

**Faculté de psychologie et des sciences
de l'éducation**
École de logopédie

**Perception de l'orientation des
lettres :**

**Le rôle de la voie magnocellulaire dans la
perception de l'orientation des
lettres-miroirs**

Auteur : **Julia Van Daele**
Promoteur : **Gilles Vannuscorps**
Copromotrice : **Laura Desruez**

Master en logopédie à finalité spécialisée

Année académique 2018-2019



Université Catholique de Louvain
Faculté de Psychologie et des Sciences de l'éducation
École de Logopédie

Perception de l'orientation des lettres :
Le rôle de la voie magnocellulaire dans la perception de
l'orientation des lettres-miroirs

Promoteur : **Gilles Vannuscorps**

Copromotrice : **Laura Desruez**

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de

Master en logopédie à finalité spécialisée

par **Julia Van Daele**

Louvain-la-Neuve

Septembre 2019

J'adresse mes plus sincères remerciements à mon promoteur, Gilles Vannuscorps, qui déborde d'idées et à ma copromotrice, Laura Desruez, pour leur aide, leurs précieux conseils et le temps qu'ils ont consacré à nos échanges tout au long de ce projet. Je remercie tout particulièrement Laura Desruez, qui a brillé par sa disponibilité, sa patience et sa gentillesse au cours de ce mémoire. Merci également pour son implication et sa bienveillante relecture.

Je remercie Charlotte pour son aide dans la récolte des données.

Je souhaite également remercier les lecteurs pour le temps qu'ils consacreront à la lecture de ce mémoire.

Je remercie de tout cœur mes proches pour leur présence, leurs petits mots, les pensées qu'ils ont eues pour moi et toutes leurs petites attentions. J'ai l'immense chance d'être bien entourée et d'avoir été énormément encouragée et motivée par tous ces cinq dernières années.

Je remercie infiniment mes parents d'avoir cru en moi, d'avoir toujours fait preuve d'un soutien inconditionnel et de m'avoir permis de réaliser ce deuxième cursus passionnant.

J'adresse un immense merci à Eloi pour ses encouragements, sa patience sans limites, son soutien sans faille et sa capacité à toujours trouver les bons mots.

Je remercie Caroline, Claire et Jeanne, pour ne citer que quelques logos, pour les très bons moments passés ensemble (et ceux qui viendront !). Vos conseils et nos partages dans les moments plus difficiles m'ont à chaque fois changé les idées et réconfortée.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
PARTIE THEORIQUE	3
1. Orientation et images-miroirs.....	3
1.1. Observations d’erreurs miroirs dans différents contextes.....	3
1.1.1. <i>Les dyslexiques</i>	3
1.1.2. <i>Les personnes en cours d’alphabétisation</i>	3
1.1.3. <i>Les individus tout-venant</i>	4
1.1.4. <i>Les individus cérébro-lésés ou avec des anomalies cérébrales développementales</i>	5
1.2. Pourquoi des erreurs miroirs ? Explications issues de la littérature	6
1.3. Représentation de l’orientation et nature des erreurs selon l’hypothèse COR ...	8
1.4. Fréquence des erreurs miroirs	10
2. La voie magnocellulaire.....	12
2.1. Rappels sur le système visuel	12
2.2. Deux voies visuelles principales au-delà du cortex visuel primaire.....	13
2.3. Voie magnocellulaire et perception de l’orientation.....	14
2.3.1. <i>Etude de cas - A.H. (McCloskey, 2004, 2009) :</i>	15
2.3.2. <i>Etude d’un groupe de patients cérébro-lésés avec atteinte de la voie dorsale (Martinaud et al., 2016).....</i>	16
2.3.3. <i>Etudes de neuroimagerie</i>	16
3. Hypothèses	17
PARTIE EXPERIMENTALE	21
Chapitre 1 : Rappel des objectifs de l’étude	21
Chapitre 2 : Méthode	21
2.1. Participants.....	21
2.1.1. <i>Recrutement des participants :</i>	21
2.1.2. <i>Sélection des participants :</i>	22
2.2. Stimuli.....	24
2.2.1. <i>Choix des stimuli</i>	24
2.2.2. <i>Sélection des stimuli</i>	25
2.3. Prétests	25
2.3.1. <i>Détermination du niveau de rouge – « Heterochromatic flicker photometry »</i>	26

2.3.2. Détermination du seuil d'opacité – « Contrast sensitivity threshold »	27
2.4. Tâche principale – décision identique/différent.....	29
2.4.1. Présentation de la tâche « égal-différent ».....	30
2.4.2. Contexte de passation :	32
2.4.3. Déroulement de la passation :	32
2.4.4. Déroulement de la tâche principale :	33
2.4.5. Variables – Scores et sous scores :	35
Chapitre 3 : Résultats	36
3.1. Exactitude des réponses	38
3.1.1. Statistiques descriptives.....	38
3.1.2. Anova à mesures répétées.....	41
3.2. Temps de réponse	43
3.2.1. Statistiques descriptives.....	44
3.2.2. Anova à mesures répétées.....	45
DISCUSSION	51
1. Confrontation des résultats obtenus à la théorie et révision des hypothèses formulées	51
2. Limites de l'étude & perspectives futures.....	60
3. Contribution à la clinique et à la recherche.....	61
CONCLUSION.....	63
BIBLIOGRAPHIE.....	65
ANNEXES.....	73
Annexe I : Formulaire de consentement éclairé	73
Annexe II : Erreurs d'orientation potentielles selon l'hypothèse COR	74
Annexe III : Design 3x3 et répartition des différents essais	75
Annexe IV : Statistiques descriptives sur nos trois caractères.....	76

Tableaux

Tableau 1 : Design 3x3 et répartition des différents essais.....	31
Tableau 2 : Tableau croisé Réponse attendue*Réponse observée.	36
Tableau 3 : Tableau croisé Condition de présentation * Type d'erreur	37
Tableau 4 : Tableau croisé Orientation * Type d'erreur.....	37
Tableau 5 : Tableau croisé Condition de présentation * Réponse observée.	38
Tableau 6 : Tableau croisé Orientation du second stimulus*Réponse observée.	39
Tableau 7 : Facteurs intrasujets.....	41
Tableau 8 : Statistiques descriptives des taux de réponses correctes pour les variables combinées Condition*Orientation	41
Tableau 9 : Tests de sphéricité de Mauchly pour l'ANOVA sur les taux de réponse.	42
Tableau 10 : Tests des effets intrasujets pour le taux de réponses correctes.	43
Tableau 11 : Statistiques descriptives pour le temps de réponse.	44
Tableau 12 : Tableau récapitulatif des temps de réponse moyens en fonction de la condition.	44
Tableau 13 : Tableau récapitulatif des temps de réponse moyens en fonction de l'orientation.	44
Tableau 14 : Facteurs intrasujets.....	45
Tableau 15 : Statistiques descriptives des variables combinées de temps de réponse pour chaque condition*orientation.....	46
Tableau 16 : Tests de Mauchly pour l'ANOVA sur les temps de réponse.	47
Tableau 17 : Tests des effets intrasujets pour les temps de réponse.	47
Tableau 18 : Comparaisons appariées des temps de réponse pour les différentes conditions.....	48
Tableau 19 : Comparaisons appariées des temps de réponse pour les différentes orientations.....	49

Figures

Figure 1 : Deux cadres de référence.....	8
Figure 2 : Erreurs liées à l'inclinaison.....	9
Figure 3 : Quatre types d'images-miroirs.....	10
Figure 4 : Orientations possibles du 1er stimulus.	33
Figure 5 : Déroulement de la tâche principale.	34
Figure 6 : Graphique représentant les pourcentages d'erreurs dans les différentes conditions en fonction de l'orientation du stimulus.	39
Figure 7 : Graphique représentant les pourcentages d'erreurs dans les différentes orientations en fonction de la condition.....	40
Figure 8 : Graphique représentant la répartition des taux de réponses correctes en fonction de la combinaison Condition*Orientation.	42
Figure 9 : Graphique représentant la répartition des temps de réponse en fonction de la condition et de l'orientation	45
Figure 10 : Graphiques en barres d'erreurs pour chacune des 9 variables de temps de réponse.....	46
Figure 11 : Graphique représentant les moyennes marginales estimées de temps de réponse en fonction des différentes conditions et orientations.	50

INTRODUCTION

Une observation récurrente est à l'origine de ce travail : il s'agit des inversions de lettres-miroirs. Cela consiste à confondre des lettres qui ont la même forme, mais présentées dans des orientations différentes telles que le p et le q, le b et le d, le p et le d, le u et le n... (Rusiak, Lachmann, Jaskowski, & van Leeuwen, 2007). Il se trouve en effet que les difficultés à discriminer l'orientation de lettres-miroirs sont fréquemment relevées chez les personnes dyslexiques (Lachmann & Geyer, 2003), mais également chez les individus tout-venant en cours d'apprentissage de la lecture (Fernandes, Coelho, Lima, & Castro, 2017 ; Fernandes, Leite, & Kolinsky, 2016). Ces difficultés de discrimination de l'orientation conduisent à des confusions visuelles appelées erreurs miroirs. Ces erreurs d'orientation ont été rapportées dans plusieurs études de cas (McCloskey, 2004), lesquelles semblent indiquer que c'est la voie visuelle corticale magnocellulaire qui intervient dans la perception de l'orientation des objets. De plus, des études de neuroimagerie récentes (Rice, Valyear, Goodale, Milner, & Culham, 2007 ; Valyear, Culham, Sharif, Westwood, & Goodale, 2006) apportent des raisons supplémentaires de penser que c'est la voie dorsale qui intervient dans la perception des lettres-miroirs et la voie ventrale qui traite les rotations planes.

Notre volonté dans ce mémoire est donc de déterminer le rôle de la voie magnocellulaire dans la perception de l'orientation des lettres-miroirs chez des individus tout-venant. Le questionnement initial porte sur des observations faites chez les personnes dyslexiques et nous pensons qu'un déficit de la voie magnocellulaire pourrait expliquer les difficultés rencontrées par certains dyslexiques. Néanmoins, au préalable, il est important de comprendre le fonctionnement de la perception de l'orientation chez des individus tout-venant.

Pour ce faire, nous avons créé un design expérimental utilisant une stratégie consistant à modifier certains paramètres visuels afin de biaiser les stimuli (de fausses lettres) présentés de sorte qu'ils activent préférentiellement la voie magnocellulaire ou la voie parvocellulaire (Im et al., 2017 ; Kveraga, Boshyan, & Bar, 2007). Cela nous permet ainsi de scinder notre question de recherche en 2 objectifs : Le premier est de comparer les temps de réponse des images-miroirs à celui des rotations planes dans une condition de présentation contrôle, faisant intervenir les deux voies visuelles corticales. Le second objectif consiste quant à lui à présenter les stimuli dans certaines conditions de

présentation de façon à ce que leur traitement fasse intervenir préférentiellement l'une ou l'autre voie visuelle corticale. En effet, nous nous attendons à des différences en termes de temps de réponse pour les orientations en fonction de la condition de présentation. Ce sont les résultats de cette expérimentation proposée à 34 personnes qui sont présentés dans la suite de ce travail.

Le travail qui va suivre est articulé en 4 parties. La première partie introduit la littérature nous ayant poussés à formuler cette question de recherche. Nous abordons ainsi dans un premier temps les connaissances sur les erreurs miroirs puis, dans un second temps, les preuves en faveur d'une implication de la voie magnocellulaire dans la perception de l'orientation. La deuxième partie expose la méthodologie adoptée ainsi que les résultats de l'étude tandis que la partie suivante consiste en une discussion des résultats obtenus et sera suivie par la conclusion qui clôturera ce mémoire.

PARTIE THEORIQUE

1. ORIENTATION ET IMAGES-MIROIRS

Les images-miroirs sont des images identiques qui sont des réflexions l'une de l'autre à travers un axe de symétrie. Elles ne sont donc pas superposables. Certaines personnes peuvent avoir des difficultés de discrimination de ces images-miroirs ce qui conduit alors à ce que nous appelons les erreurs miroirs.

1.1. Observations d'erreurs miroirs dans différents contextes

Les erreurs miroirs sont observées dans plusieurs populations et peuvent également concerner les lettres-miroirs. Les lettres-miroirs sont des lettres qui ont la même forme, mais dont l'orientation spatiale est différente (b/d ; p/q ; d/p) (Fernandes & Kolinsky, 2013 ; Fernandes & Leite, 2017 ; Rusiak et al., 2007).

1.1.1. Les dyslexiques

Les auteurs ne s'accordent guère quant à l'étiologie de la dyslexie (Barrouillet et al., 2007 ; McLean, Stuart, Coltheart, & Castles, 2011 ; Ramus, 2005) mais ils décrivent en revanche fréquemment, chez certains dyslexiques, des inversions de lettres-miroirs (Fernandes & Leite, 2017 ; Lachmann & Geyer, 2003 ; Rusiak et al., 2007).

1.1.2. Les personnes en cours d'alphabétisation

Ahr, Houdé, & Borst (2016) constatent chez des enfants de 1^{ère}, 3^{ème} et 5^{ème} primaire que la discrimination des lettres-miroirs est plus lente et plus sujette aux erreurs que celle de lettres n'ayant pas d'équivalent miroir.

Ces erreurs miroirs sont fréquentes au cours de l'apprentissage de la lecture (Fernandes et al., 2016). En effet, ces auteurs montrent que les enfants en 1^{ère} primaire, qui entrent dans l'écrit, sont plus sensibles aux images-miroirs. De fait, dans une tâche de jugement sur la forme, ils ont des temps de réponse plus longs pour dire que 2 stimuli miroirs sont identiques par rapport à des enfants en maternelle alors que leurs performances ne diffèrent pas pour les images identiques ou les images ayant subi une rotation.

Dans cette même étude, ils montrent que dans une tâche de jugement de l'orientation, les primaires font peu d'erreurs pour les images-miroirs, qu'ils traitent bien comme ayant une orientation différente du stimulus standard, alors que les maternelles font bien plus d'erreurs pour ce type d'images (Fernandes et al., 2016). L'alphabétisation ou la scolarisation semblent donc jouer un rôle dans la perception des lettres-miroirs.

Fernandes et al. (2017) répliquent les résultats précédents et élargissent cette recherche en s'intéressant à des adultes illettrés, ex-illettrés et lettrés. Leur but est de montrer que c'est l'alphabétisation qui joue un rôle dans la réduction des erreurs miroirs et non pas la maturation ou la scolarisation. En effet, ils constatent que les adultes illettrés font plus d'erreurs miroirs que les adultes lettrés. Il semblerait donc bien que ce soit l'alphabétisation qui joue un rôle dans la perception des lettres-miroirs.

1.1.3. Les individus tout-venant

Les erreurs miroirs peuvent également se retrouver chez toute personne se trouvant dans des situations contraignantes. Ces situations contraignantes peuvent consister en une contrainte temporelle, des conditions de présentation particulières... Gregory & McCloskey (2010), constatent que les adultes tout-venant ont des difficultés à discriminer l'orientation de stimuli, surtout de stimuli miroirs l'un de l'autre. Ils montrent d'ailleurs qu'un des types d'images-miroirs est plus difficile à discriminer, quels que soient les changements opérés concernant les conditions de présentation (augmentation du nombre de stimuli cibles présentés à chaque essai ou augmentation de la durée de rétention entre la mémorisation et le test) (Gregory & McCloskey, 2010).

De plus, une étude récente a montré, chez des adultes tout-venant lettrés, un effet d'interférence des lettres-miroirs qui se marque par une reconnaissance plus difficile (plus lente ou moins précise) des mots contenant des lettres réversibles s'ils sont précédés par des lettres-miroirs en comparaison à des lettres contrôles (Soares, Lages, Oliveira, & Hernández, 2019).

Ces auteurs citent également une étude ayant observé des résultats similaires au niveau du mot chez des étudiants. Les temps de réaction sont plus longs dans une tâche de décision lexicale quand les lettres ayant une image miroir sont remplacées par la lettre-miroir correspondante au sein des mots en comparaison du remplacement par des lettres contrôles (par exemple un l à la place du b et du d) (Perea cité par Soares et al., 2019).

