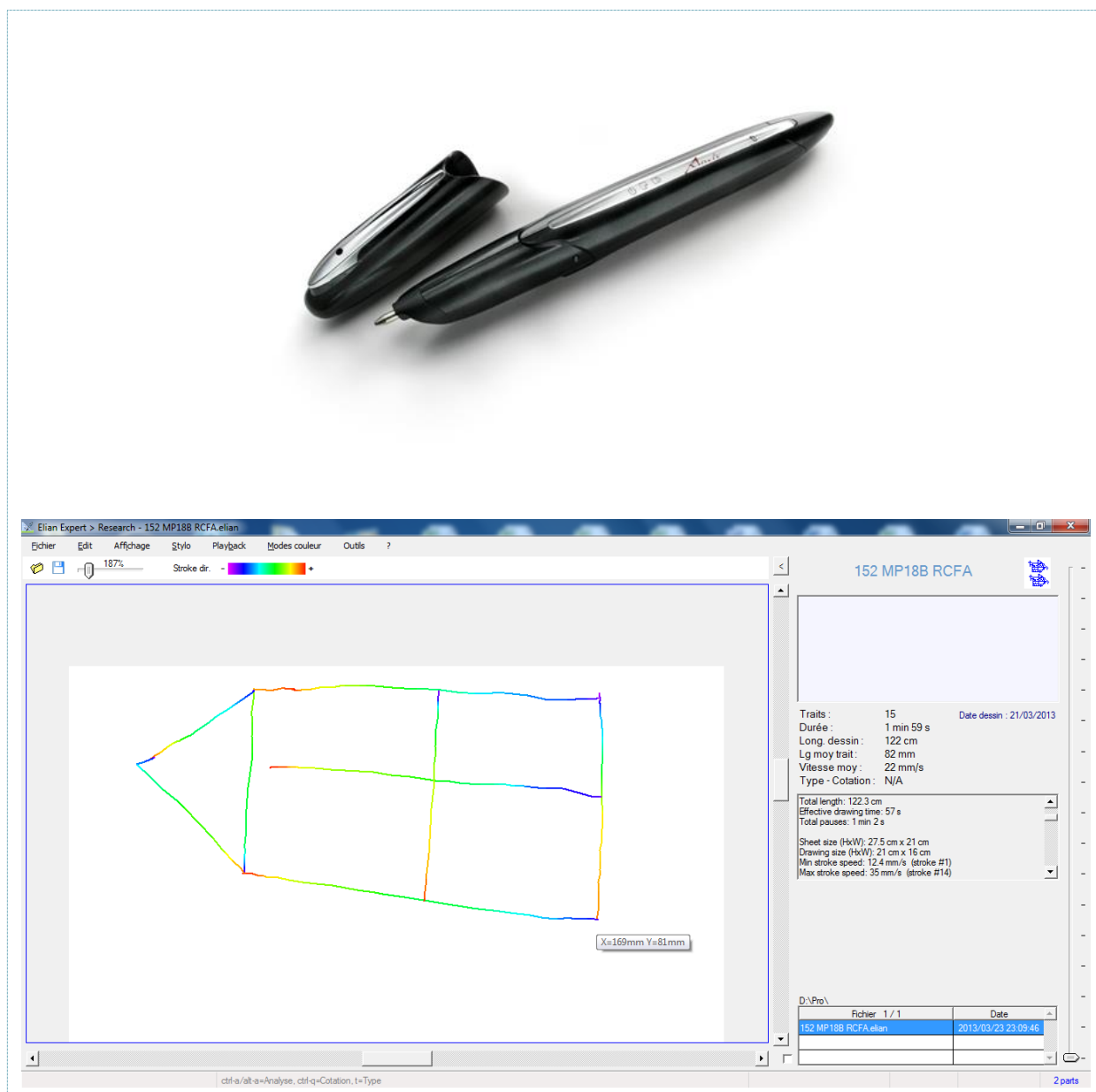
Figure 1 : Exemples de stimuli utilisés pour la tâche des visages chimériques, dans Failla et al. (2003) page 14 (encadré 1)	14
Figure 2 : Directionnalité de traits simples produits par des adultes droitiers (à gauche) et gauchers (à droite), dans Van Sommers (1984)	16
Figure 3 : Exemple d'une séquence de dessin d'un camion, d'après Picard (2011)	17
Figure 4 : Les systèmes d'écriture Hindi et Urdu, dans Vaid (1995)	20
Figure 5 : Présentation de la tâche classique dans laquelle l'effet SNARC est observé, dans de Hevia, Vallar et Girelli (2008)	21
Figure 6 : Illustration d'un modèle ambigu et des significations associées, dans Vinter (1999)	32
Figure 7 : Représentation schématique des différents facteurs impliqués dans les tendances directionnelles, adaptée de Maass, Suitner et Deconchy (2014)	33
Figure 8 : Composantes directionnelles du français et de l'arabe	38
Figure 9 : Changements développementaux des stratégies de production graphique, d'après Nihei (1980)	39
Figure 10 : Ecriture du mot coordination en russe par Bernstein, avec la main droite (à gauche) et en tenant le stylo entre ses dents (à droite), dans Bernstein (1947)	44
Figure 11 : Exemple d'écriture en miroir partielle (à gauche) et absolue (à droite) de l'écriture du prénom chez l'enfant	49
Figure 12 : Fréquences des écritures en miroir sur les chiffres et les lettres capitales asymétriques sous la dictée par 356 enfants âgés entre 5 et 6 ans et demi, d'après Fischer (2011)	56
Figure 13 : Les deux directionnalités de tracé, le caractère non déformé et les six déformations possibles du caractère en fonction de la directionnalité, adapté de Freyd (1983)	66
Figure 14 : Version simplifiée de la FCR-A (orientation à droite)	79
Figure 15 : Index moyen de directionnalité intermédiaire en fonction de l'orientation de la forme et de la signification attribuée.	90

