



FACULTE DE MEDECINE ET PHARMACIE

CFUO

Année 2022-2023

MEMOIRE

En vue de l'obtention du Certificat de Capacité en Orthophonie
Présenté par

Coline ARMAND

Exploration des processus cognitifs
impliqués dans l'accès aux codes
allographiques en production manuscrite

Directeur de mémoire : Monsieur Cyril Perret, Maître de Conférences à l'Université de Poitiers

Autres membres du jury : Madame Pauline Poloni, orthophoniste
Monsieur François Rigalleau, Maître de Conférences et chercheur au CeRCA

REMERCIEMENTS

Je remercie sincèrement mon directeur de mémoire, Monsieur Cyril Perret, pour son investissement, son écoute et ses conseils, prodigués avec patience et bienveillance.

Je remercie ma famille et mon amie Camille, pour leur soutien.

Enfin, je remercie Madame Pauline Poloni et Monsieur François Rigalleau, membres de ce jury, pour l'intérêt qu'ils portent à ce travail.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
PARTIE THEORIQUE.....	3
1. NIVEAUX DE TRAITEMENT ORTHOGRAPHIQUES.....	3
1.1 Procédure d'adressage.....	3
1.2 Procédure d'assemblage.....	4
1.3 Buffer graphémique.....	4
1.4 Dissociation des deux voies.....	5
2. NIVEAUX DE TRAITEMENT PERIPHERIQUES.....	7
2.1 Niveau allographique.....	8
2.2 Patrons moteurs graphiques.....	9
2.3 Code graphique.....	9
2.4 Dissociation entre les niveau allographique et des patterns moteurs graphiques.....	9
2.5 Dissociation entre les représentations des différentes casses au sein du système allographique.....	10
2.6 Dissociation entre les représentations des différents styles d'écriture au sein du système allographique.....	11
2.7 Propositions de révisions du modèle d'Ellis.....	11
METHODE.....	13
1. Participants.....	13
2. Matériel.....	14
3. Procédure.....	14
RESULTATS ET ANALYSE.....	16
1. Analyse des erreurs.....	16
1.1 Effets observés.....	17
2. Analyse des latences d'initialisation.....	17
2.1 Effets observés.....	18
2.2 Ecart-types.....	19
3. Analyse croisée des taux d'erreurs et de la latence d'initialisation.....	19
DISCUSSION.....	20
1. Objectifs de recherche et principaux résultats.....	20
2. Limites et perspectives de recherche.....	23

3. Apports en orthophonie.....	24
CONCLUSION.....	26
BIBLIOGRAPHIE.....	27
ANNEXES	
RESUME	

INTRODUCTION

La psychologie cognitive de l'écriture étudie les processus impliqués dans l'acquisition et la gestion de l'écrit. Tandis que la production et compréhension orales, ainsi que la compréhension écrite ont été très étudiées en psychologie du langage, la dernière modalité qu'est la production écrite a été délaissée par la recherche. Pourtant, la compréhension des traitements cognitifs impliqués dans la production manuscrite est un enjeu important de nos sociétés de l'écrit.

Les années 1980 ont représenté l'essor de ce champ d'étude, notamment grâce à l'émergence de modèles théoriques et aux progrès technologiques relatifs à l'analyse du contrôle moteur. Dans la modélisation de l'architecture fonctionnelle de l'écriture, la plupart des auteurs s'accordent pour distinguer deux grands ensembles de traitements cognitifs. Premièrement, les composants dits centraux permettent d'accéder à l'information orthographique en mémoire à long terme, i.e., minimalement la composition en termes de lettres du mot à produire. Cette information orthographique, qu'on peut nommer identité des lettres, est abstraite. Aussi, dans un second temps, les autres composants, dits périphériques, concernent la transformation de ces codes orthographiques en une série de gestes moteurs dont l'exécution conduira à la trace graphique des différentes lettres du mot.

Cette étude se focalise sur la compréhension de ces traitements périphériques. L'existence de trois niveaux de traitement périphériques est généralement admise. Le support empirique en faveur de cette distinction s'appuie sur des analyses de corpus d'erreurs de production chez l'adulte sain (Ellis, 1979, 1982) et sur des doubles dissociations de neuropsychologie (Ellis, 1988). Le premier niveau dit allographique permet de définir le format de production, i.e., choisir si la trace est à réaliser en style cursif ou script. De même, un choix doit être fait entre une casse majuscule et une casse minuscule. Un deuxième niveau de traitement renvoie à l'accès aux programmes moteurs pour chaque allographe. Enfin, le dernier niveau permet la planification de l'exécution des programmes moteurs sélectionnés. Dans le cadre de ce projet, la dynamique d'accès aux codes allographiques (casse et style) est étudiée. Comme dit précédemment, ce niveau de traitement allographique est suggéré indépendant des traitements précédents (accès aux codes orthographiques) et suivants (accès aux programmes moteurs).

De plus, le cas de patients portant une atteinte spécifique d'un type d'allographe a été fréquemment rapporté dans la littérature neuropsychologique (J. Richard Hanley, S. Peters, 2014). Leurs patrons de performance supposent l'existence de représentation pour chaque type

d'allographe (minuscule/script, minuscule/cursif, majuscule/script, majuscule/cursif). Ceux-ci ne sont pas influencés par des facteurs lexicaux (fréquence lexicale) ou sous-lexicaux (inconsistance) ni ne présentent une atteinte de la graphie (programmes moteurs intacts).

L'objectif de notre étude est d'explorer la dynamique temporelle d'accès aux codes allographiques. Notre expérience a donc pour intérêt de démontrer que la sélection d'un type d'allographe impacte le temps de traitement.

Dans un premier temps, une partie théorique exposera les données actuelles de la littérature scientifique, notamment les modèles de neuropsychologie cognitive, fondés sur des patrons de performance de patients et d'analyses de corpus d'erreurs de sujets « normaux ».

Nous y présenterons tout d'abord les niveaux de traitement orthographiques. Puis, les composants périphériques seront abordés, afin d'explorer plus spécifiquement les niveaux de traitement des allographes.

Dans un second temps, une partie pratique portera sur l'expérience réalisée et ses résultats.

PARTIE THEORIQUE

1. NIVEAUX DE TRAITEMENT ORTHOGRAPHIQUES

Introduction

Pour présenter ces processus centraux, citons Lambert (1996, cité par Bonte, 2006, p.5) qui les définit comme les composants « *impliqués dans la génération de la forme graphémique d'un mot ou d'un non-mot et (sont) communs à l'ensemble des modalités de sortie : épellation orale, écriture avec des lettres mobiles, dactylographie, écriture manuscrite...* ».

Concernant leur localisation cérébrale, l'étude de 2013 de Dufor et Rapp portant sur les représentations des lettres dans l'écriture et basée sur l'utilisation de l'IRMf, a permis d'établir que la région du gyrus fusiforme était le siège spécifique des représentations de l'identité abstraite des lettres.

Dans les lignes qui suivent, nous décrirons successivement les différents composants centraux, les expliciterons à l'aide de modèles neuropsychologiques et de données neuroscientifiques justifiant de leurs localisations cérébrales puis présenterons des études neuropsychologiques en faveur de leur dissociation.

Introduction aux deux voies d'accès aux représentations orthographiques

Toute tâche de production écrite, quel qu'en soit le contexte d'entrée (conceptuelle dans l'écriture spontanée, auditive dans l'écriture sous dictée, visuelle dans la dénomination écrite d'images), requiert de récupérer les représentations orthographiques abstraites des mots.

Inspirés des modèles à double voie de la lecture (Coltheart, Curtis, Atkins & Haller, 1993 ; Morton & Patterson, 1980), les modèles classiques de la production écrite distinguent principalement deux voies d'accès à ces représentations.