1.1.4. Les individus cérébro-lésés ou avec des anomalies cérébrales développementales

La perception de l'orientation des lettres ou des images-miroirs n'est pas une difficulté uniquement retrouvée au cours du développement normal. Elle peut également être problématique en cas de développement cérébral anormal ou bien altérée suite à des lésions dans le cadre de troubles acquis.

Patiente A.H. (McCloskey, 2004, 2009)

A.H. est une jeune femme présentant un déficit de perception de la localisation et de l'orientation des stimuli visuels (McCloskey, 2004, 2009 ; McCloskey, Valtonen, & Cohen Sherman, 2006), sans que ce trouble ne puisse être expliqué par des difficultés visuelles ou des atteintes neurologiques. Les auteurs ne peuvent en revanche pas exclure l'hypothèse d'un développement cérébral anormal. Ils observent en effet chez cette patiente des erreurs de réflexion droite-gauche et haut-bas à travers une ligne médiane respectivement verticale ou horizontale, tant de la figure en entier que de certains éléments de la figure. Ces observations ont été faites dans différentes tâches comme de la copie directe ou de désignation. A.H. touchait alors, dans 50% des cas, le côté de l'écran opposé pour montrer le lieu d'apparition d'un stimulus. Les erreurs pour les stimuli visuels sont observées quel que soit le mode de réponse (pointage, dessin ou description orale de la localisation). De forts taux d'erreurs d'orientation sont également rapportés dans des tâches de reconnaissance de lettres, que les lettres soient présentées isolément ou dans un mot (McCloskey & Rapp cités par McCloskey et al., 2006). Ces erreurs apparaissent notamment pour les lettres-miroirs, c'est-à-dire les lettres qui peuvent correspondre à une autre identité en cas de réflexion (p, b, q, p).

En revanche, les performances de A.H. sont normales dans les tâches de localisation et d'orientation de stimuli non-visuels (tâches de localisation auditive, kinesthésique, tactile), quel que soit le mode de réponse, ce qui indique que le trouble se situe probablement au niveau du système visuel (McCloskey, 2009).

Patiente B.C. (McCloskey, 2004, 2009)

B.C. est une jeune fille ayant d'importantes difficultés visuospatiales suite à une encéphalite herpétique lorsqu'elle avait 3 ans. Le déficit constaté ici est donc à la fois un déficit acquis, car il résulte d'une atteinte cérébrale, mais également développemental car

il a conduit à une réorganisation cérébrale, le développement cérébral n'étant pas terminé au moment de l'infection.

Dans une tâche de reproduction de l'orientation d'une ligne, une ligne est présentée sur la partie haute d'un écran et B.C. doit la reproduire sur la partie basse de l'écran en ajustant progressivement l'inclinaison d'une ligne présentée sur cet écran. Les auteurs constatent que B.C. fait de nombreuses erreurs et que celles-ci sont principalement des images-miroirs de la ligne présentée juste au-dessus. Une seconde tâche avec des stimuli asymétriques a permis de montrer qu'il s'agit d'erreurs miroirs de réflexion gauche-droite et non pas de réflexion haut-bas.

1.2. Pourquoi des erreurs miroirs ? Explications issues de la littérature

L'évolution de l'espèce humaine et plus particulièrement le développement récent de la lecture et de l'écriture ont conduit au recyclage d'une zone cérébrale, la Visual Word Form Area (VWFA), située dans le cortex occipito-temporal de l'hémisphère dominant (Cohen et al. cités par Fernandes & Leite, 2017). Ceci constitue la base de l'hypothèse de recyclage neuronal de Dehaene (2005). D'après cette hypothèse, l'apprentissage de la lecture conduit au recyclage d'un réseau neuronal initialement dédié à la reconnaissance des objets afin qu'il participe également à la reconnaissance visuelle des mots car ces deux tâches sont proches (Ahr, Houdé, & Borst, 2017). Cependant, l'utilisation d'une zone précédemment dédiée à la reconnaissance des objets pose problème. En effet, pour la reconnaissance d'un objet, l'orientation de cet objet n'est pas un critère indispensable, et au contraire, la généralisation des images-miroirs, c'est-à-dire le fait d'identifier 2 stimuli présentés sous des orientations différentes comme un même objet est un avantage pour la reconnaissance des objets car elle est ainsi facilitée et accélérée (Lachmann cité par Ahr et al., 2017 ; Duñabeitia, Molinaro, & Carreiras, 2011). En revanche, cette généralisation des images-miroirs est désavantageuse quand l'objet à reconnaître est une lettre ou un mot étant donné qu'un changement d'orientation dans la représentation prototypique de la lettre peut conduire à l'identification d'une autre lettre que la lettre cible dans certains alphabets comme le latin (par exemple b/d, p/q, u/n).

De fait, cette zone cérébrale est insensible à l'orientation spatiale (Ahr et al., 2017 ; Caramazza & Hillis cités par Duñabeitia et al., 2011 ; Soares et al., 2019) et l'hypothèse de recyclage neuronal (Dehaene, 2005) propose donc que l'invariance-miroir (aussi appelée généralisation des images-miroirs par Bornstein, 1981) puisse être inhibée ou

« désapprise » lors de l'apprentissage de la lecture pour la rendre plus efficace. Quand ce processus est difficilement réprimé, cela conduit à un ralentissement du traitement et à une diminution de la précision des réponses en cas d'images-miroirs (Duñabeitia et al., 2011 ; Soares et al., 2019). Il est vrai que, chez les lecteurs débutants, des confusions entre lettres-miroirs sont fréquentes, mais ces confusions visuelles tendent à disparaître au cours de l'apprentissage de la lecture et du développement de l'alphabétisation (Fernandes et al., 2017). Cependant, chez les enfants dyslexiques, ces confusions visuelles restent observables et trahissent une difficulté d'inhibition de la généralisation-miroir (Fernandes & Leite, 2017 ; Rusiak et al., 2007). De plus, selon l'hypothèse de recyclage neuronal (Dehaene, 2005), la zone recyclée étant dédiée initialement à la reconnaissance des objets, la levée de l'invariance-miroir va se généraliser à d'autres types de stimuli visuels. C'est effectivement ce qui est montré par certains auteurs (Kolinsky et al., 2011) avec des figures géométriques et par d'autres encore (Pegado et al., 2014) avec des images de visages, de maisons ou d'objets.

L'hypothèse d'un déficit de coordination fonctionnelle (Lachmann & van Leeuwen, 2007), est relativement similaire à celle de recyclage neuronal, si ce n'est que, dans l'hypothèse d'un déficit de coordination fonctionnelle, la discrimination-miroir est spécifique aux stimuli linguistiques et ne s'applique pas aux stimuli non-linguistiques. En effet, selon ces auteurs, les normolecteurs traitent les graphèmes comme des symboles distincts des autres objets et doivent donc inhiber activement les lettres-miroirs afin de pouvoir lier adéquatement un phonème à un graphème lors de l'apprentissage de l'écrit (Lachmann & van Leeuwen, 2007).

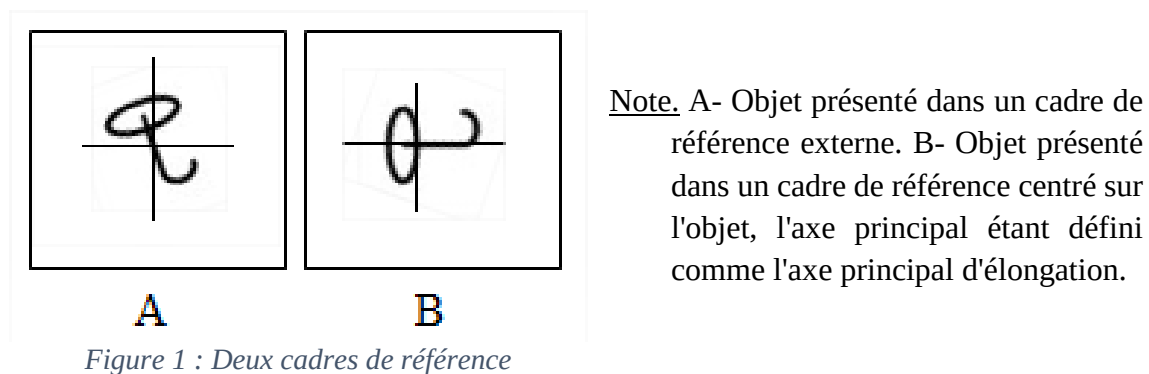
Cette inhibition de la généralisation-miroir est complexe et demande d'importantes ressources cognitives, même pour les bons lecteurs. Effectivement, dans l'expérience de Ahr (2017) utilisant un paradigme d'amorçage négatif, les étudiants volontaires ont besoin de plus de temps pour dire que deux objets sont des images-miroirs l'une de l'autre après la présentation de lettres réversibles qu'après la présentation de lettres contrôles non-réversibles. Cela témoignerait donc d'une inhibition active du processus de généralisation-miroir dans le cas des lettres réversibles, qui aurait dès lors besoin de plus de temps par la suite pour être réactivé et décider si les deux images d'objets sont des images-miroirs. À l'inverse, dans le cas de la présentation de lettres contrôles, le processus de généralisation-miroir n'a pas besoin d'être inhibé et ils peuvent donc déterminer plus rapidement si les deux images de l'objet sont des images-miroirs (Ahr et al., 2017).

1.3. Représentation de l'orientation et nature des erreurs selon l'hypothèse COR

Suite à l'observation des erreurs de localisation visuelle de la patiente A.H., McCloskey (2006) a proposé une hypothèse de représentation de l'orientation selon un système coordonné (COR) qui permettrait d'interpréter les erreurs d'orientation. McCloskey suppose qu'au sein du système visuel, à différents niveaux de représentation spatiale, la localisation des objets serait représentée dans un plan orthogonal présentant également une origine servant de point de référence. Ainsi, la localisation d'un objet serait déterminée par sa distance vis-à-vis du point d'origine et par la direction du déplacement selon les axes de référence (horizontal et vertical) (Gregory, Landau, & McCloskey, 2011 ; Gregory & McCloskey, 2010).

Cette hypothèse de représentation selon un système coordonné peut également s'étendre à la représentation plus complexe de l'orientation, non plus au sein d'un seul cadre de référence, mais plutôt par une combinaison d'informations issues d'un cadre de référence externe (A) et d'un cadre de référence centré sur l'objet (B).

Le premier cadre de référence présente 2 axes de référence, vertical et horizontal tandis que le second cadre de référence est composé d'un axe dit axe principal d'élongation de l'objet (Chaisilprungraung, German, & McCloskey, 2019) et d'un axe secondaire, perpendiculaire à l'axe principal (Gregory et al., 2011 ; Gregory & McCloskey, 2010).



Dans le cadre de référence centré sur l'objet, l'orientation est définie selon l'inclinaison d'un élément par rapport à l'axe principal d'élongation de l'objet et la localisation (intégration des données liées à la distance vis-à-vis du point de référence et de la direction). Cette représentation centrée sur l'objet permet donc de décrire comment les différents éléments de l'objet en question sont organisés mais seulement au niveau de

l'objet et pas à un niveau plus général qui ferait intervenir un cadre de référence externe. Il est néanmoins possible d'intégrer ces deux représentations et de représenter l'orientation d'un objet, initialement présentée dans un cadre de référence centré sur l'objet, dans un cadre de référence extrinsèque. Pour cela, 3 éléments sont à prendre en compte (Gregory et al., 2011 ; Gregory & McCloskey, 2010) :

- ***La correspondance entre les axes centrés sur l'objet et les axes externes :***
PVSH pour la correspondance axe principal de l'objet-axe vertical extrinsèque et axe secondaire-axe horizontal ou PHSV pour la correspondance axe principal-axe horizontal et axe secondaire-axe vertical.
- ***L'inclinaison des axes de l'objet par rapport aux axes externes.***
- ***La correspondance entre la polarité des axes de l'objet et des axes externes.***

L'hypothèse COR suppose que les erreurs d'orientation sont la conséquence de défauts d'encodage, de rétention ou de traitement des composants intervenant dans les représentations mentales de l'orientation (Gregory & McCloskey, 2010).

Les suppositions avancées dans l'hypothèse COR permettent ensuite de prédire les potentielles erreurs d'orientation observables (Cf. Annexe II pour un récapitulatif). (Gregory et al., 2011 ; McCloskey et al., 2006).

Dans un premier temps, les erreurs liées à la mise en correspondance des deux cadres de références sont des erreurs de rotation plane et peuvent être de deux types. Il y a les erreurs de direction de l'inclinaison par rapport à l'axe extrinsèque (B) et les erreurs d'amplitude de l'inclinaison (C) vis-à-vis du stimulus standard (A).

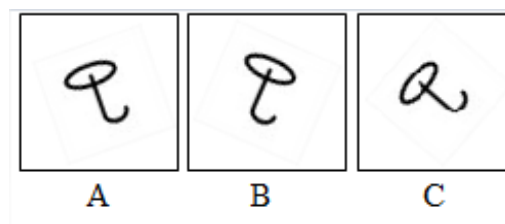


Figure 2 : Erreurs liées à l'inclinaison

Dans un second temps, les erreurs liées à la correspondance des polarités sont des erreurs dans lesquelles le stimulus standard (A) est réfléchi à travers un axe de l'objet (deux premiers types d'erreurs) ou un axe externe orthogonal (deux derniers types d'erreurs). Ces erreurs de réflexion miroir peuvent donc être de 4 types selon les 4 axes définis précédemment. Ainsi, le même terme d'erreurs miroirs regroupe en fait 4 types de

réflexions distinctes dont la nature est différente (Gregory et al., 2011 ; McCloskey et al., 2006).

- Les réflexions selon les axes de l'objet :
 - **OPA** : les réflexions à travers l'axe principal de l'objet (B).
 - **OSA** : les réflexions à travers l'axe secondaire de l'objet (C).
- Les réflexions selon les axes extrinsèques :
 - **EVA** : les réflexions à travers un axe externe vertical (D).
 - **EHA** : les réflexions à travers un axe externe horizontal (E).

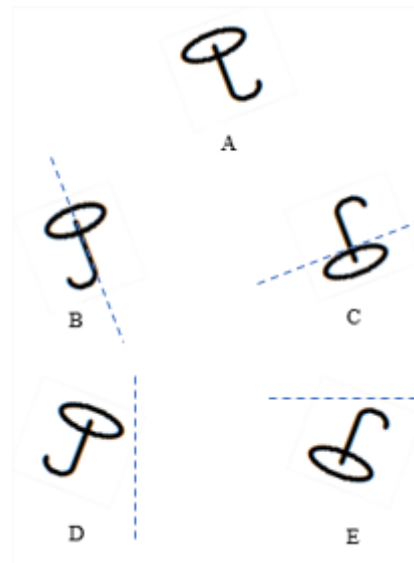


Figure 3 : Quatre types d'images-miroirs

Ces quatre types d'erreurs miroirs ont également été distingués (Gregory et al., 2011 ; Gregory & McCloskey, 2010) grâce à une présentation oblique des stimuli ainsi que par l'utilisation de stimuli asymétriques, afin d'étudier si les erreurs miroirs sont les mêmes chez les enfants et chez les adultes et de comparer leurs fréquences respectives.

En effet, auparavant, les auteurs présentaient des stimuli verticaux ne permettant donc pas de distinguer les erreurs EVA des erreurs OPA et les erreurs EHA des erreurs OSA (Turnbull & McCarthy, cités par Gregory & McCloskey, 2010 ; Nickerson & Adams, cités par Gregory & McCloskey, 2010). L'hypothèse COR fournit ainsi un modèle uniformisé quant à la description, la distinction et l'interprétation des erreurs d'orientation.

1.4. Fréquence des erreurs miroirs

Les confusions d'images-miroirs sont habituellement vues comme des réflexions selon un axe vertical externe (EVA). Cependant, des recherches récentes (Gregory & McCloskey, 2010) tirent des conclusions différentes. En effet, dans une tâche d'appariement d'orientation en choix forcé, les erreurs miroirs des adultes sont majoritairement des réflexions à travers l'axe principal de l'objet (OPA) et non pas des erreurs miroirs à travers un axe extrinsèque (EVA) comme il serait possible de le penser.