Figure 16 : Pourcentage moyen de directionnalité globale gauche-droite pour chaque groupe d'âge en fonction de la main utilisée et de l'orientation de la figure _____	92
Figure 17 : Contextes de réalisation (image ou texte) dans lesquels les couples de formes devaient être produits en dessin ou en écriture _____	109
Figure 18 : Pourcentage moyen de directionnalité antihoraire en fonction de la modalité graphique par âge. _____	112
Figure 19 : Effet de la modalité graphique sur la vitesse en fonction de l'âge pour la forme O _____	113
Figure 20 : Effet de la modalité graphique sur la vitesse en fonction de l'âge pour la forme V. _____	114
Figure 21 : Paramètres de la production en fonction de l'âge pour la forme O (à gauche) et V. (à droite) _____	116
Figure 22 : Association entre la vitesse de tracé et la directionnalité morpho-cinétique à 5 ans pour la forme O _____	118
Figure 23 : Les 7 cartes imagées qui ont servi de support visuel à l'histoire _____	127
Figure 24 : Pourcentages d'écriture miroir selon la condition d'écriture (normale vs. contrainte) _____	131
Figure 25 : Pourcentages de directionnalité morpho-cinétique gauche-droite selon la condition d'écriture (spontanée vs. contrainte) pour chaque caractère _____	132
Figure 26 : Vitesse (a) et fluidité (b) moyennes en fonction du produit de l'écriture _____	133
Figure 27. Les huit caractères asymétriques en volume présentés selon une orientation à droite _____	142
Figure 28 : Pourcentage moyen d'orientation à droite pour chaque caractère _____	142
Figure 29 : Les huit pseudo-lettres asymétriques dans leur orientation à droite (en haut) et à gauche (en bas) _____	151
Figure 30 : Un exemple des trois activités d'entraînement du tracé manuscrit avec le codage de la directionnalité _____	152
Figure 31 : Un exemple du matériel utilisé pour les tâches de dessin et de coloriage proposées au groupe contrôle _____	153
Figure 32 : Nombre moyen de pseudo-lettres correctement reconnues en fonction du groupe d'entraînement _____	155