1.1 Procédure d'adressage

Tout d'abord, il existe la procédure d'adressage, aussi appelée voie lexicale ou voie lexico-sémantique, qui se compose d'un lexique orthographique en mémoire à long terme. Il s'agit en effet d'un lieu de stockage de représentations orthographiques.

Elle permet donc de traiter exclusivement les mots écrits familiers dont les représentations orthographiques sont disponibles en mémoire à long terme, et parmi eux les mots irréguliers pour lesquels la mise à l'écrit ne serait pas correcte si la voie phonologique (décrite ci-après) était employée.

Décrivons à présent la localisation cérébrale de cette voie à l'aune des études neuropsychologiques qui ont été menées. Les lésions provoquant une agraphie lexicale seraient généralement situées dans le gyrus angulaire gauche (Roeltgen & Heilman, 1984) mais ont aussi été rapportées des lésions dans le gyrus précentral (Rapcsak, Arthur, & Rubens, 1988) ou dans le cortex temporal postérieur (Croisile, Trillet, Laurent, Latombe, & Schott, 1989 ; Rapcsak & Beeson, 2004).

1.2 Procédure d'assemblage

En parallèle, l'accès aux représentations orthographiques des mots peut également se réaliser par la procédure d'assemblage, aussi nommée voie phonologique ou voie sous-lexicale. Cette voie implique une entrée auditive car elle est constituée d'un système de conversion phono-graphémique. En effet, les représentations phonologiques seraient maintenues temporairement dans le buffer phonologique (mémoire à court terme) et *« feraient alors l'objet d'une segmentation phonologique, d'une procédure de conversion des unités phonologiques sous-lexicales en unités orthographiques correspondantes et enfin, d'un assemblage graphémique »* (de Partz, 2000, p.173).

La voie phonologique serait donc responsable du traitement des mots transparents sur le plan orthographique, des non-mots ou des syllabes sans signification, et, par extension, des mots nouveaux, en d'autres termes, des stimuli ne disposant d'aucune représentation orthographique en mémoire à long terme (cf. procédure d'adressage).

Abordons à présent la localisation cérébrale de ce processus à la lumière d'études neuropsychologiques. Aux agraphies phonologiques sont souvent associées des lésions du gyrus supramarginal (Roeltgen et al., 1983) mais également du cortex insulaire antérieur et cortex operculaire frontal adossé (Marien & A. Pickut, 2001). Finalement, Alexandre et al. en 1992 ont estimé qu'une vaste région périssylvienne était impliquée dans ces agraphies.

1.3 Buffer graphémique

Nous faisons le choix de placer ici la présentation du buffer graphémique, car bien que ce processus soit davantage situé à l'interface entre les processus centraux et les processus périphériques, il demeure commun à toutes les modalités de production.

Tout d'abord, le buffer graphémique est conçu comme une mémoire tampon chargée de maintenir actives les représentations graphémiques issues des voies précédemment décrites, en attente qu'elles soient prises en charge par des processus périphériques (Caramazza et al. en 1987).

Sa fonction comporte toutefois plusieurs dimensions : le codage de l'identité et la position des graphèmes, de leur statut de consonne ou voyelle, des lettres géménées, de la structure morphologique et syllabique du mot (Badecker et al., 1990 ; Caramazza & Miceli, 1990 ; McCloskey et al., 1994).

Aussi son altération engendre des erreurs orthographiques, telles que des omissions, substitutions, insertions, déplacements de lettres.

Certains chercheurs estiment qu'elles ne seraient affectées ni par des facteurs lexicaux (comme la fréquence) ni par des facteurs phono-orthographiques (tels que la régularité) bien que leur probabilité augmente avec la longueur du mot (Rapp & Dufor, 2011).

Toutefois, plusieurs travaux supposent que des facteurs lexicaux (tels que la fréquence ou l'âge d'acquisition des mots) puissent avoir une influence sur les erreurs de ces patients (Sage & Ellis, 2004). On peut donc suggérer l'existence de phénomènes d'influence « top-down », selon des modèles d'organisation en cascade des différents niveaux de traitement. Dans le cas présent, l'activation lexico-orthographique de mots très fréquents entraînerait l'activation de leurs unités jusqu'au niveau du buffer graphémique.

De plus, ces erreurs seraient indépendantes de la modalité d'entrée (écriture sous dictée, copie différée, dénomination écrite ou écriture spontanée) et de la modalité de sortie (écriture manuscrite, épellation ou écriture dactylographique).

Concernant les régions cérébrales qui lui sont dédiées, elles regroupent un ensemble composé du gyrus précentral, du gyrus postcentral et du noyau caudé (Cloutman et al., 2009).

Etudions à présent les éléments de la recherche en faveur d'une dissociation des deux voies d'accès aux représentations orthographiques précédemment décrites.

1.4 Dissociation des deux voies

En 1981, Beauvois et Dérouesné ont décrit un patient (R.G) francophone présentant, suite à une atteinte cérébrale, un trouble très spécifique de la production écrite sans déficit comparable en production orale. Il pouvait écrire sans difficulté des pseudo-mots dictés, alors que sa production écrite de mots familiers contenait de nombreuses erreurs. Ses erreurs étaient principalement phonologiquement plausibles, allant dans le sens d'une régularisation des correspondances phonèmes-graphèmes.

Par la suite, d'autres profils de patients aux résultats similaires ont été décrits (Goodman & Caramazza, 1986 ; Baxter & Warrington, 1987 ; Gvion & Friedmann, 2010).

Il existe donc une atteinte spécifique de la voie d'adressage que l'on qualifie aujourd'hui de *dysgraphie lexicale*.

Cette même année, Shallice a décrit un patient anglophone (P.R) présentant le déficit inverse : ses performances étaient excellentes dans la production de mots familiers réguliers et irréguliers, alors qu'il s'avérait incapable de transcrire des séquences de sons sans signification en séquences de lettres. Ce déficit était présent dans des tâches d'écriture comme dans des tâches d'épellation.

Ce profil de performance a été retrouvé de nombreuses fois par la suite (Roeltgen, Sevush & Heilman, 1983 ; Z.Rapcsak & M.Beeson, 2009).

On nomme cette atteinte spécifique de la voie d'assemblage *dysgraphie phonologique*.

Ainsi, la description de ces profils présentant des troubles spécifiques à l'une des voies, en l'absence de déficits relatifs à l'autre voie, est bien en faveur d'une dissociation de ces deux voies.

En conclusion, Henry, Beeson, Stark et Rapcsak (2007), en utilisant des données antérieures (Rapcsak & Beeson, 2004), ont mis en valeur une double dissociation entre des lésions dites extra-sylviennes (i.e. cortex temporo-occipital inférieur gauche), provoquant un profil d'agraphie lexicale et des lésions périssylviennes gauche (i.e. du gyrus frontal inférieur et précentral au gyrus temporal supérieur), générant plutôt un profil d'agraphie phonologique.

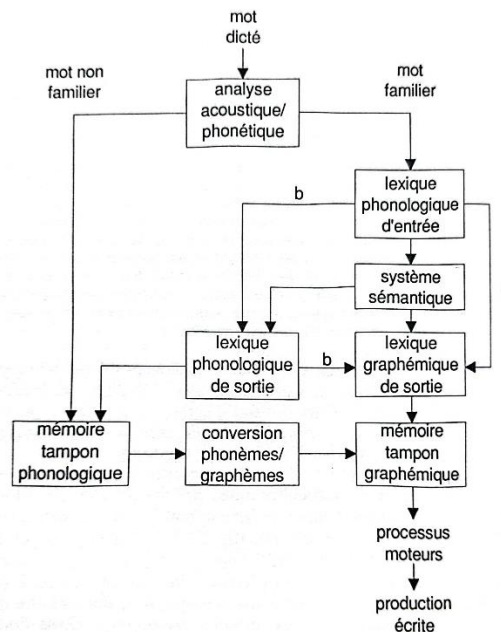


Fig.1. Diagramme schématisé des processus orthographiques par Zesiger, 1995 (adapté de Caramazza et Miceli, 1989)

Les composants centraux étant explicités, nous abordons maintenant les composants périphériques qui permettent, à partir des informations orthographiques récupérées, d'aboutir à la trace graphique des lettres du mot.