En revanche, l'étude s'intéressant aux erreurs miroirs observées chez les enfants a montré que les erreurs d'orientation pour les stimuli obliques sont principalement des réflexions selon l'axe principal de l'objet (OPA), comme pour les adultes, mais également des réflexions sur l'axe vertical externe (EVA) (Gregory et al., 2011). De fait, l'axe principal d'élongation de l'objet est plus saillant que l'axe secondaire et les individus portent donc moins d'attention à l'axe secondaire qu'à l'axe principal. Ceci conduit à une moins bonne représentation de l'orientation sur cet axe secondaire et donc à des erreurs de réflexion OPA car c'est l'orientation de l'axe principal qui a bien été retenue (Gregory et al., 2011 ; Gregory & McCloskey, 2010). Un raisonnement similaire explique les erreurs EVA étant donné que les représentations gauche-droite des enfants (selon l'axe vertical extrinsèque) sont plus floues et moins saillantes que leurs représentations haut-bas (selon l'axe horizontal extrinsèque) (Gregory et al., 2011 ; Gregory & McCloskey, 2010). Les conclusions quant aux erreurs d'orientation pour les stimuli en présentation cardinale sont, comme attendu, moins évidentes puisqu'en fonction de l'orientation verticale ou horizontale du stimulus, les erreurs OPA/EVA et OSA/EHA ou OPA/EHA et OSA/EPA respectivement, se mélangent et ne peuvent être distinguées (Gregory et al., 2011 ; Gregory & McCloskey, 2010). Les auteurs ne constatent que très peu d'erreurs de rotations planes, quelle que soit l'ampleur de la rotation (+90°, -90°, 180°).

Ces deux études de Gregory (2010, 2011) semblent indiquer une évolution de la discrimination des erreurs miroirs au cours du développement de l'individu. C'est la raison pour laquelle des auteurs ont récemment étudié l'impact de l'alphabétisation et de la maniabilité des objets sur le développement de la discrimination des lettres-miroirs (Fernandes et al., 2017). Les auteurs ont répliqué les résultats de Gregory et al. (2011) sur deux groupes d'enfants dans un premier temps : un groupe en fin de maternelle et un groupe en première primaire. Pour les deux groupes, les auteurs constatent une prépondérance des erreurs OPA et également des erreurs EVA mais dans une moindre mesure, bien que plus fréquentes chez les enfants en maternelle. Ils concluent que la connaissance des lettres est significativement associée à une réduction des erreurs, uniquement pour les EVA. C'est-à-dire que plus les enfants connaissaient de lettres, moins ils faisaient d'erreurs miroirs EVA. Toujours dans le but de répliquer les résultats et de les expliquer, Fernandes et al. (2017) ont proposé une expérience similaire à des adultes illettrés, ex-illettrés et lettrés. Ils constatent de nouveau que pour tous les groupes, les erreurs OPA sont les plus fréquentes. En revanche, les groupes diffèrent en ce qui concerne les erreurs EVA. De fait, les participants illettrés font autant d'erreurs EVA que

d'erreurs OPA tandis que les participants lettrés font plus d'erreurs OPA qu'EVA. De plus, comme pour la première expérience sur les enfants, la connaissance des lettres des adultes illettrés est significativement associée à une réduction des erreurs miroirs EVA, mais pas des erreurs OPA. L'observation d'erreurs EVA chez les enfants, plus fréquentes chez les maternelles, mais également chez les adultes illettrés permet aux chercheurs de conclure que ces erreurs EVA ne sont pas expliquées par la maturation, le développement linguistique ou cognitif, mais bien par l'apprentissage d'un alphabet contenant des lettres-miroirs (Fernandes et al., 2017).

Pour mieux comprendre les mécanismes intervenant dans le traitement de l'orientation, intéressons-nous maintenant au système visuel.

2. LA VOIE MAGNOCELLULAIRE

2.1. Rappels sur le système visuel

L'information visuelle est constituée de signaux lumineux réfléchis par les objets de l'environnement, qui viennent ensuite frapper la rétine. La rétine est elle-même composée de deux types de photorécepteurs, c'est-à-dire de cellules sensibles à la lumière :

- *Les cônes* : ils sont responsables de l'acuité visuelle et de la vision des couleurs pendant la journée et sont rassemblés avec une concentration maximale dans la région maculaire (10° centraux) et fovéolaire.
- *Les bâtonnets* : ce sont les photorécepteurs les plus nombreux, sauf au niveau de la fovéa. Etant très sensibles, ils sont responsables de la vision nocturne et tapissent la rétine périphérique.

Les photorécepteurs convertissent ensuite l'énergie lumineuse en un signal électrique qui se propage dans le cerveau jusqu'au cortex visuel grâce à plusieurs intermédiaires (Silverthorn, 2007). Les cellules ganglionnaires sont un de ces intermédiaires et il en existe 2 types :

- Les cellules M pour magnocellulaires. Ce sont de grandes cellules ganglionnaires, sensibles aux informations relatives au mouvement.

- Les cellules P pour parvocellulaires. Ce sont de petites cellules ganglionnaires sensibles aux informations sur la forme de l'objet et les détails fins.

Les axones des cellules ganglionnaires sont regroupés pour former le nerf optique, qui aboutit au niveau du thalamus dans le corps genouillé latéral et fait remonter les informations au cortex visuel primaire (aussi appelé cortex strié) par les radiations optiques (Silverthorn, 2007).

2.2. Deux voies visuelles principales au-delà du cortex visuel primaire

Suite à l'article de Schneider (cité par Goodale & Milner, 1992) proposant une séparation anatomique au sein du cerveau entre les informations liées à la localisation d'un stimulus « where » et celles permettant son identification « what », de nombreux auteurs (Goodale & Milner, 1992 ; McCloskey, 2004 ; Mishkin, Ungerleider, & Macko, 1983) ont rapporté des études de cas et conviennent que les informations sont véhiculées, au-delà du cortex visuel, par deux voies visuelles distinctes parallèles.

D'une part la voie dorsale, qui est un ensemble de projections allant du cortex visuel primaire jusqu'au cortex pariétal supérieur (aire V5). Cette voie véhicule des informations nécessaires aux traitements spatiaux (voie du « where »). En effet, elle traite les fréquences temporelles élevées et joue donc un rôle dans la perception des changements visuels rapides facilitant ainsi la prise en main de l'objet et les mouvements oculaires (Milner & Goodale, 2008). Cette voie est rapide, sensible à des stimuli de faible fréquence spatiale, avec peu de contraste de luminance (Kveraga, Ghuman, & Bar, 2007 ; Mahon, Kumar, & Almeida, 2013 ; Skottun, 2000). Elle ne répond presque pas à des stimuli de fréquence spatiale élevée (Skottun, 2015).

D'autre part la voie ventrale, qui va du cortex visuel primaire au cortex temporal inférieur (ou occipito-temporal, aire V4). Ce sont des informations telles que la forme, la couleur ou encore le contraste, qui interviennent dans la détection des détails fins (fréquences spatiales élevées) d'une image et dans l'identification des objets (voie du « what »). Cette voie est lente, sensible aux forts contrastes de luminance et aux stimuli statiques (Kveraga, Boshyan, & Bar, 2007 ; Mahon et al., 2013 ; McLean et al., 2011).

Certains auteurs considèrent les voies dorsale et ventrale comme la continuité des systèmes magno- et parvocellulaires respectivement et il est donc possible de lire des termes comme « voie dorsale magnocellulaire » et « voie ventrale parvocellulaire » (Gori

et al., cités par Skottun, 2015 ; Merigan & Maunsell cités par Mahon et al., 2013). Ce n'est cependant pas tout à fait correct, car il n'y a pas de franche continuité ni de nette séparation entre les informations sous-corticales issues du système magnocellulaire vers la voie dorsale et celles du système parvocellulaire vers la voie ventrale. En effet, la voie dorsale reçoit également des informations du système sous-cortical parvocellulaire (Skottun, 2015 ; Skottun & Skoyles, 2011 ; Stein, 2019) et la voie ventrale reçoit des contributions tant magnocellulaires que parvocellulaires (Ferrera, Nealey, & Maunsell, 1992 ; Skottun & Skoyles, 2011 ; Stein, 2019). Pour la suite de ce travail, nous ne ferons pas la distinction entre les termes relatifs aux systèmes sous-corticaux (magnocellulaire et parvocellulaire) et ceux relatifs aux voies corticales (dorsale et ventrale) respectivement. Il sera donc possible de lire « magnocellulaire » pour désigner la voie dorsale et « parvocellulaire » pour la voie ventrale, bien que nous soyons conscients de ce raccourci abusif.

Chacune de ces deux voies corticales présente donc des caractéristiques qui lui sont propres et une caractéristique supplémentaire distinguant ces 2 voies corticales dorsale et ventrale concerne le type de cadre de référence. En effet, selon Milner & Goodale (2008), la voie ventrale utilise des représentations allocentriques, centrées sur l'objet afin de faciliter la reconnaissance de l'objet, quel que soit le point de vue de l'observateur, à n'importe quel moment, et cela tout en conservant des informations sur la taille relative de l'objet et son orientation par rapport à d'autres objets de l'environnement. A l'inverse, la voie dorsale utilise des représentations égocentriques, propres à l'observateur et lui permettant ainsi d'interagir avec les objets. De fait, pour attraper un objet, il est nécessaire d'obtenir des informations sur sa taille, son orientation et sa position par rapport à la position de la main de l'observateur.

2.3. Voie magnocellulaire et perception de l'orientation

Deux observations issues de la littérature nous font penser que la voie magnocellulaire-dorsale joue un rôle dans la perception de l'orientation. D'une part, des études comportementales de cas uniques et de groupes ont montré qu'une atteinte de la voie dorsale altère la perception de l'orientation des images-miroirs. D'autre part, des études de neuroimagerie ont mis en évidence des régions cérébrales qui discriminent les images-miroirs dans la voie dorsale.

2.3.1. Etude de cas - A.H. (McCloskey, 2004, 2009) :

Revenons maintenant sur les résultats de la patiente A.H.. Elle fait de nombreuses erreurs de réflexion gauche – droite et haut-bas sur des éléments de l'image dans des tâches de copie directe de stimuli visuels, dans des tests de jugement de l'orientation de lignes ainsi que dans une épreuve de jugement de l'orientation de l'extrémité d'une flèche. A.H. fait également des erreurs de localisation et d'orientation dans les tâches de lecture à haute voix de lettres et de listes de mots (McCloskey, 2004, 2009). Des épreuves supplémentaires ont permis de montrer que les performances de A.H. sont très fortement impactées par 5 variables visuelles. En effet, A.H. ne fait presque pas d'erreurs pour la localisation de stimuli en mouvement, auxquels est sensible la voie dorsale, alors que ses performances sont déficitaires pour les stimuli stationnaires qui eux sont traités par la voie ventrale. Elle fait également moins d'erreurs pour les stimuli de très courte apparition que pour les stimuli de présentation plus longue. De plus, contrairement à ce qui pourrait être attendu, l'exactitude de ses réponses liées à l'orientation est meilleure pour les stimuli vacillants, de même que pour les stimuli avec un faible contraste en comparaison des stimuli stables ou de contraste élevé. Une dernière variable est l'excentricité et il se trouve que A.H. localise mieux les stimuli qui sont éloignés du point de fixation que ceux qui en sont près. Les cinq paramètres permettant à A.H. d'améliorer ses performances sont donc des éléments auxquels la voie dorsale est sensible.

Ceci a conduit McCloskey (2004) à revenir sur l'hypothèse d'Ungerleider & Mishkin (1982) selon laquelle deux voies corticales émergent du cortex visuel. Selon l'hypothèse initiale, ces 2 voies seraient la voie dorsale (« where ») spécialisée dans le traitement spatial et la voie ventrale (« what ») intervenant dans l'identification des objets (Ungerleider & Mishkin, cités par McCloskey, 2004). Suite à l'observation de A.H., McCloskey formule l'hypothèse que la voie dorsale serait divisée en deux sous-systèmes :

- « transient where » : sensible aux stimuli excentrés du point de fixation, mobiles, clignotants, d'apparition rapide et de faible contraste.
- « sustained where » : sensible aux stimuli de présentation centrale, immobiles, stables, se manifestant longtemps et de contraste élevé.

Ces deux sous-systèmes recevraient respectivement des informations des neurones magno- et parvocellulaires les renseignant sur la localisation et l'orientation (McCloskey, 2004).

Les erreurs de localisation de A.H. pourraient ainsi être expliquées par une altération du sous-système « sustained-where », soit une atteinte d'une partie seulement de la voie dorsale.

2.3.2. Etude d'un groupe de patients cérébro-lésés avec atteinte de la voie dorsale (Martinaud et al., 2016)

Dans cette étude, Martinaud et al. (2016) ont recruté 34 patients présentant une lésion du cortex pariétal, en distinguant les atteintes droites et gauches. Les auteurs présentent une tâche de désignation dans laquelle les participants doivent indiquer quelle image parmi cinq n'a pas la même orientation que les autres. Le changement d'orientation peut consister en une image-miroir (selon un axe vertical ou horizontal) ou une rotation plane (90° ou 180°). Les résultats montrent que pour les deux groupes, les performances sont moins bonnes pour les images-miroirs latérales en comparaison des autres conditions et que les patients avec une atteinte gauche performant mieux que les patients avec une atteinte droite, toutes conditions d'orientation confondues.

Par la suite, les auteurs ont également étudié les lésions de ces patients, qu'ils ont mis en lien avec les difficultés de perception de l'orientation observées avec une technique de VLSM (Voxel-based Lesion-Symptom Mapping). Ils constatent ainsi que des atteintes de la partie inférieure du lobe pariétal droit (voie dorsale) sont associées à des difficultés de perception des stimuli miroirs tandis que des atteintes de la partie latérale du gyrus temporal supérieur et postérieur (voie ventrale) sont associées aux difficultés à percevoir l'orientation de stimuli ayant subi une rotation. Ils concluent donc que la voie dorsale intervient dans la perception des images-miroirs alors que les rotations planes sont traitées par la voie ventrale.

2.3.3. Etudes de neuroimagerie

Une première étude en IRMf (Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle) réalisée par Valyear et al. (2006) chez des individus neurologiquement sains a permis de distinguer deux zones cérébrales : une aire temporo-occipitale située sur la voie ventrale dédiée à l'identification des objets et une aire à la jonction occipito-pariétale, située sur la voie dorsale droite, sensible à l'orientation des objets saisissables. En effet, ils ont montré grâce à un paradigme d'adaptation que chacune de ces deux voies était spécifiquement sensible à un des 2 éléments (identité pour l'aire temporo-occipitale et

orientation pour la jonction occipito-pariétale) et pas au second. Cette sensibilité à l'identité ou à l'orientation (stimuli présentés à $\pm 45^\circ$, ce qui correspond à la fois à une rotation plane et à une EVA) était mise en évidence par la différence d'activation cérébrale (activation BOLD) entre la condition sans changement et la condition dans laquelle un changement (d'identité ou d'orientation respectivement) avait lieu. Il était alors possible d'observer une activation plus importante de la zone cérébrale impliquée dans le traitement du paramètre en question (Valyear et al., 2006).

Une seconde étude en IRMf a cherché à aller plus loin que l'étude précédente et a souhaité vérifier si la voie dorsale était sensible à l'orientation seulement pour les stimuli manipulables ou si elle était également sensible à l'orientation de stimuli non-manipulables (Rice et al., 2007). Les auteurs ont alors présenté, selon le même paradigme que précédemment, des stimuli cibles saisissables et non-saisissables suivis par des stimuli tests dans la même orientation que le stimulus cible ou une image-miroir selon un axe vertical. Les résultats de cette étude confirment ceux de l'étude précédente, à savoir que la jonction occipito-pariétale droite est sensible aux changements d'orientation. Les auteurs précisent que cette sensibilité ne s'observe que pour les objets manipulables. Ils n'observent en revanche pas d'activation cérébrale particulière à l'IRMf lorsque l'orientation de stimuli non-manipulables est modifiée.

Ces deux études de neuroimagerie apportent donc une preuve supplémentaire en faveur de l'implication de la voie magnocellulaire dans le traitement de l'orientation des images d'objets.

3. HYPOTHESES

Nous avons vu, avec la revue de la littérature ci-dessus, qu'il y a effectivement un lien entre la voie magnocellulaire et la perception de l'orientation des images-miroirs. Dans ce mémoire, nous allons donc nous intéresser plus précisément au rôle de cette voie magnocellulaire dans la perception de l'orientation de stimuli particuliers : les lettres-miroirs.