Figure 33 : Nombre moyen de pseudo-lettres correctement complétées en fonction du type d'entraînement _____ 155

Figure 34 : Nombre moyen de pseudo-lettres correctement reconnues en fonction de la modalité d'entraînement manuscrit _____ 156

Figure 35 : Nombre moyen de pseudo-lettres correctement complétées en fonction de la modalité d'entraînement manuscrit _____ 156



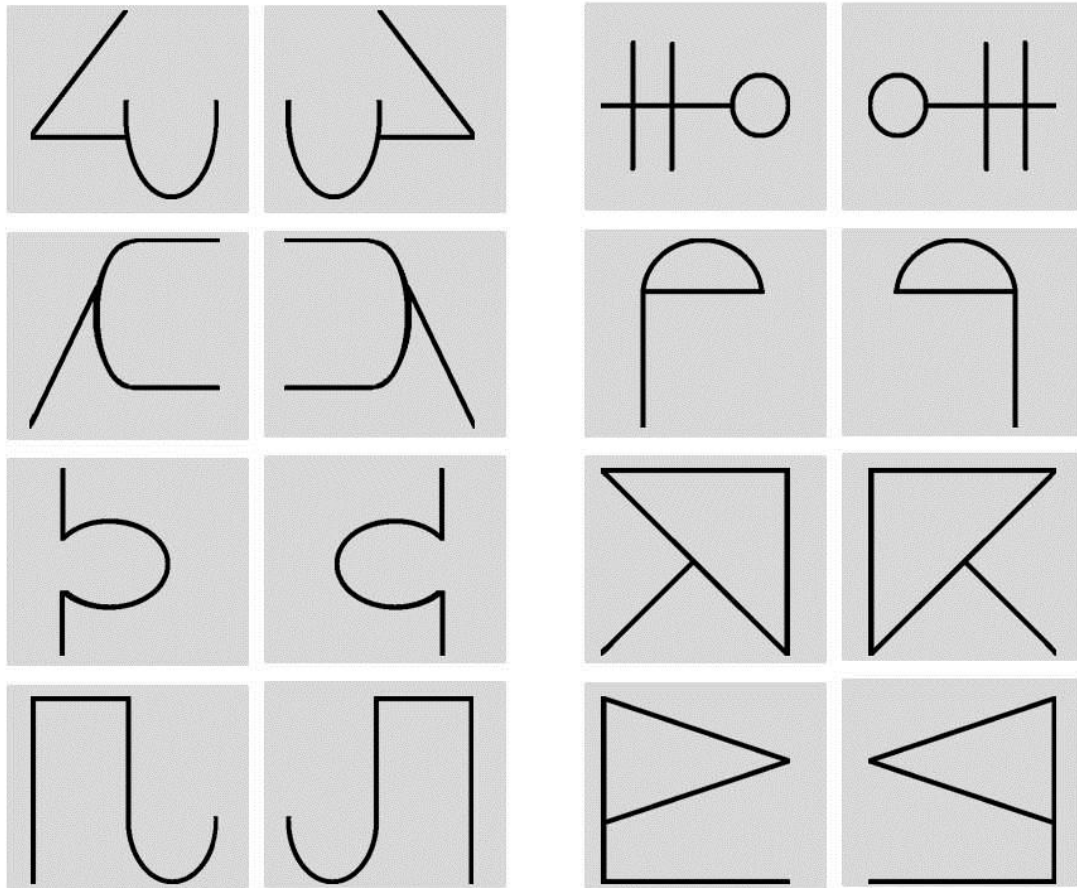
Annexe 2.A

Présentation du stylo Anoto© DP 201 et de l'interface du logiciel Elian©. Dans l'exemple, la directionnalité graphique est visualisée de manière non dynamique, à l'aide de nuances de couleur