2. NIVEAUX DE TRAITEMENT PERIPHERIQUES OU POST-ORTHOGRAPHIQUES

Introduction

Contrairement aux processus orthographiques, postulés communs aux diverses modalités de production de langage écrit, les processus impliqués dans la préparation et l'exécution de réponses sont spécifiques à chaque modalité (écriture manuscrite, épellation, dactylographie).

Cela a été démontré par Baxter et Warrington en 1986. Ces derniers ont en effet décrit des patients capables de produire correctement par écrit les lettres de stimuli mais présentant des difficultés concernant leur épellation orale. Des cas aux performances inverses, c'est-à-dire dont l'épellation orale des stimuli est correcte mais dont la production écrite de la suite des lettres de ces stimuli est atteinte, cela sans déficit moteur généralisé, ont été notés par ces mêmes chercheurs (Rapp & Caramazza, 1989 ; Planton & Longcamp, 2017).

Dans la description des processus périphériques spécifiques à la production écrite, l'existence de trois niveaux de traitement est généralement admise (Ellis, 1979, 1982, 1988) : le niveau allographique, les programmes moteurs graphiques et le code graphique.

Nous décrirons successivement ces processus dans les parties suivantes puis présenterons les études neuroscientifiques en faveur de leur dissociation.

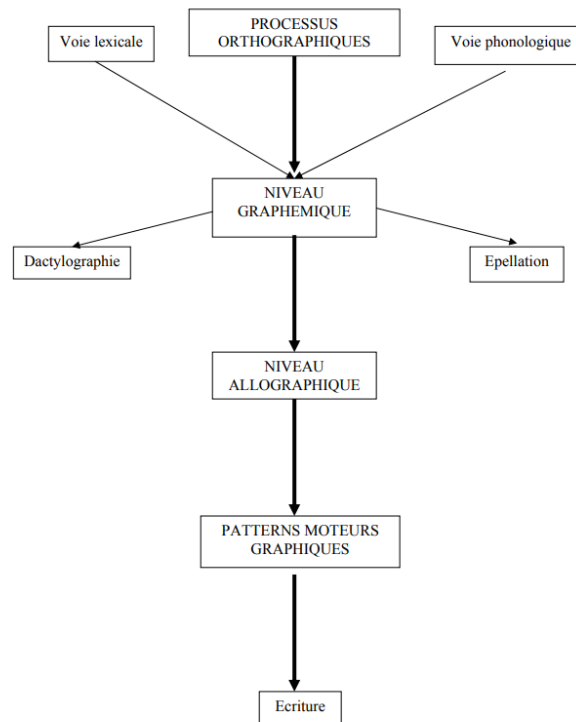


Fig. 2. Diagramme schématisique des processus d'écriture selon Ellis (1988) (Zesiger, 1995)

2.1 Niveau allographique

Tout d'abord, les informations orthographiques de la séquence de lettres à écrire, issues du buffer graphémique, sont prises en charge par le module allographique.

Ce niveau désigne un stockage à long terme composé des allographes de chaque graphème. Rappelons que les allographes sont les différentes formes que peut prendre un graphème (*e*, *E*, *e*, *E*).

Ainsi, ce processus permet de définir le format de production, notamment la casse (majuscule/minuscule), le style (cursif/script) ainsi que la trace individuelle, spécifique à chaque scripteur.

Dans leur étude de 2013, Dufor et Rapp n'ont trouvé aucune région cérébrale spécifiquement sensible aux changements de casse des lettres.

La sélection de l'allographe permet de déterminer le processus de sélection des programmes moteurs qui s'ensuit.

2.2 Patrons moteurs graphiques

En effet, les patrons moteurs graphiques, également stockés en mémoire à long terme, sont propres à chaque allographe (modèles d'Ellis en 1979, 1982 et 1988 puis Margolin en 1984). Ils spécifient la séquence, la direction et la taille (ou stroke) relative des traits moteurs caractéristiques de chaque allographe. Par conséquent, ces informations sont d'ordre spatial.

Enfin, dès lors que les patrons moteurs graphiques sont définis, leur exécution neuromusculaire peut débuter.

2.3 Paramétrisation et ajustements neuromusculaires ou Code graphique

Ce dernier niveau de traitement correspond, selon Van Galen (1991), au « *recrutement des synergies des forces musculaires agonistes et antagonistes nécessaires à la réalisation de la trajectoire d'écriture, dans un contexte biophysique donné* ».

Concrètement, il permet d'exécuter le programme moteur graphique, en traduisant les programmes moteurs sélectionnés en informations neuromusculaires pour commander les muscles effecteurs de l'écriture mis en jeu selon trois paramètres : la force musculaire, la taille des traits et leur durée.

A présent, étudions les preuves scientifiques en faveur d'une dissociation des deux premiers niveaux.

2.4 Dissociation entre les niveaux allographique et des patterns moteurs graphiques

Tout d'abord, Ellis définit une atteinte localisée spécifiquement au niveau des patrons moteurs graphiques comme devant « *se traduire par des difficultés dans la production de séquences de mouvements requis pour la réalisation des lettres d'un mot et par une performance correcte en épellation orale de lettres* ».

Baxter et Warrington, en 1986, à travers l'étude de leur cas I.D.T, ont confirmé ses propos. En effet, ce patient parvenait à épeler oralement des mots, décrire la forme des lettres mais son écriture était laborieuse en raison de tracés incomplets ou fusions de lettres. D'autres cas similaires ont été relevés (Kapur & Lawton ; Roeltgen & Heilman, 1983).

Inversement, en 1986, Goodman et Caramazza ont décrit le cas MW dont les déficits suggéraient une affection localisée au niveau allographique. En effet, son écriture comportait des substitutions de lettres (graphiquement bien formées donc il ne s'agissait pas de déficit au

niveau des patterns moteurs graphiques) en écriture de mots et lettres isolées sous dictée et également dans la transcription directe ou différée de lettres minuscules en majuscules (et inversement). Ces difficultés n'étaient pas observées en épellation orale et ne relevaient donc pas du niveau orthographique. Des cas similaires ont été par ailleurs observés (Crary & Heilman, 1988).

Ces faits de doubles dissociations de neuropsychologie attestent que ces deux niveaux sont distincts et indépendants.

A présent, nous nous intéressons aux fonctions inhérentes au niveau allographique à l'aune d'éléments de la littérature neuropsychologique.

2.5 Dissociation entre les représentations des différentes casses au sein du système allographique

Tout d'abord, nous présentons les études témoignant de la spécificité des représentations des différentes casses.

En 1989, Patterson et Wing ont étudié le patient DK : il présentait des difficultés spécifiques à la production de lettres minuscules ; des difficultés dans l'évocation de la forme des lettres à produire et un temps de préparation de la réponse motrice très élevé étaient relevés.

En parallèle et durant la même année, De Bastiani et Barry ont décrit le patient GB qui présentait une dysgraphie « allographique » se traduisant par une perturbation affectant les règles de sélection de la casse. Ces difficultés portaient sur la production de lettres majuscules.