Pour étudier cette question du **rôle de la voie magnocellulaire dans la perception de l'orientation de lettres-miroirs**, nous avons créé un design expérimental qui nous permet de traiter cette question en deux étapes, donnant lieu à plusieurs hypothèses :

- 1- Nous avons vu précédemment avec les études de Gregory (2010, 2011) que les adultes tout-venant sont en difficulté pour discriminer l'orientation de stimuli miroirs l'un de l'autre. Plus particulièrement, les erreurs les plus fréquentes chez les adultes sont les OPA tandis que chez les enfants les erreurs sont des OPA et des EVA. Les auteurs ne constatent en revanche pas beaucoup d'erreurs de rotations planes dans les tâches de perception de l'orientation, quels que soient la population étudiée ou l'angle de la rotation. Nous voudrions dès lors, pour commencer, vérifier avec notre design expérimental que la discrimination de l'orientation est effectivement plus complexe pour les OPA que pour les autres orientations chez les individus tout-venant.

œ Nous nous attendons donc à ce que les adultes tout-venant soient plus lents pour discriminer des lettres OPA que des EVA ou des rotations planes dans la condition non biaisée.

Cela peut se traduire de la manière suivante :

$$TR_{OPA} > TR_{EVA}, \quad TR_{OPA} > TR_{40^\circ}, \quad TR_{EVA} = TR_{40^\circ}$$

Nous nous intéressons ici à l'effet de l'orientation dans une condition standard de présentation des stimuli, faisant intervenir à la fois la voie magnocellulaire et la voie parvocellulaire. Cela constitue une sorte de condition contrôle nous fournissant des temps de réponse lorsque les stimuli ne sont pas biaisés avant d'investiguer plus particulièrement le rôle de la voie magnocellulaire.

- 2- La seconde étape pour traiter notre question de recherche consiste à confronter les participants à la même tâche que celle décrite précédemment pour la condition non biaisée mais cette fois-ci dans une condition magno ainsi que dans une condition parvo. Il semblerait en effet que la voie magnocellulaire soit particulièrement importante pour discriminer les images-miroirs tandis que la discrimination des rotations planes serait assurée par la voie parvocellulaire (Martinaud et al., 2016 ; Valyear et al., 2006). Afin d'activer spécifiquement l'une ou l'autre voie visuelle corticale, nous employons une stratégie dont le but est d'exploiter les caractéristiques visuelles auxquelles sont sensibles chacune des

deux voies comme l'ont déjà fait d'autres chercheurs (Im et al., 2017 ; Kveraga et al., 2007 ; Mahon et al., 2013 ; Thomas, Kveraga, Huberle, Karnath, & Bar, 2012).

Par comparaison aux résultats de la condition non biaisée, nous nous attendons donc :

∝ A- D'une part, à une réduction des temps de réponse pour les stimuli miroirs mais pas pour les rotations planes dans la **condition magno** :

$$\searrow TR_{\text{miroirs}}$$

∝ B- D'autre part, le pattern inverse dans la **condition parvo**, à savoir une réduction des temps de réponse pour les rotations planes mais pas pour les stimuli miroirs :

$$\searrow TR_{\text{rotations planes}}$$

Nous ne sommes en revanche pas en mesure de prédire si un type d'erreurs miroirs (EVA ou OPA) sera avantageé dans la condition magno par rapport à l'autre.

Nous nous attendons à observer des différences concernant les temps de réaction entre les 3 conditions proposées (non biaisée, **magno** et **parvo**) mais pas de différences en termes de taux de réponses correctes, car il s'agit d'une tâche simple, pour laquelle nous prédisons un effet plafond.

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 1 : RAPPEL DES OBJECTIFS DE L'ETUDE

Nous souhaitons, dans ce mémoire, étudier le rôle de la voie magnocellulaire dans la perception de l'orientation des lettres en miroir. Pour cela, nous avons formulé plusieurs hypothèses, dans lesquelles nous comparons les performances des individus en termes de temps de réponse pour les deux types d'erreurs d'orientation (images-miroirs et rotations planes) dans les trois conditions de présentation visuelle.

Ainsi, par comparaison avec les performances dans la condition de présentation non biaisée, nous nous attendons à ce que la voie magnocellulaire facilite le traitement de l'orientation des images-miroirs tandis que la voie parvocellulaire accélèrera le traitement des stimuli ayant subi une rotation plane.

Pour explorer ces hypothèses, nous avons réalisé une expérience comportementale présentée sur PsychoPy2 v1.90.1 (Peirce & MacAskill, 2018) et durant environ 1h30. Celle-ci est décrite dans la section suivante.

CHAPITRE 2 : METHODE

2.1. Participants

Dans cette étude comportementale, nous souhaitons comprendre quel est le rôle de la voie magnocellulaire dans la perception de l'orientation des lettres en miroir. Pour cela, nous nous intéressons, dans ce premier mémoire sur le sujet, à des participants tout-venant ne présentant pas de difficultés particulières en lecture.

2.1.1. Recrutement des participants :

Grâce à un calcul de puissance sur base des résultats obtenus par Kveraga et al. (2007), nous avons déterminé, avec l'aide du logiciel G*Power v3.1.9.4. (Faul, Erdfelder, Lang & Buchner, 2007), qu'il était nécessaire de tester un échantillon de 33 participants pour que nos résultats puissent être considérés comme significatifs avec une puissance de .90 et un risque α de 5%. .

Les participants recrutés dans cette étude sont majoritairement des étudiants de la faculté de psychologie et des sciences de l'éducation de l'UCLouvain ainsi que des connaissances des expérimentateurs. Nous avons recruté plus de 33 participants afin d'avoir suffisamment de sujets en cas de retrait de certains participants pour diverses

raisons. Les étudiants ont eu connaissance de l'expérience par une annonce postée sur la plateforme Moodle du cours de « Méthodologie de la recherche », donné par le Professeur Edwards mais n'ont reçu aucune précision concernant le but de l'étude avant de la réaliser. Dans le cadre de ce cours, les étudiants devaient en effet participer à un certain nombre d'expériences afin d'acquérir des crédits de cours. Les participants ont donc obtenu un crédit de cours pour leur participation, mais n'ont pas reçu d'autres formes de rémunération. Nous leur faisons signer le consentement éclairé (Cf. Annexe I) à leur arrivée au laboratoire, avant le début de l'expérience. Les expérimentations ont eu lieu au laboratoire numéro 18 de la faculté de Psychologie.

2.1.2. Sélection des participants :

Tous les étudiants qui le souhaitent ont pu participer à l'expérience car c'est une des conditions d'utilisation du pool-participants. Par la suite, nous avons éliminé les données de sujets qui ne respectaient pas nos critères d'inclusion et d'exclusion.

De fait, nous avons d'une part sélectionné les participants selon nos critères d'inclusion qui sont les suivants :

- Etre un adulte âgé de 18 à 50 ans
- Etre francophone
- Avoir terminé le secondaire pour assurer un niveau équivalent d'alphabétisation

Et d'autre part, nous avons vérifié divers éléments en début d'expérimentation pour nous assurer que les sujets ne présentaient pas un de nos critères d'exclusion :

1] Vérification de l'acuité visuelle

L'acuité visuelle est définie comme le « pouvoir de discrimination le plus fin au contraste [...] entre un test et son fond. » (Syndicat National des Ophtalmologistes de France [SNOF], n.d., para. 1). Elle est évaluée ici grâce à la tâche de Landolt C du Freiburg Visual Acuity Test v3.10.0 (FrACT, Bach, 1996) présentée sur ordinateur. Nous avons fixé une acuité visuelle limite de 1.0 et nous avons décidé de ne pas retenir les participants pour lesquels l'acuité visuelle serait inférieure à 1 car cette valeur représente l'acuité visuelle normale selon Donders (cité par SNOF, n.d., para. 2). Nous avons préféré cette échelle de Landolt à une tâche optométrique classique, car cette première ne fait pas intervenir la connaissance des lettres comme peuvent le faire les échelles de Monoyer ou de Snellen.

2] Vérification de la vision des couleurs

La vision des couleurs est testée grâce à l'épreuve informatisée de « Color Arrangement Test » intitulée « D-15 Disc Arrangement CVD Test »¹. Ceci pour nous assurer que toutes les couleurs sont bien perçues par les participants étant donné que nous faisons intervenir des couleurs ainsi que des contrastes de couleur dans la tâche principale.

3] Vérification des compétences en lecture

Les données récoltées dans ce mémoire serviront de données contrôles pour un futur mémoire s'intéressant à une population dyslexique. Il est donc indispensable de s'assurer que les participants testés ne présentent pas de difficultés de lecture ou d'identification des lettres. Nous avons pour cela utilisé le test de l'Alouette (Lefavrais, 1967, 2005) qui est un texte présenté en version papier, sans signification et ne faisant donc pas intervenir la compréhension. Selon Cavalli et al. (2018), le score d'efficacité de la lecture² est la mesure la plus adéquate pour dépister la dyslexie chez les adultes (402,26 étant la valeur seuil qu'ils ont déterminée pour le texte de l'Alouette), en comparaison avec la vitesse de lecture et le nombre de mots correctement lus. Nous avons donc comparé les scores d'efficacité de nos sujets à cette valeur seuil de 402,26 et avons considéré que des scores inférieurs ou égaux à 402,26 étaient le signe de difficultés de lecture. Les sujets concernés ne respectaient donc pas nos critères d'exclusion et ceci nous a conduits à écarter leurs données.

Étant donné que les sujets que nous avons testés sont des étudiants, nous étions certains qu'ils avaient tous achevé le secondaire, sans quoi ils ne seraient pas à l'université. Nous nous assurons également de leur âge grâce au formulaire de consentement éclairé, de même que du lieu de naissance. Nous approfondissons ces informations par des questions posées oralement si certains formulaires le nécessitaient.

Ainsi, 39 étudiants (8 hommes, 31 femmes) ont participé à cette expérience et ont été testés par un des trois expérimentateurs. Parmi ces 39 personnes, les données de 5 des participants ont dû être retirées. En effet, 2 des sujets ne respectaient pas un de nos critères d'exclusion (leurs performances au test de l'Alouette ne satisfaisaient pas la limite de 402,26), 2 autres sujets ont été exclus suite à la tâche de « flicker » car il était impossible

¹ Ce test est disponible via le lien suivant : <https://www.color-blindness.com/color-arrangement-test/>

² Le score d'efficacité de la lecture est égal au nombre de mots correctement lus x 180 / temps de lecture (en secondes) (Cavalli et al. 2018).

de trouver un point de stabilité pour l'un et une erreur dans le calcul du « flicker » a faussé les résultats de l'autre. Un dernier participant a été exclu a posteriori car il faisait beaucoup d'erreurs dans la condition d'orientation identique. Il appuyait sur la touche du clavier de façon intempestive dans cette condition alors qu'aucun appui n'était requis. Son taux de réponses correctes était en effet de 0.82 pour les essais identiques alors que les autres participants dépassaient les 0.95. Les résultats présentés dans ce mémoire portent donc sur les 34 participants (7 hommes, 27 femmes) dont nous avons traité les données. C'est plus que les 33 nécessaires car, pour des raisons pratiques, les expérimentations ont eu lieu sur une courte période et les inscriptions à l'expérience avaient lieu plusieurs jours à l'avance. Nous ne pouvions donc pas anticiper le nombre de participants que nous aurions à exclure de notre échantillon et, de plus, il n'aurait pas été correct d'annuler l'inscription d'un participant au dernier moment.

Pour les paramètres qui vont suivre, nous avons choisi de copier le design de Kveraga, Boshyan & Bar (2007). En effet, ces auteurs étudiant la reconnaissance des objets ont su montrer grâce à la neuroimagerie que les stimuli biaisés vers la voie magnocellulaire sont reconnus plus rapidement que les stimuli biaisés vers la voie parvocellulaire.

2.2. Stimuli

2.2.1. *Choix des stimuli*

Les stimuli sont des lettres artificielles du Brussels Artificial Character Sets (Vidal, Content, & Chetail, 2017) car bien que les lettres latines standards soient des objets simples et facilement manipulables, elles sont très familières et nous ne souhaitons pas que la (re-) connaissance de la lettre soit suffisante pour réaliser la tâche de jugement d'orientation. Nous nous intéressons en effet à la perception et les caractères que nous présentons ne doivent donc pas avoir de signification sous peine d'intervenir dans la tâche de jugement d'orientation et de fausser nos résultats. Une raison supplémentaire supportant ce choix de « fausses lettres » est que notre capacité à discriminer des images-miroirs n'est pas spécifique aux lettres latines et se généralise aussi à d'autres stimuli visuels suite à l'apprentissage de l'écrit comme le montrent Kolinsky et al. (2011) et Pegado et al. (2014). Nous souhaitons donc savoir si c'était également le cas pour des lettres artificielles. C'est pour cette raison que nous avons choisi d'utiliser 3 lettres

artificielles parmi les 26 du BACS étant donné qu'elles respectent la configuration des traits (nombre de traits et organisation des traits les uns par rapport aux autres, nombre d'intersections des traits, forme de la queue de fin) des lettres latines, qu'elles sont relativement semblables aux lettres latines et avec une certaine similarité au sein même des caractères de l'alphabet, comme c'est le cas dans l'alphabet latin. Nous considérons que ces caractères seront traités de la même manière que le seraient des lettres de l'alphabet latin. De plus, comme nous appliquons une méthodologie comparable à Kveraga et al. (2007), nous utilisons des stimuli se rapprochant de leurs dessins au trait d'objets issus de la vie quotidienne (line-drawings). De fait, ces auteurs ont choisi des dessins au trait d'objets plutôt que des photographies de ces mêmes objets car ainsi la figure au premier plan est homogène entre tous les stimuli et permet donc un contrôle plus précis de la luminance et des propriétés liées à la couleur.

2.2.2. Sélection des stimuli

Parmi les stimuli de la BACS, nous avons sélectionné 3 caractères qui nous semblaient intéressants. Il s'agit de stimuli asymétriques présentant un axe principal d'élongation vertical marqué afin qu'il soit l'axe perçu comme le plus saillant chez tous les sujets (Fernandes & Leite, 2017 ; Gregory et al., 2011 ; Valyear et al., 2006). Nous avons sélectionné des stimuli asymétriques et inclinés à 20° afin que les différents types d'erreurs (EVA, OPA et rotations planes) puissent être distingués (Gregory et al., 2011 ; Hatfield, McCloskey, & Park, 2016 ; McCloskey et al., 2006).

2.3. Prétests

L'expérience ainsi que les 2 prétests se déroulent face à un ordinateur. Il s'agit d'un VIEWPixx 120 Hz CRT Replacement, à une résolution de 1024 x 768, réglé sur un taux de rafraichissement de 100 Hz car cet ordinateur mis à disposition au laboratoire est très performant pour distinguer les nuances de couleurs et les contrastes. Pour les 2 épreuves de prétest et la tâche principale, les participants sont assis face à l'écran et reposent leur tête sur une mentonnière située à 40 cm de l'écran afin d'assurer une distance fixe entre le sujet et l'écran mais également pour stabiliser leur regard. Les trois tâches sont réalisées alors que les lumières sont éteintes afin de focaliser l'attention des participants sur l'écran et d'éviter toute distraction. Les deux prétests permettant de déterminer la valeur de luminance et le seuil d'opacité de chaque sujet, de même que la tâche principale, ont été

construits avec le programme PsychoPy2 v1.90.1. (Peirce & MacAskill, 2018) et sont réalisés sur celui-ci.

Comme Kveraga et al. (2007) ainsi qu'Im et al. (2017), nous avons réalisé les prétests de « contrast sensitivity threshold » et d'« heterochromatic flicker photometry » afin de déterminer des valeurs spécifiques à chaque participant dans les mêmes conditions environnementales de vision que celles qui sont utilisées dans la tâche principale. Nous faisons cela afin de placer chacun dans les conditions les plus adaptées possible pour réaliser l'expérience et éviter que d'autres éléments comme la sensibilité à la luminance ou au contraste n'influencent leurs performances.