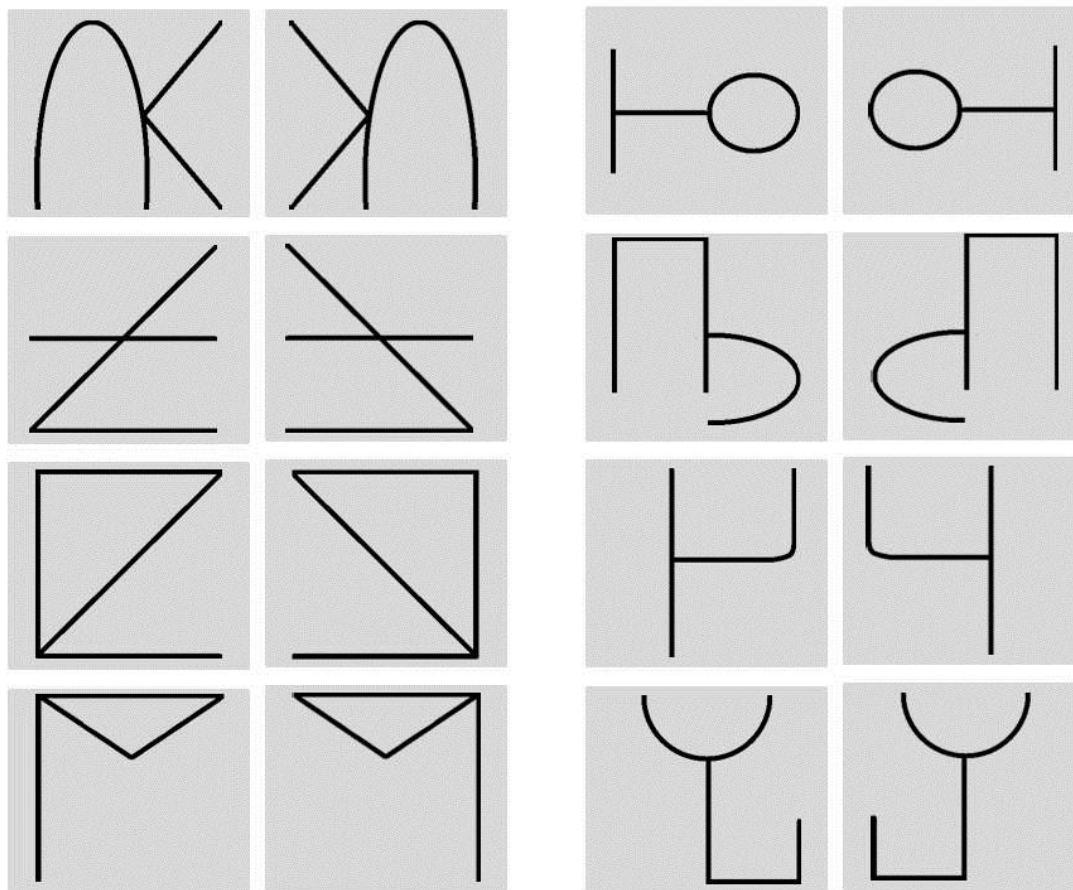
Annexe 2.B

Le matériel utilisé pour l'évaluation de la préférence latérale



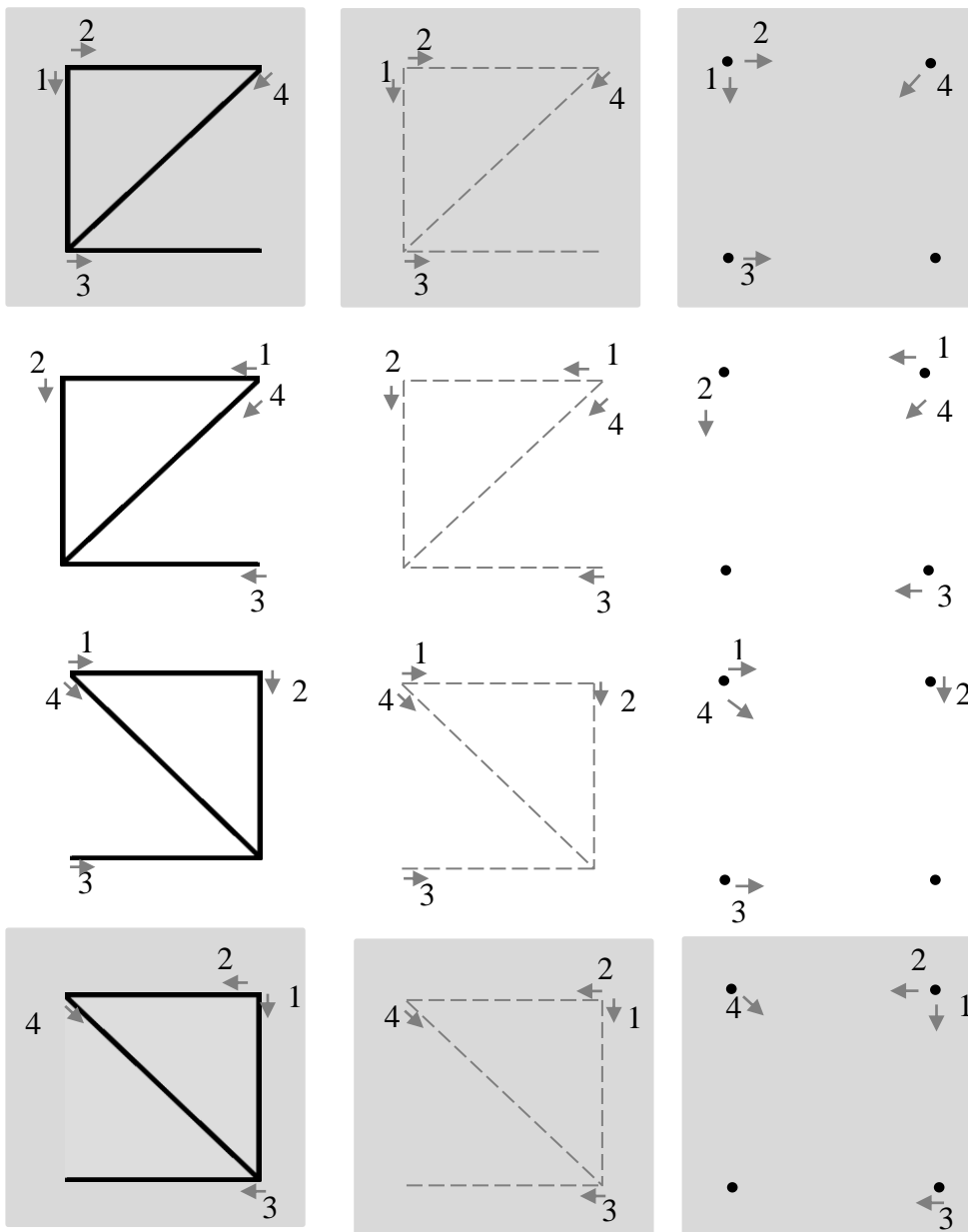
Annexe 3.A

Les huit pseudo-lettres asymétriques utilisées pour l'épreuve préliminaire d'appariement à choix forcé (Etude 4)



Annexe 3.B

Les huit pseudo-lettres asymétriques utilisées pour l'apprentissage. La version orientée à droite est présentée dans la colonne de gauche et la version orientée à gauche dans la colonne de droite (Etude 4)



Annexe 4

Un exemple des trois activités avec guidage visuel de l'entraînement manuscrit en fonction de l'orientation de la forme et de la directionnalité (les conditions congruentes sont grisées)