Ainsi, des patients porteurs de déficits sélectifs sur la production de lettres minuscules ainsi que d'autres patients porteurs de déficits sélectifs sur la production de lettres majuscules ont été décrits.

Cette double dissociation observée semble effectivement en faveur d'une représentation indépendante des deux codes.

En complément, citons l'étude de Forbes et Venneri (2003) présentant une patiente incapable de produire dans une seule et même casse (fréquentes erreurs de mélanges de casses). Cela suggère que les modèles du niveau allographique doivent intégrer un mécanisme responsable de la sélection de la forme de la lettre avec la casse appropriée et inhibant les représentations de la mauvaise casse.

Puis, nous explorons les études soutenant la spécificité des représentations des différents styles d'écriture au sein de ce même niveau de traitement.

2.6 Dissociation entre les représentations des différents styles d'écriture au sein du système allographique

En 2014, J. Richard Hanley et S. Peters ont proposé le cas du patient HN comme preuve que les formes scriptes et cursives des lettres minuscules relèvent de représentations séparées dans le système de production écrite. En effet, ce dernier présentait un déficit dans la production de minuscules scriptes uniquement (lettres isolées et au sein de mots), tandis que son écriture de minuscules cursives et de majuscules scriptes demeurait intacte.

De plus, A. Menichelli, B. Rapp et C. Semenza (2006) ont étudié le patient MN qui avait des difficultés dans l'écriture et la reconnaissance visuelle de mots et lettres majuscules scriptes alors que sa production de minuscules cursives était intacte.

En conclusion, dans la production écrite, chaque style (script et cursif) et chaque casse (majuscule et minuscule) semblent bénéficier de représentations distinctes.

2.7 Propositions de révision du modèle d'Ellis

Plusieurs chercheurs ont apporté des modifications au modèle d'Ellis. Rap et Caramazza en 1997 mettent en doute la distinction entre ces trois niveaux périphériques. Ils avancent que des représentations de nature motrice seraient mobilisées lors de l'écriture manuscrite. Dans leur étude, les substitutions réalisées par les patients s'expliqueraient par des similitudes entre la lettre réalisée et la lettre cible en termes de « strokes ».

En 1991, Van Galen propose que le niveau allographique et celui des patrons moteurs graphiques ne soient qu'une seule étape de traitement (représentations de nature spatiale). Elle serait suivie d'une étape de contrôle de la taille et vitesse de production et enfin, des ajustements musculaires permettant la réalisation concrète de la trace graphique.



Fig.3. Modèle de l'écriture manuelle de Van Galen (1991) (Zesiger, 1998)

METHODE

Introduction

Ainsi, en se basant sur des travaux de psycholinguistique composés d'analyses de corpus d'erreurs de production chez l'adulte sain et sur des travaux de neuropsychologie, nous avons présenté les composants centraux, communs aux différentes modalités de la production verbale écrite de mots, et les composants périphériques propres à l'écriture manuscrite. Les niveaux de traitement intermédiaires entre le conceptuel et le geste graphique étant explicités, nous souhaitons décrire spécifiquement l'organisation temporelle du niveau de traitement allographique lors de la production en temps réel de mots. Pour cela, une tâche de dénomination écrite de mots isolés à partir d'images est demandée à des adultes sans trouble du langage.

L'objectif de cette expérience, basée sur la chronométrie mentale, est de restituer des arguments empiriques attestant de la spécificité des différentes représentations allographiques au sein de ce niveau de traitement.

Plus précisément, elle consiste à comparer les temps de réponse pour une série de stimuli produits sous les quatre formats d'allographes existants.

Premièrement, nous émettons l'hypothèse que le temps de préparation nécessaire (temps de traitement) pour écrire de manière manuscrite un mot à partir d'images diffère selon les casses et styles utilisés, donc dépend de la sélection du type d'allographe. Nous supposons que le facteur de Bayes sera en faveur de l'hypothèse expérimentale pour la variable « Type de Casse » et « Type de style ».

Deuxièmement, nous prédisons une relation entre la latence d'initialisation et le taux d'erreurs. Notamment, nous suggérons que le temps de réponse sera plus court et le taux d'erreurs plus faible dans le cas de productions dans les casses et styles les plus fréquemment utilisés. Nous avons conçu l'ordre suivant : minuscule cursive < majuscule scripte < minuscule scripte < majuscule cursive.

1. Participants

Un échantillon de 51 participants est constitué, parmi lequel 47 sont des femmes. Ils sont droitiers, de langue maternelle française, rapportent une vision normale ou corrigée, et ne mentionnent pas de trouble du langage. De plus, ils sont scolarisés en Licence 2 de Psychologie à l'Université de Poitiers. L'âge moyen est de 19.24 ans. L'écart-type se situe à 1.84. Le participant le plus jeune a 18 ans et le plus âgé a 27 ans.

Le recrutement, réalisé grâce aux crédits cours, est effectué à l'université de Poitiers, plus spécifiquement au sein de la filière de Psychologie (licence 2).

Les étudiants présentant un trouble du langage (dyslexie, dysorthographe, etc.) sont retirés du protocole expérimental.

L'indemnisation, créditée sous forme de crédits cours, correspond au temps de passation.

Le numéro CER-TP est 2022-07-02 et le numéro RGPD est 202335.

2. Matériel

Le matériel est composé d'une tablette graphique, de référence Intuos 2 et d'un stylet SP401.

Une feuille blanche de 60 lignes est disposée sur la tablette.

Le programme informatique utilisé est DmDx (Faster et Forster, 2003).

De plus, une banque de 120 images issues de bases de données françaises (Alario & Ferrand, 1999; Bonin et al., 2003) a été utilisée.

Ces images ont été standardisées selon les 16 variables suivantes. Les valeurs concordance du nom (0,165), concordance de l'image (3,63), familiarité (2,99), complexité visuelle (3,01), variabilité d'image (2,86) et âge d'acquisition (0) proviennent de deux bases de données normatives françaises (Alario & Ferrand, 1999 ; Bonin et al., 2003). Ces données normatives incluent également les valeurs de fréquence des mots et le premier associé verbal.

Puis, les données relatives à la fréquence lexicale (1,045), au nombre de voisins orthographiques (6,29) et de voisins phonologiques (11,96), aux longueurs orthographique -en nombre de lettres- (6,175) et phonologique -en nombre de phonèmes- (4,55), à la fréquence de syllabes phonologiques (2,565), fréquence de graphèmes (4,585) et fréquence de phonèmes (4,42) ont été puisées dans la base de données LEXIQUE2 (New et al., 2004).

Enfin, la fréquence de syllabes orthographiques (2,245) a été prise de Chetail and Mathey (2010).

3. Procédure

Chaque session dure 30 minutes et comprend la présentation du matériel, la transmission des consignes et enfin, la passation.

Il est demandé aux participants une tâche de production manuscrite de mots isolés à partir d'images.

Vingt-cinq participants (50% de l'échantillon total) doivent réaliser une production exclusivement cursive, et les vingt-cinq autres participants doivent réaliser une production exclusivement scripte. Au sein de ces deux groupes, les deux modalités de casse (majuscule et minuscule) sont demandées, en alternance.

Tout d'abord, l'expérience débute par une phase de familiarisation ; une présentation visuelle préalable de l'image avec le nom de cette dernière permettra de limiter les erreurs sémantiques. L'essai expérimental se structure ainsi : apparaissent à l'écran une croix de fixation durant 500 ms puis un écran vide durant 2500 ms. L'image alors projetée pour une durée de 2000 ms au maximum disparaît dès que la tablette graphique enregistre le début de la réponse. Alors, un écran noir s'affiche pour une durée maximale de 3000 ms, temps d'exécution graphique.

Une pause est réalisée après chaque série de 60 images.