2.3.1. Détermination du niveau de rouge – « Heterochromatic flicker photometry »

Le premier prétest, en lien avec les stimuli P, permet de déterminer le point d'isoluminance du rouge et du vert pour chaque individu, c'est-à-dire le point pour lequel la luminosité du stimulus -en rouge ici- est perçue comme équivalente à celle du stimulus vert. Il s'agit d'une procédure similaire à celle utilisée par Im et al. (2017) et Kveraga et al. (2007). Ce test consiste à alterner la présentation d'un stimulus en rouge et en vert à une fréquence de 25 Hz, soit 25 alternances par seconde, en changeant progressivement la luminosité de la couleur rouge. Cette fréquence d'alternance du flicker permet d'obtenir le point d'isoluminance le plus stable possible pour chaque participant. La luminosité de la couleur rouge est modifiée jusqu'à ce que la différence de luminance entre les stimuli rouges et les stimuli verts ne soit plus distinguée comme une sorte de clignotement mais que les deux couleurs du stimulus fusionnent et forment une couleur brune constante, sans que les clignotements ne soient détectables (Im et al., 2017). C'est pour cette raison que la consigne, donnée oralement et par écrit, similaire à celle de Kveraga et al. (2007) et Im et al. (2017), est d'appuyer quand le stimulus est perçu comme stable et non plus clignotant. Nous considérons alors qu'il s'agit du seuil d'isoluminance du vert et du rouge pour le sujet, soit le seuil auquel seule la voie parvocellulaire est active. En effet, la voie magnocellulaire est sensible au contraste de luminance, ce qui n'est pas le cas de la voie parvocellulaire.

Le stimulus ϖ , d'une taille de 10° d'angle visuel, est présenté pendant 1,5 seconde au centre de l'écran. Ce stimulus est présenté alternativement en vert (à une valeur fixe de [0, 140, 0] rgb255 comme dans la tâche de Im et al. (2017)) et en rouge sur un fond

gris. La valeur du rouge change aléatoirement à chaque essai de façon à trouver le seuil d'isoluminance. La présentation de la couleur rouge commence à une valeur de [140,0,0] rgb255 et les rouges sont présentés tous les pas de 2 jusqu'à atteindre un rouge de [210,0,0] rgb255. Il y a donc 36 nuances de rouge, chacune étant présentée deux fois, soit 72 essais. Il est demandé aux participants de fixer un petit point noir de 0,25° d'angle visuel présenté au centre de la figure et, à la fin de cette seconde et demie de présentation du stimulus, les sujets doivent décider si le caractère qu'ils ont vu apparaître au centre de l'écran semblait trembloter ou non. Un appui sur la touche O du clavier présent devant eux signifie que le stimulus tremblote, qu'il semble encore passer du rouge au vert et donc qu'il y a une différence de luminance tandis qu'un appui sur N traduit l'absence de tremblement et donc la perception de la figure comme stable et isoluminante.

Enfin, nous réalisons la moyenne des valeurs de rouge de tous les essais ayant conduit à un appui sur « N » et nous intégrons cette valeur de rouge à la tâche finale. Cette valeur du rouge RGB est donc une valeur moyenne calculée individuellement pour chaque participant qui conduit à une perception d'isoluminance du rouge sur le vert (la valeur moyenne de rouge est de 184 ($\pm$ 12) rgb255). Cette condition d'isoluminance permet d'activer préférentiellement la voie ventrale parvocellulaire, qui n'est pas sensible aux contrastes de luminance, au détriment de la voie dorsale magnocellulaire qui, elle, est sensible aux contrastes de luminance.

2.3.2. Détermination du seuil d'opacité – « Contrast sensitivity threshold »

L'épreuve de « contrast sensitivity threshold » intervient quant à elle pour les stimuli M. Elle est utilisée pour déterminer le contraste le plus faible entre deux niveaux de gris permettant tout de même de les distinguer et fait également intervenir la notion de fréquence spatiale car pour s'assurer que les stimuli M activent préférentiellement la voie dorsale, ils sont floutés. La fréquence spatiale est en effet la finesse avec laquelle les détails d'une image sont présentés. Ainsi, un stimulus flou comme nous utilisons ici correspond à une faible fréquence spatiale. Les couleurs de gris sont donc les mêmes tout au long de la tâche, seule l'opacité change.

Les stimuli présentés ici sont les lettres b, d et j car ce sont les lettres appariées aux trois caractères du BACS que nous avons sélectionnés pour la tâche principale. Ils ont une taille d'environ 10° d'angle visuel. Ces stimuli ont été floutés avec le logiciel MatLab afin d'obtenir une faible fréquence spatiale, inférieure à 1,5 cycle/degré d'angle visuel,

comme ce qui est préconisé dans l'article de Skottun (2000). D'après lui, ceci réduit le risque d'activation des neurones parvovellulaires et permet donc d'activer préférentiellement la voie dorsale.

Nous utilisons la même méthodologie qu'Im et al. (2017) et Kveraga et al. (2007) pour déterminer le seuil de contraste, à savoir une procédure en marches d'escalier multiple (« multiple staircases »). Ainsi, le sujet ne réalise qu'une seule tâche, dans laquelle il y a 3 « staircases », soit une pour chaque caractère. Il s'agit donc « d'interleaved staircase » car les 3 « staircases » sont mélangées et les 3 types de stimuli sont présentés aléatoirement dans le but d'éviter que le sujet puisse anticiper la réponse attendue (Cornsweet cité par Rose, 2006). Selon Rose (2006), le mieux est encore de présenter aléatoirement les stimuli de chacune des 3 « staircases », ce que nous avons fait, plutôt que de présenter une alternance constante des 3 « staircases ». Un avantage supplémentaire de cette présentation aléatoire et simultanée des 3 stimuli est d'éviter l'effet d'apprentissage ou l'installation d'une fatigue pour le dernier caractère, ce qui pourrait être observé dans le cadre d'une présentation séquentielle des 3 « staircases ».

Comme le recommandent Taylor & Creelman (1967), Pentland, (1980) et Tyrrel & Owens, (1988) (cités par Rose, 2006), commencer par des changements de pas relativement grands entre un premier stimulus et le suivant puis diminuer la taille de ce pas au fur et à mesure de l'avancement de l'expérience permet de se rapprocher progressivement de la valeur seuil. Ces réductions de la taille du pas ont lieu aux points de changement de direction. Ainsi, les premiers essais permettent de dégrossir et d'établir rapidement la zone où le seuil sera trouvé et ce sont les essais suivants, qui avancent avec un pas plus petit, qui permettent de déterminer plus finement la valeur seuil.

Une particularité des « staircases » que nous proposons consiste à ne pas diminuer l'intensité du contraste à chaque essai correct mais seulement après 5 essais corrects consécutifs à une même intensité. En revanche, pour chaque essai incorrect l'intensité du contraste du stimulus suivant augmente de nouveau. Il s'agit donc de « staircases one up, five down ».

Avant de commencer la tâche, le participant est prévenu qu'il va voir apparaître rapidement au centre de l'écran, durant 600 ms une des trois lettres b, d ou j et qu'il devra exprimer oralement l'identité de la lettre qu'il aura vue afin que l'expérimentateur appuie sur la touche correspondante du clavier. Au moment de l'explication de la consigne, oralement et par écrit, nous attirons également l'attention du sujet sur le fait que les caractères présentés vont être de plus en plus transparents et qu'il lui sera, à un moment

donné, impossible de distinguer la figure du fond et donc d'identifier la lettre. L'étudiant devra alors donner une réponse au hasard.

Pour commencer, les caractères sont présentés avec une opacité de 0.8, soit presque une présentation normale afin que le stimulus soit clairement visible et que le sujet comprenne bien ce qu'il a à faire (Peirce & MacAskill, 2018, 2019). Ensuite, la « staircase » commence et l'opacité diminue progressivement toutes les 5 réponses correctes, l'opacité minimum proposée étant de 0.01. Un changement de direction, c'est-à-dire une augmentation de l'opacité, a lieu lorsque le participant fait une erreur d'identification de la lettre car cela témoigne d'un seuil de contraste trop faible, ne permettant plus au sujet de distinguer la forme du fond. La valeur du contraste augmente alors un peu pour permettre d'affiner la valeur seuil du participant et voir si, à un niveau de contraste légèrement plus élevé, il arrive à identifier la lettre. Après 5 réponses correctes à un même contraste, l'opacité du stimulus diminue de nouveau et se maintient pour 5 essais ou augmente de nouveau si les réponses sont erronées.

Les « staircases » sont arrêtées après 6 changements de direction car c'était suffisant pour avoir une estimation du seuil de contraste limite perçu étant donné que la valeur que nous relevons est la moyenne des 3 derniers changements de direction. Nous réalisons cela pour chacune des 3 « staircases » afin de ne retenir que la valeur de contraste la plus élevée parmi les moyennes des trois lettres (la valeur moyenne de contraste retenue est de 0.0623 (± 0.013)). Nous appliquons cette méthodologie afin de nous assurer que le seuil de contraste ne soit pas trop faible pour certains stimuli, ce qui empêcherait de bien les percevoir et donc de réaliser correctement la tâche principale qui suit. C'est ce niveau de contraste qui est intégré à la tâche principale pour que les stimuli magno soient présentés avec un niveau de contraste minimal.

2.4. Tâche principale – décision identique/différent

Dans cette étude comportementale, nous souhaitons comprendre quel est le rôle de la voie magnocellulaire dans la perception de l'orientation des lettres en miroir. En effet, 2 voies visuelles sont distinguées à partir du cortex visuel primaire. D'une part la voie ventrale, la voie du « what », qui reçoit majoritairement des informations parvocellulaires et qui intervient dans l'identification des objets. D'autre part la voie dorsale, voie du « where », est rapide et reçoit quasi exclusivement des informations magnocellulaires concernant la localisation et les mouvements (Milner & Goodale, 2008).

Pour tester notre hypothèse, nous avons manipulé des stimuli afin qu'ils activent préférentiellement l'une ou l'autre voie. De fait, les stimuli activant la voie dorsale sont des stimuli achromatiques, présentés en gris clair sur gris foncé avec une faible luminance et une faible fréquence spatiale (stimuli M) tandis que ceux stimulant la voie ventrale sont les stimuli chromatiques rouges sur fond vert et isoluminants (stimuli P). Par « isoluminants », nous entendons des stimuli dont la luminance est identique à celle du fond sur lequel ils sont présentés.

2.4.1. Présentation de la tâche « égal-différent »

Pour en venir à la tâche principale de perception de l'orientation, il s'agit d'une tâche « same-different » sur l'orientation, dans laquelle les participants doivent porter un jugement sur l'orientation de stimuli similaires présentés séquentiellement selon différentes conditions comme l'ont fait précédemment Fernandes & Kolinsky (2013) ou encore Pegado et al. (2014). Un inconvénient de cette présentation séquentielle est l'intervention d'une variable mnésique (Fernandes & Leite, 2017).

2.4.1.1. Trois conditions de présentation des stimuli

Comme décrites précédemment, et utilisées avec succès par plusieurs auteurs (Im et al., 2017 ; Kveraga et al., 2007 ; Thomas et al., 2012), nous utilisons trois conditions de présentation randomisées :

- La condition non biaisée, standard, dans laquelle les stimuli issus de la BACS sont présentés en noir sur fond blanc, avec un fort contraste de luminance. Pratiquement, le fond n'est pas réellement blanc mais légèrement grisé afin qu'il n'apparaisse pas trop éblouissant lors de la présentation dans la pénombre.
- La **condition M**, dans laquelle les stimuli activent de façon privilégiée la voie dorsale car ce sont des stimuli achromatiques, floutés et de faible contraste, présentés et créés selon la même procédure que ceux de la tâche de « contrast sensitivity threshold ».
- La **condition P**, dans laquelle les stimuli activent préférentiellement la voie ventrale car ce sont des stimuli chromatiques isoluminants, de contraste élevé et aux contours très marqués, qui sont présentés selon les mêmes conditions et créés d'après la même procédure que ceux de l'épreuve d' « heterochromatic flicker photometry ».

2.4.1.2. Quatre types d'orientation

Les 3 caractères de la BACS (Vidal et al., 2017) utilisés dans notre expérience sont des stimuli asymétriques présentant un axe principal d'élongation vertical. Dans la tâche « égal-différent », ils sont orientés de façon oblique selon un angle de 20° afin de pouvoir distinguer les erreurs que nous nous attendons à observer entre les orientations EVA et OPA. Nous avons choisi de les rendre obliques selon un angle de 20° car ainsi, l'angle entre les images-miroirs EVA et OPA est de 40°, soit le même angle que le troisième type d'orientation, la rotation plane à 40°. Ainsi, à partir des stimuli standards orientés à 20°, nous avons créé la réflexion sur le plan vertical (EVA), la réflexion sur l'axe principal de l'objet (OPA) et la rotation dans le plan (40°) afin d'obtenir un stimulus orienté à 40° par rapport au plan vertical. Il y a donc 3 types de confusions mais 4 types d'orientation car les stimuli standards sont présentés dans la même orientation dans les essais « same ». Pour chacun de ces stimuli, dans les différentes orientations, des versions magno et parvo ont été créées.

Afin que chacun des stimuli soit présenté dans toutes les configurations possibles, 324 essais sont nécessaires, répartis en 9 blocs de 36 essais. Parmi ces 324 essais aléatoires, il y a 108 essais pour chacun des 3 caractères du BACS comme nous pouvons le voir dans le Tableau 1 (Cf. Annexe III pour plus de lisibilité).

Nous avons déterminé que 1/3 des essais, soit 108 essais, seraient des essais « same » donc identiques, ne nécessitant pas de réponse de la part du sujet. Les 2/3 restants sont les essais auxquels nous nous intéressons, pour lesquels l'orientation est différente et requérant donc une réponse du sujet. Cela représente 216 essais. Les différents essais sont répartis comme suit :

		ORIENTATION															TOTAL	
		Standard / identiques			Total	EVA			Total	OPA			Total	40°				Total
CONDITION	Non-biaisée																	108
		12	12	12	36	8	8	8	24	8	8	8	24	8	8	8	24	
	Magno																	108
		12	12	12	36	8	8	8	24	8	8	8	24	8	8	8	24	
	Parvo																	108
		12	12	12	36	8	8	8	24	8	8	8	24	8	8	8	24	
TOTAL		108				72				72				72				324
										216								

stimulus se comporte de la même façon que les autres dans la même condition et qu'il n'y ait pas un biais de réponse induit par un des caractères. Les statistiques descriptives présentées en Annexe IV ne semblent pas montrer de différence entre les 3 stimuli.

2.4.2. Contexte de passation :

Les sujets sont testés individuellement dans une pièce plongée dans le noir. Ils sont assis à 40 cm de l'ordinateur de testing et selon les mêmes conditions que pour les prétests. Pour cette dernière épreuve, les participants reçoivent de nouveau une consigne orale, identique au support écrit présenté à l'écran. Cette consigne explique qu'ils vont voir apparaître successivement 2 caractères à l'écran et que leur tâche sera d'appuyer sur le 0 du pavé numérique installé face à eux le plus rapidement possible quand les deux stimuli ne sont pas présentés dans la même orientation. Ils ne doivent donc rien faire quand les 2 caractères sont présentés dans la même orientation. Les participants sont prévenus qu'ils ne doivent pas se laisser surprendre par le changement de position, de taille ou de couleur du stimulus.

Au cours de la présentation des instructions et avant de lancer la tâche sur PsychoPy2 v1.90.1. (Peirce & MacAskill, 2018), les participants sont informés que l'épreuve est constituée d'un entraînement, suivi par la tâche comprenant 9 blocs d'environ 4 minutes. Nous avertissons les étudiants que des temps de pause sont prévus entre chaque bloc et qu'ils peuvent faire une pause entre chaque bloc s'ils en ressentent le besoin.

2.4.3. Déroulement de la passation :

Les instructions sont suivies par un premier entraînement constitué de 4 essais réalisés par l'expérimentateur, durant lesquels il explique le raisonnement conduisant à la réponse attendue. Un second entraînement de 12 essais est ensuite prévu pour le participant, chaque essai faisant l'objet d'un feedback informatisé quant à la qualité des réponses. Pendant ce temps, l'expérimentateur reste près du participant et observe ses réponses. Il peut répondre à des questions si besoin est et s'assure que le sujet saisisse bien ce qui est attendu de lui à la fin de l'entraînement, avant de passer à la tâche proprement dite.

2.4.4. Déroulement de la tâche principale :

Dans un premier temps, un carré de fixation est présenté pendant 500 ms sur l'écran, à ± 2 cm autour du centre de l'écran, afin que cette fixation n'ait pas lieu au centre de l'écran et soit suffisamment éloignée du centre pour provoquer des mouvements oculaires mais sans nécessiter de mouvements de la tête. Le carré de fixation précédent le stimulus S1 (stimulus noir sur blanc) permet au sujet d'anticiper l'arrivée du stimulus S1 et donc d'orienter son regard afin que le stimulus soit présenté au centre de la rétine du sujet ainsi qu'au centre du carré précédent, bien qu'il ne s'agisse pas du centre de l'écran. Le stimulus S1 est présenté pendant 1500 ms, avec une présentation oblique de 20° dans le sens horaire ou antihoraire, la partie distinctive pouvant être en haut ou en bas car ce sont des stimuli non-familiers, qui n'ont pas d'orientation prototypique (Cf. Figure 4). Le jugement d'orientation que nous demandons est donc le même, quel que soit l'angle de départ.



Figure 4 : Orientations possibles du 1er stimulus.

Dans un deuxième temps, nous présentons de nouveau un carré de fixation pendant 500 ms, mais cette fois-ci au centre de l'écran afin d'attirer l'attention du participant à cet endroit pour la présentation du stimulus test S2. La présentation du stimulus S2 dure 1500 ms comme pour le stimulus S1 et ce stimulus mesure environ 10° d'angle visuel. Cette présentation de 1500 ms peut être plus courte si le participant répond avant les 1500 ms. Le stimulus S2 sera différent selon qu'il s'agit d'une condition M ou d'une condition P mais dans les 2 cas, la figure est présentée en même temps que le fond pour éviter une pré-activation des photorécepteurs avant même que le stimulus ne soit présenté. Dans la condition M, le stimulus apparaît en gris clair sur gris foncé tandis que dans la condition P, le stimulus apparaît rouge sur vert.

C'est lors de la présentation du stimulus test S2 qu'on demande au sujet de juger si l'orientation du stimulus S2 est la même que l'orientation du stimulus S1. Si le stimulus 2 est une image-miroir (EVA ou OPA) du stimulus 1 ou une rotation (40°), le participant doit répondre le plus rapidement possible en appuyant sur la touche 0 du pavé numérique alors qu'il ne doit rien faire si les 2 stimuli sont identiques (essais « same »). Ces différentes étapes constituent un essai et l'expérience comprend au total 324 répétitions,

présentées aléatoirement. Après la prise de décision, deux secondes de pause sont prévues avant l'essai suivant.

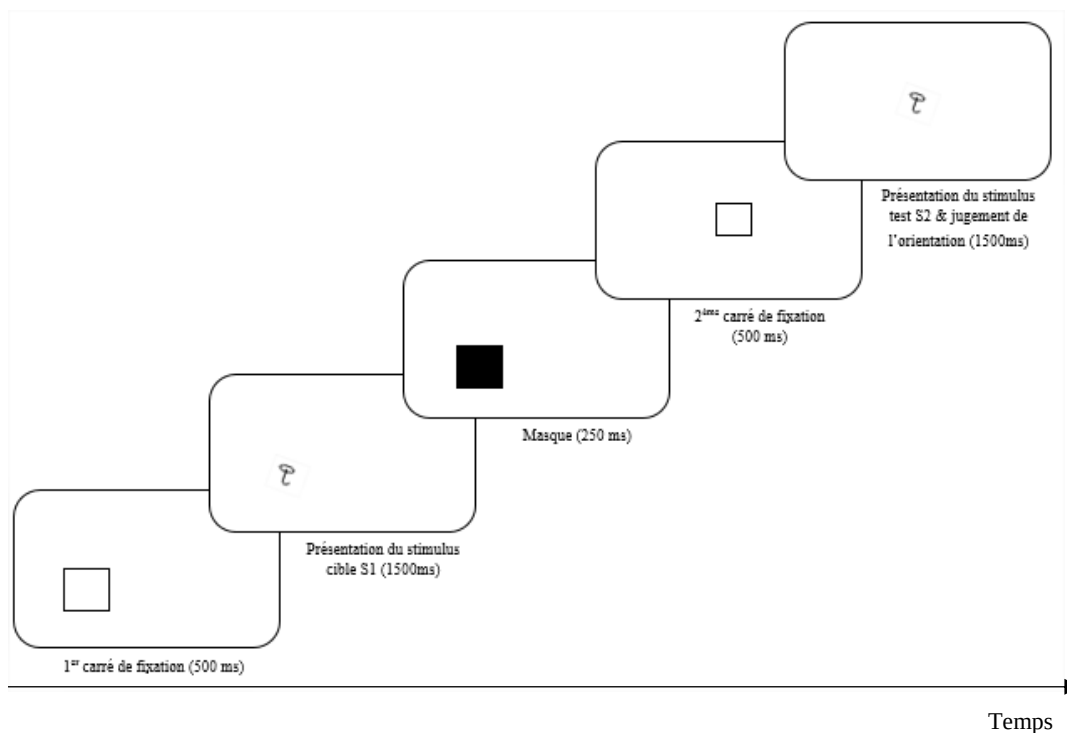


Figure 5 : Déroulement de la tâche principale.

Note. Le stimulus S1 présenté ici est 'E' mais, bien évidemment, ça peut être n'importe lequel des trois stimuli utilisés. De la même façon, le stimulus S2 est représenté dans la condition identique non biaisée mais il peut être dans une des 36 configurations présentées précédemment.

Nous ne présentons pas le premier carré de fixation et le stimuli S1 (stimulus noir sur blanc) au centre de l'écran afin d'éviter que l'image du stimulus test S2, présenté lui au centre de l'écran, ne se superpose à l'image résiduelle du stimulus cible S1 et donc qu'il y ait une continuité perceptuelle entre l'amorce et la cible (Soares et al., 2019). Si c'était le cas, le participant ne ferait plus un jugement d'orientation mais devrait simplement vérifier si le stimulus test S2 est identique au stimulus cible S1. C'est aussi pour cette raison que le stimulus S1 n'a pas toujours la même taille, il peut mesurer 8 ou 12° d'angle visuel, tandis que le stimulus S2 mesure toujours 10° d'angle visuel. Un carré de masquage est présenté pendant 250 ms après le stimulus 1 pour éviter un after-effect, c'est-à-dire le maintien de l'image présentée sur la rétine.

2.4.5. Variables – Scores et sous scores :

2.4.5.1. Deux variables indépendantes

Notre expérience suit un design 3x3. Ainsi, les conditions M et P constituent une des variables indépendantes que l'on utilise afin de faire intervenir préférentiellement l'une ou l'autre voie visuelle dans la tâche. Ces deux conditions M et P sont comparées à une troisième condition, la condition standard (ou non biaisée), dans laquelle les stimuli sont présentés en noir sur fond blanc.

La seconde variable indépendante concerne l'orientation dans laquelle sont présentés les stimuli. Nous retrouvons ainsi les stimuli suivants :

- Stimuli standards, qui sont présentés avec une rotation de 20°, afin que l'axe principal d'élongation soit oblique et permette de distinguer les erreurs OVA et EPA.
- Stimuli EVA pour External Vertical Axis. Il s'agit de stimuli retournés selon l'axe vertical du monde qui nous entoure.
- Stimuli OPA pour Object Principal Axis. Ce sont des stimuli qui ont été retournés selon l'axe principal de l'objet. En effet, nous avons choisi des stimuli présentant un axe principal d'élongation évident, pour lequel aucune confusion n'est possible.
- Stimuli ayant subi une rotation plane de 40°.

Il est question d'un design 3x3 car, pour la condition orientation, les stimuli standards sont présentés dans la condition identique, pour laquelle aucune réponse n'est nécessaire.

2.4.5.2. Deux variables dépendantes

Nous nous intéressons à deux variables dépendantes qui sont :

- ➔ Le temps de réponse, c'est-à-dire le temps écoulé entre la présentation du second stimulus et l'appui dans le cas d'un essai où l'orientation est différente entre S1 et S2
- ➔ Le taux de réponses correctes, soit les appuis lors des essais différents et l'absence d'appui lors des essais identiques.

2.4.5.3. Analyses statistiques prévues

Par la suite, une fois les données récoltées pour les 34 participants, nous décrirons la précision des réponses ainsi que les temps de réponse pour l'ensemble des données récoltées. Nous procéderons, avant cette étape, à la normalisation des données de temps de réponse. La moyenne sera donc égale à 0 et l'écart-type à 1. Ainsi, les données pour lesquelles le temps de réponse sera négatif et inférieur à 0 seront celles ayant conduit à une réponse très rapide, plus rapide que le temps de réponse moyen. L'étape suivante consistera à éliminer les données extrêmes et aberrantes (outliers) pour chaque participant en fonction des temps de réponse dans chacune des conditions. L'analyse finale consistera en une analyse des variances des temps de réponse et de la précision des réponses entre les différentes conditions grâce à une ANOVA à mesures répétées réalisée sur le logiciel SPSS v25 (IBM). Nous étudierons alors les effets principaux de condition et d'orientation et surtout les effets d'interaction.

CHAPITRE 3 : RESULTATS

Dans la section qui suit, nous présenterons quelques statistiques descriptives avant de passer à l'Anova à mesures répétées, dans un premier temps pour la précision des réponses puis, dans un second temps, pour le temps de réponse. Toutes les analyses ont été réalisées avec SPSS v25 (IBM).

Nous commençons par observer globalement les données des 34 étudiants qui ont été testés pour notre expérience (Cf. Tableau 2). Chacun a répondu à 9 blocs de 36 essais, ce qui nous fait donc un total de 11016 essais.

			Réponse observée		Total
			Mauvaise réponse	Bonne réponse	
Réponse attendue	Pas d'appui	Effectif	164	3508	3672
		% du total	1,5%	31,8%	33,3%
	Appui	Effectif	126	7218	7344
		% du total	1,1%	65,5%	66,7%
Total		Effectif	290	10726	11016
		% du total	2,6%	97,4%	100,0%

Tableau 2 : Tableau croisé Réponse attendue*Réponse observée.

Parmi ces données, 1/3 des essais étaient des essais « same », ne nécessitant donc aucune réponse (« Pas d'appui ») de la part des participants. On retrouve effectivement un total de 33,3% lorsque la réponse attendue est une absence de réponse. Ces 33%

représentent 3672 essais et parmi ces essais, 164 essais n'ont pas été réussis, c'est-à-dire qu'à 164 reprises, des participants ont appuyé sur la touche 0 alors que les 2 stimuli présentés étaient identiques. Cela ne représente que 1,5% du nombre total d'essais. Il s'agit donc de « faux-appuis », des appuis intempestifs alors qu'aucune réponse n'est attendue.

Si nous nous intéressons maintenant à « Appui », c'est-à-dire les appuis pour des stimuli dont l'orientation est différente, nous constatons qu'il y a 7344 essais (soit 2/3 des essais) et ce sont ces essais auxquels nous nous intéresserons par la suite. Parmi ces 7344 essais, il y a eu 126 oublis. Cela veut dire que pour 126 essais, un appui était attendu parce que les stimuli présentés étaient différents mais qu'il n'y a pas eu d'appui. Ceci représente 1,1% de la totalité des réponses.

Si nous récapitulons, les participants ont répondu correctement à 97,4% des essais et des erreurs sont constatées pour les 2,6% restants.

Pour commencer, si nous étudions uniquement les données ayant conduit à des erreurs, nous constatons dans le Tableau 3 les éléments suivants :

		Type d'erreur		Total
		Faux-appuis	Oublis	
Condition de présentation	Magno	79	54	133
	Parvo	44	35	79
	Non-biaisé	41	37	78
Total		164	126	290

Tableau 3 : Tableau croisé Condition de présentation * Type d'erreur

D'une part, concernant les conditions de présentation, les deux types d'erreurs semblent être plus fréquents pour la condition magno que pour les autres conditions.

D'autre part, d'après le Tableau 4 ci-dessous, les essais same conduisent à plus d'erreurs que les essais différents. De plus, au sein des essais différents, les OPA et les rotations planes semblent conduire à plus d'oublis que les EVA.

		Type d'erreur		Total
		Faux-appuis	Oublis	
Orientation	40Â°	0	51	51
	EVA	0	20	20
	OPA	0	55	55
	same	164	0	164
Total		164	126	290

Tableau 4 : Tableau croisé Orientation * Type d'erreur

3.1. Exactitude des réponses

3.1.1. Statistiques descriptives

3.1.1.1. Selon la condition :

Intéressons-nous maintenant à l'exactitude des réponses en fonction des différentes conditions :

			Réponse observée		Total
			Mauvaise réponse	Bonne réponse	
Condition de présentation	magno	Effectif	133	3539	3672
		% dans Condition de présentation	3,6%	96,4%	100,0%
	parvo	Effectif	79	3593	3672
		% dans Condition de présentation	2,2%	97,8%	100,0%
	unbiased	Effectif	78	3594	3672
		% dans Condition de présentation	2,1%	97,9%	100,0%
Total	Effectif	290	10726	11016	
	% dans Condition de présentation	2,6%	97,4%	100,0%	

Tableau 5 : Tableau croisé Condition de présentation * Réponse observée.

Nous constatons dans le tableau croisé ci-dessus (Tableau 5) que les participants ont de très bonnes performances dans toutes les conditions avec plus de 96% de réponses correctes. Nous constatons également que les conditions parvo et non biaisée sont les conditions pour lesquelles il semble y avoir le plus de bonnes réponses avec respectivement 97,8% et 97,9% des essais. Le taux de réponses correctes est en revanche un peu plus faible dans la condition magno avec seulement 96,4% de bonnes réponses.

3.1.1.2. Selon l'orientation des stimuli :

Si nous passons désormais à l'orientation des stimuli, nous remarquons dans le Tableau 6 que les participants ont de très bons résultats dans toutes les orientations avec plus de 97% de bonnes réponses. Les essais EVA sont ceux qui semblent conduire au plus de réponses correctes avec 99,2% de bonnes réponses, suivis par les essais 40° avec 97,9% de bonnes réponses et les essais OPA avec 97,8% de bonnes réponses. Les essais identiques sont un peu moins bien réussis avec seulement 95,5% de réponses correctes.

Concernant les essais identiques, nous avons déjà observé dans le Tableau 4 que les erreurs étaient plus fréquentes que pour les essais différents.

			Réponse observée		
			Mauvaise réponse	Bonne réponse	Total
Orientation	40°	Effectif	51	2397	2448
		% dans Orientation	2,1%	97,9%	100,0%
	EVA	Effectif	20	2428	2448
		% dans Orientation	0,8%	99,2%	100,0%
	OPA	Effectif	55	2393	2448
		% dans Orientation	2,2%	97,8%	100,0%
	same	Effectif	164	3508	3672
		% dans Orientation	4,5%	95,5%	100,0%
Total	Effectif	290	10726	11016	
	% dans Orientation	2,6%	97,4%	100,0%	

Tableau 6 : Tableau croisé Orientation du second stimulus*Réponse observée.

3.1.1.3. Pour la combinaison de conditions et d'orientations :

Si nous récapitulons les observations pour les 3 conditions et les 4 orientations, nous obtenons la Figure 6 ci-dessous :

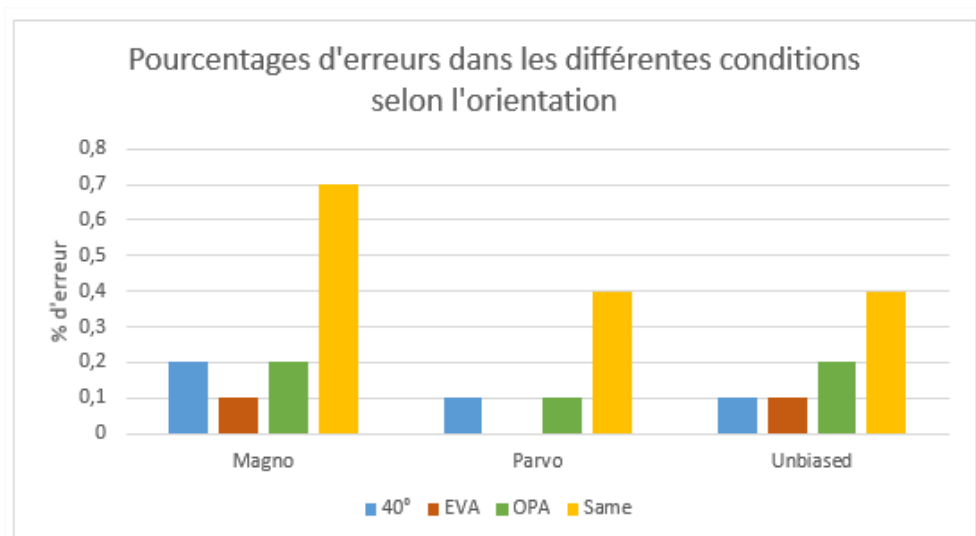


Figure 6 : Graphique représentant les pourcentages d'erreurs dans les différentes conditions en fonction de l'orientation du stimulus.