RESULTATS ET ANALYSE

Le logiciel DmDx fournit un fichier des temps de réponse. Une première phase de l'analyse vise à retirer les valeurs correspondant à des erreurs NA (5.96%) et techniques (4.38%).

Ensuite, les analyses statistiques sont réalisées à l'aide de LMEM (R_software, package lmerTest, Kuznetsova et al., 2014) généraux pour les temps de réponses et généralisés pour les erreurs de production.

Deux éléments sont étudiés ici ; les erreurs orthographiques (6.61%) et sémantiques (1.15%) donc, exprimées en pourcentage, et les temps de réponse ou latence d'initialisation graphique (entre la présentation de l'image et le début de la réponse enregistrée sur la tablette graphique) exprimés en millisecondes. Nous comparons ces deux éléments entre les différentes formes de casse (majuscule/minuscule) et de style (script/cursif).

Nous utilisons les statistiques inférentielles pour l'analyse des données. Elles permettront de vérifier la significativité des résultats obtenus à l'aide du calcul de la p value.

Résultats

Notre analyse de résultats a porté sur le taux d'erreurs et la latence d'initialisation pour les quatre formats allographiques.

Dans nos résultats, Z correspond à la loi normale centrée-réduite, F au Fisher-Snedecor et T au test de Student.

1. Analyse des erreurs

Ici, les types d'erreurs concernés sont les échanges de mots et les erreurs orthographiques. Les pourcentages d'erreurs ont été calculés dans les quatre formats allographiques. Ces résultats sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Taux d’erreurs en dénomination écrite d’images pour chaque format allographique (%).

	Majuscule	Minuscule	Total
Cursif	20.80	15.73	18.27
Script	18.08	17.79	17.93
Total	19.41	16.78	

1.1 Effets observés

Tout d’abord, nous nous intéressons à l’effet de la casse sur le taux d’erreurs obtenu. Les résultats montrent un taux d’erreurs bien plus important (19.41 %) pour la casse majuscule que pour la casse minuscule (16.78 %). Ces résultats sont significatifs ($p < 0.001$). La variable Z est égale à -4.195 .

Puis, les données relatives à un effet du style (cursif/script) sont non significatives ($p = 0.506$). Nous considérons donc que le taux d’erreurs dans les styles script et cursif est le même. La variable Z est -0.67 .

Enfin, nous avons croisé les variables Casse et Style afin de mettre en évidence un effet d’interaction entre elles. Les résultats, significatifs ($p < 0.001$), confirment la présence d’un effet d’interaction ($\chi^2(1) = 13.09$).

En considérant la dénomination écrite de mots en style cursif, on observe un effet de la Casse sur ses résultats ($p < 0.001$). La variable Z est de -5.54 .

L’allographe correspondant à la majuscule cursive est celui qui regroupe le plus d’erreurs (20.80 %). En revanche, la minuscule cursive est la modalité allographique réalisée avec le plus faible taux d’erreurs (15.73 %).

Ainsi, la réussite en production écrite de mots dans le style cursif est dépendante de la casse employée.

En revanche, au sein de la modalité scripte, les résultats sont non significatifs ; nous considérons donc que l'effet de la casse est absent ($p = 0.735$; $Z = -0.34$). Ainsi, le taux d'erreurs en production de mots dans le style script n'est pas influencé par la casse utilisée.

2. Analyse des latences d'initialisation

Le second paramètre étudié représente le temps de réponse moyen, ou latence d'initialisation. Elle correspond au temps entre la présentation de l'image à l'écran et la mise en écriture (enregistrement de la pose du stylo par la tablette). Exprimés en millisecondes, les résultats sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Temps de réponse en dénomination écrite d'images pour chaque format allographique (ms).

	Majuscule	Minuscule	Total
Cursif	1506 (417.01)	1298 (309.36)	1399 (380.01)
Script	1148 (303.09)	1238 (309.24)	1193 (309.45)
Total	1321 (404.22)	1268 (310.71)	

Notes : Les scores entre parenthèses représentent les écarts-types.

2.1 Effets observés

Premièrement, les résultats montrent que les productions en casse majuscule ont une latence d'initialisation plus importante (1321 ms) que celles en casse minuscule (1268 ms). Les résultats sont en effet significatifs ($p < 0.001$; $F(1.9855.1) = 147.29$).

Deuxièmement, les résultats relatifs au style montrent que les productions en style cursif ont une latence d'initialisation plus importante (1399 ms) que celles en style script (1193 ms). Les résultats sont significatifs ($p < 0.001$; $F(1.48.9) = 14.92$).

Finalement, le croisement des variables Casse et Style révèle la présence d'un effet d'interaction. Les résultats sont bien significatifs ($p < 0.001$; $F(1,9855.7) = 782.64$).

En considérant la dénomination écrite de mots en style Cursif, on observe un effet de la Casse sur ses résultats ($p < 0.001$; $T(4762.87) = -24.88$). L'allographe correspondant à la majuscule cursive est celui qui requiert le temps de réponse le plus important (1506 ms). En revanche, le temps de réponse pour la minuscule cursive est 1298 ms.

Ainsi, la latence d'initialisation en production écrite de mots cursifs varie selon la casse employée.

En considérant la dénomination écrite de mots en style script, on observe un effet de la casse sur ses résultats ($p < 0.001$; $T(4978.67) = 13.19$). Cet effet est néanmoins plus faible qu'en style cursif ; le temps de réponse pour la minuscule scripte est légèrement plus élevé (1238 ms) que celui pour la majuscule scripte (1148 ms).

2.2 Ecart-types

L'obtention des écart-types nous permet de mesurer la dispersion des résultats autour des temps de réponse moyens cités précédemment.

Nous remarquons que l'écart-type est très important pour la modalité majuscule cursive (417.01) en comparaison avec les trois autres formats allographiques. Il y a donc de grandes disparités de résultats inter lettres ou inter individus. Ajoutons que les résultats dans les modalités minuscule scripte (309.24) et minuscule cursive (309.36) obtiennent des écart-types plus importants que ceux pour la modalité majuscule scripte (303.09).

3. Analyse croisée des taux d'erreurs et de la latence d'initialisation

En comparant les résultats relatifs au taux d'erreurs et au temps de réponse pour chaque format allographique, nous remarquons que la production de majuscules cursives est celle qui requiert le plus de temps de réponse (bien qu'il y ait une grande dispersion de résultats autour de la moyenne obtenue) et induit le plus d'erreurs.

De plus, si la minuscule cursive induit le plus faible taux d'erreurs, le temps de réponse moyen que sa mise en écriture requiert est le plus important après la majuscule cursive.

Enfin, les résultats propres aux majuscules et minuscules scriptes semblent relativement stables.

DISCUSSION

1. Objectifs de recherche et principaux résultats

L'objectif de cette étude est de décrire la dynamique temporelle d'accès aux codes allographiques lors de la dénomination écrite en temps réel d'images. Pour cela, il a été demandé à de jeunes adultes en Licence 2 de Psychologie à l'Université de Poitiers une tâche de dénomination écrite d'images soit dans la modalité scripte, soit dans la modalité cursive, en faisant varier la casse.

Notre première hypothèse était que le temps de préparation nécessaire (latence d'initialisation) pour écrire de manière manuscrite un mot à partir d'images différerait selon les casses et styles utilisés, donc dépendait de la sélection du type d'allographe. Cette hypothèse a été validée pour tous les résultats.

De plus, nous avons supposé l'existence d'une relation entre la latence d'initialisation et le taux d'erreurs. Cette hypothèse a été infirmée en raison de deux éléments. Tout d'abord, les formats scripts, s'ils sont produits rapidement, sont le siège d'un nombre d'erreurs important ; a contrario, la production de minuscules cursives engendre peu d'erreurs mais implique un important temps de préparation. Puis, les résultats relatifs à un effet de la casse en modalité scripte sont non significatifs.