Dans la condition magno, il semble y avoir plus de mauvaises réponses pour les stimuli identiques (0,7% des essais), que pour les autres orientations, mais effectivement, lors du testing, certains participants rapportaient que certains stimuli M semblaient très légèrement penchés. Nous avons identifié ces stimuli considérés comme différents, avec une très légère inclinaison, comme les stimuli identiques. Toujours dans cette condition magno, il semble y avoir la même proportion de mauvaises réponses pour les stimuli à

40° et les OPA (0,2%). Il y a en revanche moins d'erreurs pour les EVA (0,1%) dans cette condition.

Dans la condition parvo, il semble y avoir de nouveau plus d'erreurs pour les stimuli identiques (0,4%) mais moins que dans la condition magno. Les erreurs semblent plus fréquentes pour les stimuli orientés à 40° et les OPA (0,1%) que pour les EVA (0%).

Dans la condition de présentation des stimuli non biaisés, il semble y avoir de nouveau plus d'erreurs pour les stimuli identiques, mais dans une proportion similaire à celle que l'on retrouve dans la condition parvo (0,4%). La proportion d'erreurs pour les orientations à 40°, OPA et EVA semblent relativement similaires et tournent autour de 0,1-0,2% des essais.

Si nous présentons les résultats précédents autrement afin de mieux comparer les différentes orientations, nous remarquons dans la Figure 7 que :

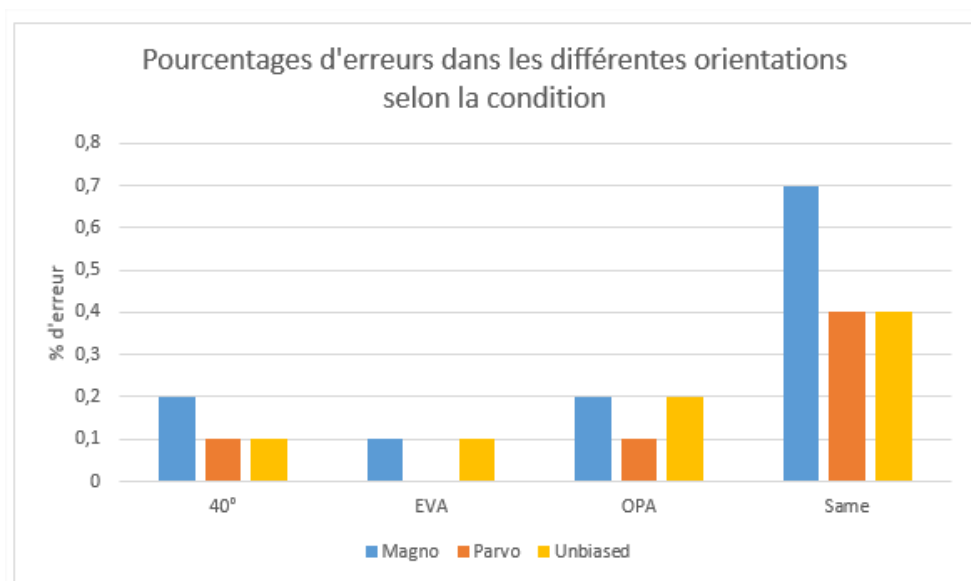


Figure 7 : Graphique représentant les pourcentages d'erreurs dans les différentes orientations en fonction de la condition.

Pour la rotation à 40°, il semble y avoir plus d'erreurs dans la condition magno (0,2% des essais) que dans les conditions parvo et non biaisée (0,1% des essais).

Pour les EVA, il semble y avoir des taux d'erreurs similaires dans les conditions magno et non biaisée (0,1%). Le taux d'erreurs est équivalent à 0% en ce qui concerne la condition parvo.

Pour les OPA, il semble y avoir de nouveau plus d'erreurs dans les conditions magno et non biaisée (0,2%) que dans la condition parvo (0,1%).

Pour les stimuli identiques, il semble y avoir plus d'erreurs dans la condition magno (0,7%) que parvo ou non biaisée (0,4%), ce qui est consistant avec ce que nous avons constaté lors du testing concernant la perception par les participants de légères rotations des stimuli magno dans les essais identiques.

Il semble donc y avoir des différences en termes de temps de réponse entre les conditions (Cf. Figure 6) et entre les orientations (Cf. Figure 7).

3.1.2. Anova à mesures répétées

Pour cette analyse de la variance, nous avons deux variables indépendantes intrasujets qui sont les conditions de présentation des stimuli et l'orientation du second stimulus présenté. La variable dépendante est le taux de réponses correctes.

Nous avons créé 9 nouvelles variables dépendantes à partir des taux de réponses correctes afin de combiner les 2 variables indépendantes de départ (condition x orientation) (Cf. Tableau 7).

Mesure: ExactitudeRéponse		
Condition	Orientation	Variable dépendante
1	1	Magno_40°
	2	Magno_EVA
	3	Magno_OPA
2	1	Parvo_40°
	2	Parvo_EVA
	3	Parvo_OPA
3	1	Unb_40°
	2	Unb_EVA
	3	Unb_OPA

Tableau 7 : Facteurs intrasujets.

	Moyenne	Ecart type	N
Magno_40°	,9718137255	,0559210718	34
Magno_EVA	,9889705882	,0236344734	34
Magno_OPA	,9730392157	,0445733055	34
Parvo_40°	,9803921569	,0343826233	34
Parvo_EVA	,9950980392	,0136264571	34
Parvo_OPA	,9816176471	,0293575580	34
Unb_40°	,9852941176	,0248783931	34
Unb_EVA	,9914215686	,0171010679	34
Unb_OPA	,9779411765	,0373175896	34

Tableau 8 : Statistiques descriptives des taux de réponses correctes pour les variables combinées Condition*Orientation

D'après les statistiques descriptives ci-dessus (Tableau 8) et le graphique ci-dessous (Figure 8), il ne semble pas y avoir de grande différence pour les taux de réponses correctes entre les 9 variables.

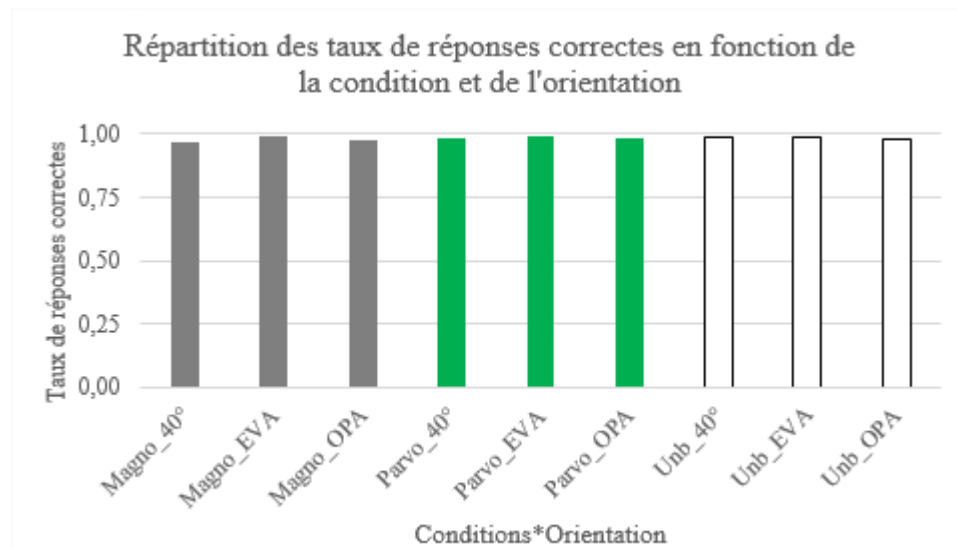


Figure 8 : Graphique représentant la répartition des taux de réponses correctes en fonction de la combinaison Condition*Orientation.

Le test de Mauchly ci-dessous (Tableau 9) est un test d'homogénéité des variances pour les données répétées. Il permet de vérifier la condition d'application du test de variance liée à la sphéricité.

Mesure: ExactitudeRéponse						
Effet intrasujets	W de Mauchly	Khi-deux approx.	ddl	Signification	Greenhouse-Geisser	
Condition	,855	5,020	2	,081	,873	
Orientation	,682	12,231	2	,002	,759	
Condition * Orientation	,320	35,808	9	,000	,700	

Tableau 9 : Tests de sphéricité de Mauchly pour l'ANOVA sur les taux de réponse.

Ici, la p-valeur est supérieure à .05 pour l'effet de la condition ce qui signifie que l'hypothèse de sphéricité est assumée. En revanche, la p-valeur est inférieure à .05 pour l'effet principal de l'orientation et l'effet d'interaction, la condition de sphéricité n'est donc pas respectée pour ces éléments. Nous devons utiliser la correction de Greenhouse-Geisser pour l'analyse des effets par la suite.

Mesure: ExactitudeRéponse

Source		Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel	Paramètre Paramètre	Puissance observée ^a
Condition	Hypothèse de sphéricité	,004	2	,002	2,593	,082	,073	5,187	,500
	Greenhouse-Geisser	,004	1,746	,002	2,593	,090	,073	4,529	,464
	Huynh-Feldt	,004	1,836	,002	2,593	,087	,073	4,761	,477
	Borne inférieure	,004	1,000	,004	2,593	,117	,073	2,593	,346
Erreur (Condition)	Hypothèse de sphéricité	,047	66	,001					
	Greenhouse-Geisser	,047	57,632	,001					
	Huynh-Feldt	,047	60,585	,001					
	Borne inférieure	,047	33,000	,001					
Orientation	Hypothèse de sphéricité	,012	2	,006	3,386	,040	,093	6,772	,619
	Greenhouse-Geisser	,012	1,518	,008	3,386	,054	,093	5,139	,536
	Huynh-Feldt	,012	1,576	,008	3,386	,052	,093	5,335	,547
	Borne inférieure	,012	1,000	,012	3,386	,075	,093	3,386	,431
Erreur (Orientation)	Hypothèse de sphéricité	,122	66	,002					
	Greenhouse-Geisser	,122	50,089	,002					
	Huynh-Feldt	,122	51,998	,002					
	Borne inférieure	,122	33,000	,004					
Condition * Orientation	Hypothèse de sphéricité	,001	4	,000	,427	,789	,013	1,710	,147
	Greenhouse-Geisser	,001	2,798	,000	,427	,720	,013	1,196	,130
	Huynh-Feldt	,001	3,084	,000	,427	,739	,013	1,318	,134
	Borne inférieure	,001	1,000	,001	,427	,518	,013	,427	,097
Erreur (Condition*Orientation)	Hypothèse de sphéricité	,105	132	,001					
	Greenhouse-Geisser	,105	92,336	,001					
	Huynh-Feldt	,105	101,763	,001					
	Borne inférieure	,105	33,000	,003					

a. Calcul à l'aide d'alpha = ,05

Tableau 10 : Tests des effets intrasujets pour le taux de réponses correctes.

Dans le Tableau 10 ci-dessus, nous remarquons que les p-valeurs pour le F de Fischer sont systématiquement supérieures à .05. Il n'y a donc pas d'effet significatif, que ce soit un effet principal de la condition, de l'orientation ou un effet d'interaction Condition*Orientation sur le taux de réponses correctes.

3.2. Temps de réponse

Pour ces analyses sur les temps de réponse, nous avons retiré les données liées aux faux-appuis, c'est-à-dire les appuis intempestifs pour les stimuli same, mais également les oublis, qui sont les réponses erronées pour les stimuli 40°, EVA et OPA et pour lesquels nous n'avons donc pas de temps de réponse.

De plus, pour les analyses, nous avons procédé à une transformation linéaire des données de temps de réponse (standardisation) afin d'effectuer les analyses sur une distribution normale car la normalité est une des conditions d'application de l'Anova. L'étape suivante consistait à exclure les données extrêmes (outliers), qui s'étaient à plus de 2 ET autour de la moyenne de chaque participant pour chaque condition ($\bar{X} \pm 2 \text{ ET}$), et les réponses incorrectes. Les analyses qui vont suivre porteront donc sur 6898 données comme l'indique le Tableau 11. Le temps de réponse moyen, toutes conditions et toutes orientations confondues est de 0,6010 seconde.

	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
Temps de réponse	6898	,2703000249	1,230227368	,6009650762	,1433836299
N valide (liste)	6898				

Tableau 11 : Statistiques descriptives pour le temps de réponse.

3.2.1. Statistiques descriptives

3.2.1.1. Selon la condition :

Si nous nous penchons maintenant sur les temps de réponse associés aux 3 conditions présentés dans le Tableau 12, nous constatons que les stimuli non biaisés semblent être ceux auxquels les patients répondent le plus rapidement (0,55 s).

Le temps de réponse est relativement similaire pour les stimuli parvo bien que légèrement plus lent (0,58 s). En revanche, les stimuli magno semblent bien plus lents (0,66 s).

Moyenne	
Condition de présentation	Temps de réponse
Magno	,6649819712
Parvo	,5836757364
Unbiased	,5545659546
Total	,6009650762

Tableau 12 : Tableau récapitulatif des temps de réponse moyens en fonction de la condition.

3.2.1.2. Selon l'orientation des stimuli :

Moyenne	
Orientation	Temps de réponse
40°	,6278848410
EVA	,5781713745
OPA	,5973553402
Total	,6009650762

Tableau 13 : Tableau récapitulatif des temps de réponse moyens en fonction de l'orientation.

De façon générale, d'après le Tableau 13, les stimuli miroirs semblent être perçus plus rapidement (temps de réponse plus courts) que la rotation plane.

3.2.1.3. Pour la combinaison de conditions et d'orientations :

Dans les 3 conditions, ce sont les stimuli EVA et OPA auxquels les participants semblent répondre le plus vite, avec une légère avance au profit des EVA. Les réponses pour la rotation de 40° semblent plus lentes dans chacune de ces 3 conditions (Cf. Figure 9).

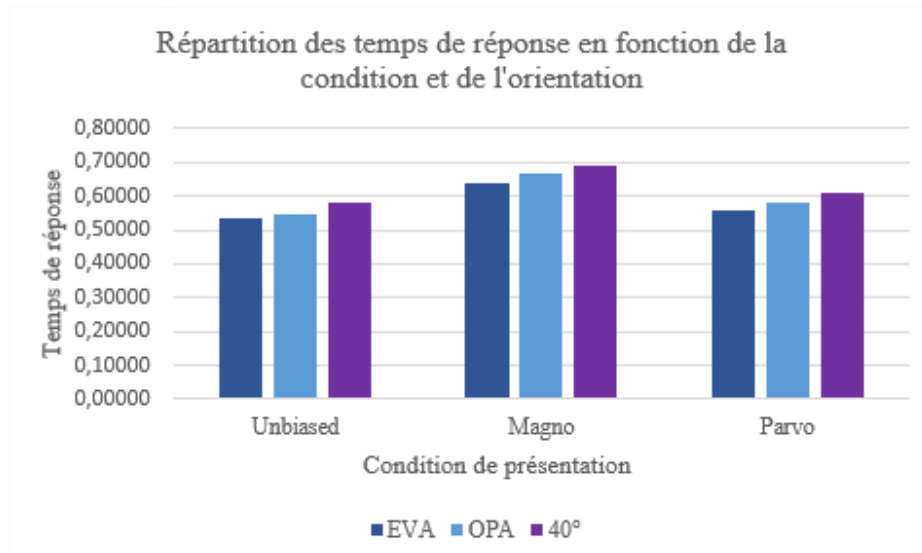


Figure 9 : Graphique représentant la répartition des temps de réponse en fonction de la condition et de l'orientation

Il semblerait donc que :

- ➔ $TR_{magno} > TR_{parvo} > TR_{non-biaisée}$
- ➔ Dans la condition non biaisée : $TR_{40°} > TR_{miroirs}$
- ➔ Dans la condition magno : $TR_{40°} > TR_{miroirs}$
- ➔ Dans la condition parvo : $TR_{40°} > TR_{miroirs}$

3.2.2. Anova à mesures répétées

Pour cette analyse de la variance, nous avons 2 variables indépendantes intrasujets qui sont les conditions de présentation des stimuli et l'orientation du second stimulus présenté. La variable dépendante quant à elle est le temps de réponse.