Plus précisément, nous avons supposé que les temps de réponse seraient plus courts et les taux d'erreurs plus faibles pour les productions dans les casses et styles les plus fréquemment utilisés. En effet, leur mise en écriture devrait être rapide et efficace, car relevant d'un processus automatisé. Nous avons conçu l'ordre suivant : minuscule cursive < majuscule scripte < minuscule scripte < majuscule cursive. Les résultats obtenus ne valident pas entièrement ces propositions. Nous les détaillerons ci-après.

Dans un premier temps, nous nous penchons sur les taux d'erreurs obtenus. Concernant l'analyse des taux d'erreurs révélant un effet de la casse, l'écriture en majuscules induit bien plus d'erreurs (19.41 %) que celle en minuscules (16.78 %). Nous pouvons émettre comme hypothèse explicative la fréquence de production qui induit une plus grande automatisation. Cette automatisation implique que les programmes moteurs soient stables (maturation motrice) et faciles d'accès.

En effet, l'utilisation des majuscules, moins fréquente que celle des minuscules, est régie par des règles strictes. Ainsi, s'en affranchir en inhibant la minuscule, casse majoritaire, peut impliquer des ressources cognitives supplémentaires et engendrer des erreurs.

Par ailleurs, qu'on les produise (écriture) et rencontre (en lecture) exclusivement en début de

phrase ou en initiale de noms propres implique que certaines majuscules soient plus fréquemment produites que d'autres (redondance de la syntaxe) ; nous supposons donc des différences inter lettres au sein d'une même modalité allographique. Malheureusement, cette proposition n'est pas vérifiable au vu de notre expérience (voir Limites de l'étude).

Puis, le croisement des variables révèle des résultats non significatifs concernant l'effet du style en modalité scripte, nous considérons donc que les taux d'erreurs en minuscules scriptes et majuscules scriptes sont similaires.

De plus, nous obtenons un taux d'erreurs en production minuscule scripte plus important qu'en production minuscule cursive. Tout d'abord, cela confirme un emploi écrit plus important de la minuscule cursive que scripte ; la fréquence induit une automatisation du processus d'écriture. En outre, nous supposons qu'une interférence a lieu entre ces deux formats qui possèdent beaucoup de traits communs ; cela implique donc des capacités d'inhibition des traits de la modalité la plus fréquente (minuscule cursive) et peut expliquer les erreurs commises dans la modalité minuscule scripte. Enfin, les caractéristiques des minuscules scriptes peuvent occasionner des confusions, substitutions, en raison de leurs traits redondants, des lettres en miroir (p/q, d/b) et des nombreux levers de crayon que leur écriture requiert. Ces erreurs pourraient être commises au sein d'une population saine soumise à une pression temporelle, lors d'une situation expérimentale.

Par ailleurs, les erreurs commises pour les majuscules scriptes pourraient se justifier par le fait que leur fréquente mise en écriture a engendré un tracé individuel, éloigné des normes canoniques.

De surcroît, le fort taux d'erreurs en majuscules cursives soulève comme hypothèses explicatives la faible fréquence de production, mais également la complexité des traits (taille et direction). Ainsi, le maintien des représentations allographiques moins fréquemment sollicitées demande plus d'effort cognitif (mémoire de travail) et la complexité graphique implique davantage de contrôle grapho-moteur, ce qui favorise la réalisation d'erreurs.

Dans un second temps, nous analysons les latences d'initialisation. Concernant la casse (styles confondus), les temps de réponse sont plus longs (de 53 ms) pour les productions majuscules que pour les productions minuscules. Comme dit précédemment, la fréquence de production des minuscules induit une plus grande automatisation et charge cognitive minimale. Pour le même motif que pour les taux d'erreurs, des différences inter lettres au sein de cette modalité allographique sont envisageables. Concernant le style (casses confondues), les temps de réponse sont bien plus longs (de 206 ms) pour les productions cursives que scriptes. Trois points peuvent justifier ces résultats. En effet, la complexité des traits est plus grande pour les

lettres cursives que pour les lettres scriptes, en particulier pour les majuscules. En outre, la vitesse d'accès aux représentations allographiques pourrait s'expliquer par une fréquente confrontation en lecture du style script. Enfin, l'emploi de l'ordinateur pourrait influencer, la modalité scripte pouvant être intériorisée dans l'usage d'objets numériques.

L'analyse croisée des quatre formats d'allographes nous informe que le format produit le plus rapidement est la majuscule scripte, puis la minuscule scripte, puis la minuscule cursive, et enfin la majuscule cursive.

Le fait que les majuscules et minuscules scriptes soient plus rapidement produites que les minuscules cursives, pourtant conçues comme la modalité la plus fréquente, suggère que la simplicité des traits en bâtons va de pair avec une vitesse de traitement cognitif importante (récupération allographique et réalisation motrice). Toutefois, ce calcul ne se rapportant qu'à la première lettre du mot écrit, il n'est pas certain que cela représente la vitesse d'écriture réelle comparée des deux styles de la modalité minuscule.

A présent, nous effectuons un point analytique sur les écarts-types obtenus. La grande dispersion de résultats autour de la moyenne pour la majuscule cursive indique de grandes disparités inter lettres ou inter individus. Nous supposons qu'il existe des différences d'accès aux codes allographiques et donc aux programmes moteurs selon le statut des lettres (fréquence), l'âge d'acquisition, le type d'apprentissage (intensité) et la complexité graphique. Malheureusement, cette proposition n'est pas vérifiable au vu de notre expérience (voir Limites de l'étude).

Enfin, nous examinons les données issues de l'analyse croisée des deux variables étudiées. Nous observons notamment qu'un faible temps de réponse n'est pas systématiquement associé à un faible taux d'erreurs, ce qui contredit notre hypothèse.

En particulier, pour les majuscules et minuscules scriptes, si le temps de réponse est court (accès rapide aux représentations allographiques), le taux d'erreurs est assez élevé. Nos hypothèses à ce dernier point sont les suivantes : les réguliers levers de crayon peuvent générer des erreurs par rapport à la norme canonique ; certains patterns graphomoteurs stockés, par manque de sollicitation, comportent des erreurs ; la minuscule cursive, majoritaire, interfère.

Pour la majuscule scripte, nous pouvons supposer que la fréquence de production a engendré un tracé individuel, associé à une grande vitesse de réalisation, mais parfois éloigné des normes canoniques. Que cela ne se retrouve pas dans l'autre format majoritaire, celui de la minuscule cursive, peut se justifier par le fait qu'il comporte moins de levers de crayons (écriture dite « attachée »).

Notons toutefois que les résultats propres aux majuscules et minuscules scriptes semblent

relativement stables.

Les importants temps de réponse et taux d'erreurs relatifs aux majuscules cursives sont probablement liés à la complexité graphique et également à un désapprentissage due à la faible fréquence de production comme de visualisation écrites. La récupération des représentations allographiques puis la réalisation des programmes moteurs impliquent un traitement cognitif long et coûteux. De même, la traduction de ces programmes moteurs en informations neuromusculaires nécessite une importante planification. De plus, nous pouvons suggérer que la charge de traitement soit telle qu'à l'issue de chaque lettre écrite, un réencodage orthographique soit nécessaire.

Finalement, une importante fréquence d'utilisation dans les formats allographiques majoritaires a induit une automatisation (accès rapide aux représentations allographiques et donc activation de programmes moteurs matures), sollicitant une charge cognitive minimale.

En parallèle, la production écrite de mots dans les modalités allographiques minoritaires implique des traitements contrôlés et donc requièrent davantage de fonctions exécutives (inhibition, attention, mémoire de travail, flexibilité et planification), ce qui augmente le temps et la charge de traitement, provoquant des erreurs.

2. Limites et perspectives de recherche

Nous relevons plusieurs limites à notre étude. Tout d'abord, il est très probable que les tâches demandées impliquent une activation simultanée des différents niveaux de traitement. Ainsi, il est difficile d'imputer un tel résultat à un tel niveau de traitement et séparer ce qui relève de chaque niveau de traitement périphérique. De plus, des variabilités inter individuelles sont supposées. Aussi, il aurait pu être pertinent de faire produire les quatre formats allographiques à un même échantillon.

Par ailleurs, il aurait pu être pertinent de réaliser cette expérience auprès de populations d'âges et de milieux socioculturels différents. Cela nous aurait notamment permis d'analyser l'évolution de cette dynamique temporelle d'accès aux codes allographiques, depuis l'apprentissage de l'écriture jusqu'à un âge adulte avancé. De plus, il aurait été intéressant de comparer les résultats entre les différents milieux socioculturels pour conclure, ou non, à une appropriation différente des codes allographiques.

En outre, l'analyse qualitative des productions obtenues dans notre expérience aurait pu apporter des éléments supplémentaires dans la connaissance des niveaux de traitement décrits. Notamment, l'obtention des lettres erronées aurait permis de définir si ces substitutions étaient liées à une similarité sur le plan des « strokes » ou une similarité visuelle. Rappelons qu'en

1997, Rapp et Caramazza ont avancé que des représentations de nature visuelle étaient mobilisées en reconnaissance visuelle de mots alors qu'il s'agissait de représentations de nature motrice lors de l'écriture manuscrite.

De plus, cela nous aurait permis de mettre en évidence des différences inter lettres (temps de réponse et taux d'erreurs) selon leur fréquence, leur âge et contexte (apprentissage) d'acquisition. Rappelons qu'en tâches de dénomination écrite de mots à partir d'images par des participants normaux, l'effet de l'âge d'acquisition a été peu étudié.

Pour finir, citons l'étude publiée par McCloskey et al. en 2018. Ses résultats suggèrent que l'information allographique est associée à l'identité des lettres. Il serait intéressant d'étudier l'indépendance du niveau de traitement des codes allographiques vis-à-vis du niveau de traitement des codes orthographiques. L'absence ou la présence d'un effet d'interaction pourrait être mise en évidence en s'appuyant sur les effets allographiques et d'inconsistance.

3. Apports en orthophonie

La notion d'allographe est peu évoquée en orthophonie. Pourtant, elle présente un intérêt certain pour la prise en soin des troubles du langage écrit, qui représente une part importante du travail orthophonique.

Dans la littérature neuroscientifique portant sur la production écrite, les principaux modèles ont été conçus à partir d'études s'intéressant à des cas de patients, de données relatives au fonctionnement pathologique. Or, notre étude a consisté en l'analyse de productions écrites d'une population saine. En effet, il est essentiel de connaître et de comprendre le système de production normal du langage pour mieux appréhender le pathologique, pour intervenir sur les dysfonctionnements.

Ce travail met en évidence les multiples niveaux de traitement cognitif sollicités pour aboutir à une trace graphique. Ainsi, la rééducation d'un trouble spécifique du graphisme implique de modifier les autres variables afin de réduire la charge de traitement et ne cibler que le niveau de traitement atteint (par exemple, en fournissant les données orthographiques).

Dans l'apprentissage de l'écriture, il est important de définir les avantages et inconvénients de chaque style d'écriture. En effet, si le style script, auquel nous sommes le plus souvent confrontés, semble plus simple du point de vue moteur (segments redondants), il est plus propice aux inversions de graphèmes, et sa mise en écriture comporte beaucoup de levers de crayon. En parallèle, le style cursif permet une écriture plus rapide (lettres liées), se prête moins aux inversions mais sa mise en écriture représente davantage de difficultés sur le plan moteur (formes, changements de direction). Quoi qu'il en soit, leur apprentissage requiert du temps et

un accompagnement adapté. Il est attendu un passage progressif d'un contrôle rétroactif des mouvements d'écriture à un contrôle proactif. En cas de difficulté à automatiser les programmes moteurs, une prise en soin orthophonique précoce s'impose.

La non-automatisation de l'écriture peut engendrer une dysgraphie, pouvant s'associer à d'autres troubles dys. En effet, cette étude met en évidence les liens entre ces différents troubles des apprentissages. Durant un acte d'écriture, un individu porteur de dyslexie concentrera une grande part de son attention à la conversion phono-graphémique, ce qui peut pénaliser l'automatisation du geste graphique. De même, la dysgraphie peut s'intégrer à un trouble plus global, la dyspraxie.

De surcroît, nous avons vu que les représentations visuelle et motrice étaient indissociables. Ainsi, les compétences en écriture et en lecture sont à renforcer conjointement. Dans la prise en soin d'individus porteurs de dyslexie, un grand nombre de supports étant écrits dans la modalité scripte, il est important d'intégrer des outils et proposer des stratégies permettant la distinction des graphèmes, afin d'accompagner le patient dans ses apprentissages.

L'entraînement moteur, visuospatial et visuoconstructif, les tâches de motricité fine feront partie de la rééducation des individus porteurs de dysgraphie. L'adaptation de supports peut être proposée. En lien avec un ergothérapeute, l'utilisation d'outils numériques peut être préconisée pour faciliter les apprentissages.

Par ailleurs, dans les prises en soin de troubles d'origine neurologique, certains patients peuvent, à la suite d'une lésion cérébrale, présenter une agraphie touchant exclusivement un format allographique. Ainsi, un travail de réencodage des codes allographiques associé à un entraînement graphique pourra être proposé.

CONCLUSION

L'intérêt de notre étude était de décrire l'agencement temporel des traitements cognitifs impliqués dans l'accès aux codes allographiques en tâche de production manuscrite. Nous avons analysé les latences d'initialisation et les taux d'erreurs dans les différents formats allographiques, en faisant varier les casses et styles.

Les résultats ont permis de confirmer la spécificité des différentes représentations allographiques dans le système de production écrite.

Ils ont notamment montré un taux d'erreurs bien plus important pour la casse majuscule que pour la casse minuscule. En outre, dans la modalité cursive, un effet de la Casse a été relevé, la production de la majuscule cursive regroupant le taux d'erreurs le plus important (19.41 %) tandis que celle de la minuscule cursive induisant le plus faible taux d'erreurs (15.73 %).

Concernant les latences d'initialisation, les résultats ont indiqué que les productions en casse majuscule avaient une latence d'initialisation plus importante (1321 ms) que celle des productions en casse minuscule (1268 ms). De plus, les résultats relatifs au style montrent que les productions en style cursif ont une latence d'initialisation plus importante (1399 ms) que celles en style script (1193 ms).

Ainsi, il a été démontré que le temps de préparation et le taux d'erreurs variaient selon le type d'allographe sélectionné, ce qui a confirmé notre hypothèse.

Parmi nos hypothèses explicatives, nous avons proposé que la fréquence de production induise une automatisation, impliquant donc une charge cognitive minimale et des programmes moteurs stables et faciles d'accès.

Concernant le taux d'erreurs, nous avons mentionné les possibles interférences entre deux modalités allographiques possédant beaucoup de traits communs. De plus, nous avons suggéré que le format minuscule script était plus propice aux confusions. De surcroît, nous avons expliqué le fort taux d'erreurs en majuscules cursives par le fait que le maintien des représentations allographiques moins fréquemment sollicitées demande plus d'effort cognitif et la complexité graphique implique davantage de contrôle grapho-moteur.

Concernant les latences d'initialisation, nous avons supposé que la simplicité graphique du style script s'associe à une vitesse de traitement cognitif importante.

Enfin, nous avons proposé que des différences d'accès aux codes allographiques et aux programmes moteurs graphiques s'expliquent par le statut des lettres (fréquence) et par l'âge d'acquisition ainsi que le contexte d'apprentissage des styles d'écriture et des lettres. Des études ultérieures pourraient explorer ces hypothèses.

BIBLIOGRAPHIE

- Barbarulo, A. M., Grossi, D., Merola, S., Conson, M., & Trojano, L. (2007). On the genesis of unilateral micrographia of the progressive type. *Neuropsychologia*, 45(8), 1685-1696. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.01.002>
- Barton, J. J. S., Sekunova, A., Sheldon, C. A., Johnston, S., Iaria, G., & Scheel, M. (2010). Reading words, seeing style : The neuropsychology of word, font and handwriting perception. *Neuropsychologia*, 48(13), 3868-3877. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.09.012>
- Baxter, D. M., & Warrington, E. K. (1987). Transcoding Sound to Spelling : Single or Multiple Sound Unit Correspondence ? *Cortex*, 23(1), 11-28. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(87\)80016-3](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(87)80016-3)
- Bonin, P., Collay, S., & Fayol, M. (2008). La consistance orthographique en production verbale écrite : une brève synthèse. *l'année psychologique*, 108(03), 517. <https://doi.org/10.4074/s0003503308003059>
- Bonin, P., Peereman, R., & Fayol, M. (2001). Do Phonological Codes Constrain the Selection of Orthographic Codes in Written Picture Naming ? *Journal of Memory and Language*, 45(4), 688-720. <https://doi.org/10.1006/jmla.2000.2786>
- Cameron, A., Cubelli, R., & Della Sala, S. (2002). Letter assembling and handwriting share a common allographic code. *Journal of Neurolinguistics*, 15(2), 91-97. [https://doi.org/10.1016/s0911-6044\(01\)00002-1](https://doi.org/10.1016/s0911-6044(01)00002-1)
- Dufor, O., & Rapp, B. (2013). Letter representations in writing : an fMRI adaptation approach. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00781>
- Favre, A. (2008). *Étude d'un cas de dysgraphie acquise chez un patient aphasique de conduction*. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:1483>
- Forbes, K. E., & Venneri, A. (2003). A case for case : handling letter case selection in written spelling. *Neuropsychologia*, 41(1), 16-24. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(02\)00136-7](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(02)00136-7)
- Gvion, A., Friedmann, N., Zaksenber, I. R., & Mor, R. (2010). Subtypes of Developmental Surface Dysgraphia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 6, 145-147. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.08.072>
- Hanley, J. R., & Peters, S. (1996). A Dissociation Between the Ability to Print and Write Cursively in Lower-Case Letters. *Cortex*, 32(4), 737-745. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(96\)80043-8](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(96)80043-8)
- Kandel, S., Peereman, R., & Ghimenton, A. (2013). Further evidence for the interaction of central and peripheral processes : the impact of double letters in writing English words. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00729>
- Kandel, S., & Perret, C. (2015). How does the interaction between spelling and motor processes build up during writing acquisition ? *Cognition*, 136, 325-336. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2014.11.014>
- Keller, C., & Meister, I. G. (2014a). Agraphia caused by an infarction in Exner's area. *Journal of Clinical Neuroscience*, 21(1), 172-173. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2013.01.014>
- Keller, C., & Meister, I. G. (2014b). Agraphia caused by an infarction in Exner's area. *Journal of Clinical Neuroscience*, 21(1), 172-173. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2013.01.014>
- Le Maout, E., (2012) *Approches et remédiations des dysgraphies : essai d'élaboration d'un support thérapeutique*. [mémoire]

- Longcamp, M., Anton, J., Roth, M., & Velay, J. (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)
- Menichelli, A., Rapp, B., & Semenza, C. (2008). Allographic agraphia : A case study. *Cortex*, 44(7), 861-868. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.06.002>
- Miceli, G., Capasso, R., Ivella, A., & Caramazza, A. (1997). Acquired Dysgraphia in Alphabetic and Stenographic Handwriting. *Cortex*, 33(2), 355-367. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(08\)70011-x](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(08)70011-x)
- Miceli, G., Giustolisi, L., & Caramazza, A. (1991). The Interaction of Lexical and Non-Lexical Processing Mechanisms : Evidence from Anomia. *Cortex*, 27(1), 57-80. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(13\)80269-9](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(13)80269-9)
- Olive, T. (2014). Toward a parallel and cascading model of the writing system : A review of research on writing processes coordination. *Journal of Writing Research*, 6(2), 173-194. <https://doi.org/10.17239/jowr-2014.06.02.4>
- Perret, C., Bonin, P., & Laganaro, M. (2014). Exploring the multiple-level hypothesis of AoA effects in spoken and written object naming using a topographic ERP analysis. *Brain and Language*, 135, 20-31. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2014.04.006>
- Perret, C., & Laganaro, M. (2013). Dynamique de préparation de la réponse verbale et électroencéphalographie : une revue. *l'année psychologique*, 113(04), 667-698. <https://doi.org/10.4074/s0003503313014073>
- Planton, S. (2014). *Processus centraux et périphériques en production écrite de mots : études comportementales, en neuroimagerie fonctionnelle et par stimulation magnétique transcrânienne*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01392506>
- Planton, S., & Kandel, S. (2016). Substrats cérébraux de la production du langage écrit. Dans *HAL (Le Centre pour la Communication Scientifique Directe)*. French National Centre for Scientific Research. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03576281>
- Planton, S., Longcamp, M., Péran, P., Démonet, J., & Jucla, M. (2017). How specialized are writing-specific brain regions ? An fMRI study of writing, drawing and oral spelling. *Cortex*, 88, 66-80. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.11.018>
- Rapcsak, S. Z., Beeson, P. M., Henry, M. L., Leyden, A., Kim, E., Rising, K., Andersen, S. K., & Cho, H. (2009). Phonological dyslexia and dysgraphia : Cognitive mechanisms and neural substrates. *Cortex*, 45(5), 575-591. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.04.006>
- Rothi, L. (1987). Isolated lexical agraphia in a right-handed patient with a posterior lesion of the right cerebral hemisphere*1. *Brain and Language*, 30(1), 181-190. [https://doi.org/10.1016/0093-934x\(87\)90036-8](https://doi.org/10.1016/0093-934x(87)90036-8)
- Séraphin-Thibon, L. (2018), *Etude de l'automatisation des mouvements d'écriture chez l'enfant de 6 à 10 ans*. [thèse]
- Schubert, T., Reilhac, C., & McCloskey, M. (2018). Knowledge about writing influences reading : Dynamic visual information about letter production facilitates letter identification. *Cortex*, 103, 302-315. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.03.020>
- Silveri, M. C. (1996). Peripheral Aspects of Writing can be Differentially Affected by Sensorial and Attentional Defect : Evidence from a Patient with Afferent Dysgraphia and Case Dissociation. *Cortex*, 32(1), 155-172. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(96\)80024-4](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(96)80024-4)

- Van Der Plaats, R. E., & Van Galen, G. P. (1991). Allographic variability in adult handwriting. *Human Movement Science*. [https://doi.org/10.1016/0167-9457\(91\)90008-l](https://doi.org/10.1016/0167-9457(91)90008-l)
- Vinci-Booher, S., Sturgeon, J., James, T. L., & James, K. H. (2018). The MRItab : A MR-compatible touchscreen with video-display. *Journal of Neuroscience Methods*. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2018.05.018>
- Zesiger Pascal, *Ecrire* (1995)