Nous avons créé 9 nouvelles variables dépendantes à partir des temps de réponse afin de combiner les 2 variables indépendantes de départ (condition x orientation). Celles-ci sont représentées dans le Tableau 14 ci-contre.

D'après les statistiques descriptives (Tableau 15) et le graphique en barres d'erreur ci-dessous (Figure 10), les temps de réponse semblent plus lents dans la condition magno par rapport aux autres conditions.

Mesure: TempsRéponse		
Condition	Orientation	Variable dépendante
1	1	Magno_EVA
	2	Magno_OPA
	3	Magno_40°
2	1	Parvo_EVA
	2	Parvo_OPA
	3	Parvo_40°
3	1	Unb_EVA
	2	Unb_OPA
	3	Unb_40°

Tableau 14 : Facteurs intrasujets.

	Moyenne	Ecart type	N
Magno_EVA	,2960631081	,6611256938	34
Magno_OPA	,4620026350	,7102295452	34
Magno_40°	,6109399953	,6772501007	34
Parvo_EVA	-,279597776	,6184973074	34
Parvo_OPA	-,138055409	,6421843428	34
Parvo_40°	,0946888863	,6441508736	34
Unb_EVA	-,473104915	,6157567977	34
Unb_OPA	-,338629167	,5946896476	34
Unb_40°	-,121294514	,6351504164	34

Tableau 15 : Statistiques descriptives des variables combinées de temps de réponse pour chaque condition*orientation.

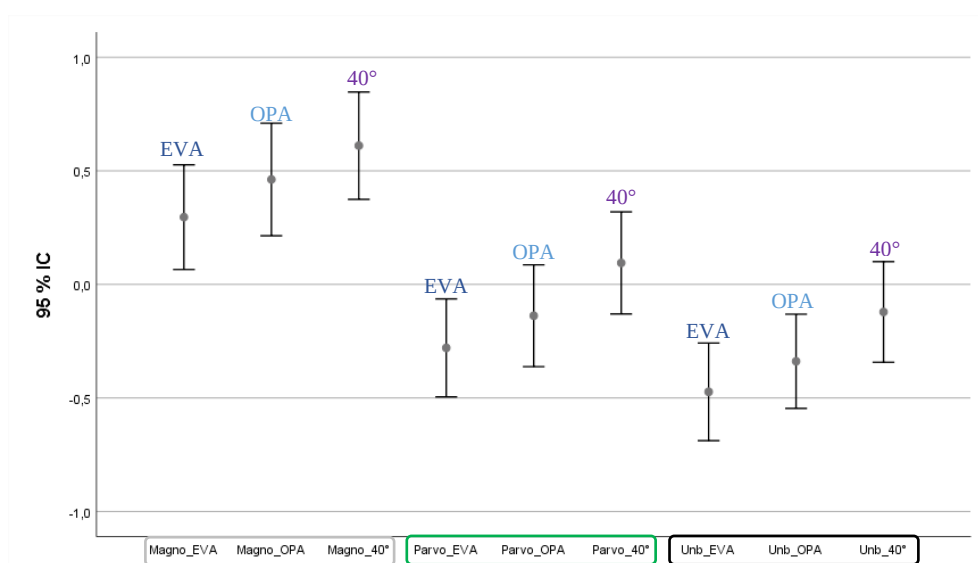


Figure 10 : Graphiques en barres d'erreurs pour chacune des 9 variables de temps de réponse.

Dans chacune des 3 conditions, les stimuli EVA semblent être ceux pour lesquels les participants répondent le plus vite. Viennent ensuite les OPA et finalement les rotations à 40°.

Le test de Mauchly ci-dessous (Tableau 16) est un test d'homogénéité des variances pour les données répétées. Ici, la p-valeur pour l'effet de la condition est inférieure à .05, de même que celui de l'orientation. Ceci indique que la condition de sphéricité n'est pas respectée. Nous devons donc utiliser la correction de Greenhouse-Geisser pour l'analyse des variances des effets principaux (Tableau 17). Par contre, la p-valeur est supérieure à .05 pour l'effet d'interaction Condition*Orientation. La condition de sphéricité est donc respectée.

Mesure: TempsRéponse					
Effet intrasujets	W de Mauchly	Khi-deux approx.	ddl	Signification	Greenhouse-Geisser
Condition	,753	9,087	2	,011	,802
Orientation	,713	10,827	2	,004	,777
Condition * Orientation	,612	15,438	9	,080	,802

Tableau 16 : Tests de Mauchly pour l'ANOVA sur les temps de réponse.

Mesure: TempsRéponse							
Source		Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Condition	Hypothèse de sphéricité	32,241	2	16,120	216,893	,000	,868
	Greenhouse-Geisser	32,241	1,604	20,105	216,893	,000	,868
	Huynh-Feldt	32,241	1,673	19,273	216,893	,000	,868
	Borne inférieure	32,241	1,000	32,241	216,893	,000	,868
Erreur (Condition)	Hypothèse de sphéricité	4,905	66	,074			
	Greenhouse-Geisser	4,905	52,918	,093			
	Huynh-Feldt	4,905	55,204	,089			
	Borne inférieure	4,905	33,000	,149			
Orientation	Hypothèse de sphéricité	6,187	2	3,094	59,026	,000	,641
	Greenhouse-Geisser	6,187	1,554	3,982	59,026	,000	,641
	Huynh-Feldt	6,187	1,617	3,827	59,026	,000	,641
	Borne inférieure	6,187	1,000	6,187	59,026	,000	,641
Erreur (Orientation)	Hypothèse de sphéricité	3,459	66	,052			
	Greenhouse-Geisser	3,459	51,280	,067			
	Huynh-Feldt	3,459	53,346	,065			
	Borne inférieure	3,459	33,000	,105			
Condition * Orientation	Hypothèse de sphéricité	,072	4	,018	,793	,532	,023
	Greenhouse-Geisser	,072	3,209	,022	,793	,508	,023
	Huynh-Feldt	,072	3,595	,020	,793	,520	,023
	Borne inférieure	,072	1,000	,072	,793	,380	,023
Erreur (Condition*Orientation)	Hypothèse de sphéricité	2,984	132	,023			
	Greenhouse-Geisser	2,984	105,890	,028			
	Huynh-Feldt	2,984	118,635	,025			
	Borne inférieure	2,984	33,000	,090			

Tableau 17 : Tests des effets intrasujets pour les temps de réponse.

Nous observons un effet principal de la condition ainsi qu'un effet principal de l'orientation. En effet, la p-valeur associée au test F de Fischer est significative au seuil de 5% pour les conditions ($F(1.604, 52.918) = 216.893$; $p < .001$, $\eta^2 = .868$) et les orientations ($F(1.554, 51.280) = 59.026$; $p < .001$, $\eta^2 = .641$). Par contre, nous n'observons pas d'effet significatif d'interaction Condition*Orientation.

Sur base de ces résultats, nous pouvons affirmer avec un risque d'erreur de 5% que dans la population, le temps de réaction diffère significativement selon la condition de présentation des stimuli et selon leur orientation.

Pour en savoir plus, il faut s'intéresser aux tableaux des comparaisons multiples :

▪ **Conditions :**

Selon le Tableau 18, les temps de réaction sont significativement différents entre toutes les conditions de présentation des stimuli (magno, parvo et non biaisée) car la p-valeur est inférieure au seuil alpha de .05. Ainsi, sur base des résultats au test, nous pouvons affirmer avec un risque d'erreur global de 5% que les temps de réponse dans la population considérée diffèrent significativement entre les 3 conditions de présentation.

Mesure: TempsRéponse

(I) Condition	(J) Condition	Différence moyenne (I-J)	Erreur standard	Signification ^b	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence ^b	
1 M	2	,564*	,044	,000	,453	,675
	3	,767*	,041	,000	,664	,871
2 P	1	-,564*	,044	,000	-,675	-,453
	3	,203*	,027	,000	,134	,272
3 N-B	1	-,767*	,041	,000	-,871	-,664
	2	-,203*	,027	,000	-,272	-,134

Basées sur les moyennes marginales estimées

*. La différence moyenne est significative au niveau ,05.

b. Ajustement pour les comparaisons multiples : Bonferroni.

Tableau 18 : Comparaisons appariées des temps de réponse pour les différentes conditions.

C'est dans la condition non biaisée (3) que les participants sont les plus rapides pour répondre. Ils sont significativement plus rapides que dans la condition magno (1) et dans la condition parvo (2). De la même façon, les réponses sont significativement plus rapides dans la condition parvo que dans la condition magno.

$$\rightarrow TR_{Magno} > TR_{Parvo} > TR_{Non-biaisée}$$

▪ **Orientations :**

Selon le Tableau 19 ci-dessous, les temps de réaction sont significativement différents entre toutes les orientations de stimuli (EVA, OPA et 40°) car les p-valeurs sont inférieures au seuil alpha de .05. Ainsi, sur base des résultats au test, nous pouvons affirmer avec un risque d'erreur global de 5% que les temps de réponse dans la population considérée diffèrent significativement entre les 3 orientations.

Mesure: TempsRéponse

(I) Orientation	(J) Orientation	Différence moyenne (I-J)	Erreur standard	Signification ^b	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence ^b	
1 EVA	2	-,147 [*]	,022	,000	-,203	-,091
	3	-,347 [*]	,034	,000	-,434	-,260
2 OPA	1	,147 [*]	,022	,000	,091	,203
	3	-,200 [*]	,038	,000	-,294	-,105
3 40°	1	,347 [*]	,034	,000	,260	,434
	2	,200 [*]	,038	,000	,105	,294

Basées sur les moyennes marginales estimées

*. La différence moyenne est significative au niveau ,05.

b. Ajustement pour les comparaisons multiples : Bonferroni.

Tableau 19 : Comparaisons appariées des temps de réponse pour les différentes orientations.

Nous pouvons constater que les réponses à l'orientation EVA sont plus rapides que les OPA ou les rotations de 40°. Les rotations de 40° sont l'orientation pour laquelle les réponses sont les plus lentes.

$$\Rightarrow TR_{40^\circ} > TR_{OPA} > TR_{EVA}$$

De fait, contrairement à ce que nous pensions dans notre seconde hypothèse, les différences de temps de réponse entre les orientations miroirs et les rotations ne changent pas autant que ce que nous imaginions selon les conditions. Les différences sont toujours relativement similaires entre les différentes orientations, quelle que soit la condition, comme le montre la Figure 11 ci-dessous :

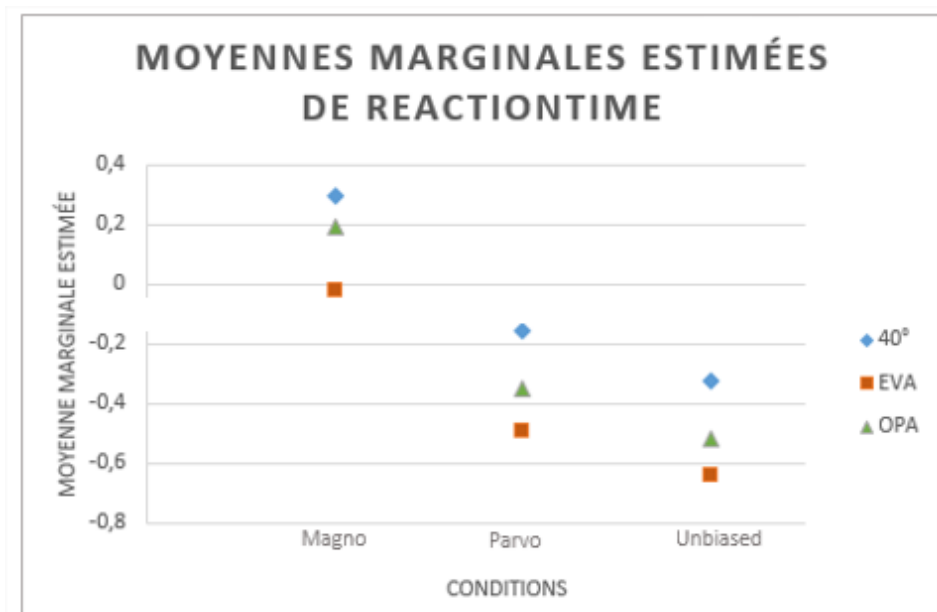


Figure 11 : Graphique représentant les moyennes marginales estimées de temps de réponse en fonction des différentes conditions et orientations.

DISCUSSION

Cette étude comportementale tente de comprendre le rôle de la voie magnocellulaire dans la perception de l'orientation des lettres-miroirs. Nous avons pour cela créé une tâche de jugement de l'orientation, présentée à 34 jeunes adultes. Dans la section précédente, nous avons exposé notre méthodologie et nos résultats vis-à-vis des hypothèses initialement formulées. Dans cette section, nous discuterons dans un premier temps des résultats obtenus en les confrontant aux connaissances théoriques issues de la littérature. Nous exposerons ensuite les limites de cette étude et clôturerons par les perspectives futures et les contributions de l'étude.

1. CONFRONTATION DES RESULTATS OBTENUS A LA THEORIE ET REVISION DES HYPOTHESES FORMULEES

Pour commencer, comme nous nous y attendions, nous remarquons que les sujets ne diffèrent pas significativement pour ce qui concerne le taux de réponses correctes entre les différentes conditions et les différentes orientations. Leurs performances sont systématiquement très bonnes avec plus de 90% de réponses correctes. Nous reviendrons donc sur nos hypothèses avec les résultats issus des temps de réponse.

Hypothèse 1 : Dans la condition non biaisée, les adultes tout-venant sont-ils plus lents pour discriminer les lettres OPA que les EVA et les rotations planes ?

Les statistiques descriptives semblent montrer que dans la condition non biaisée, les sujets perçoivent les OPA plus lentement que les EVA mais ils seraient en revanche plus rapides pour discriminer les OPA que les rotations planes à 40°. Cependant, les effets d'interaction Condition*Orientation de l'Anova ne sont pas significatifs et ne permettent donc pas de prouver une augmentation du temps de réponse significative et spécifique des OPA dans la condition non biaisée. Néanmoins, il y a un effet principal significatif de l'orientation selon lequel le temps de réponse pour les stimuli OPA est plus lent que celui des EVA mais plus rapide que la discrimination des rotations planes à 40°, toutes conditions confondues.

Pour résumer, nous nous attendions à observer ceci :

$$TR_{OPA} > TR_{EVA}, \quad TR_{OPA} > TR_{40^\circ}, \quad TR_{EVA} = TR_{40^\circ}$$

et nous observons en réalité cela : $TR_{40^\circ} > TR_{OPA} > TR_{EVA}$.

Dans la condition non biaisée, les images-miroirs sont donc mieux perçues que les rotations planes, avec tout de même une distinction au sein des images-miroirs puisque les EVA sont discriminées plus rapidement que les OPA.

Nous constatons effectivement que le temps de réponse est plus long pour les rotations à 40° que pour les images-miroirs alors que ce n'est pas le cas dans la littérature. De fait, Fernandes et al. (2016) observent l'inverse : des temps de réponse plus longs pour discriminer des images-miroirs que des rotations planes (180°). D'autres auteurs (Kolinsky et al., 2011) ont également montré chez des participants lettrés et illettrés que les images-miroirs sont moins bien perçues (plus lentement et avec plus d'erreurs) que les rotations planes à 90° et 180°. Gregory & McCloskey (2010) montrent que les erreurs OPA sont les erreurs les plus fréquentes chez les adultes, toutes orientations confondues. Ces auteurs ont également testé 7 rotations planes ($\pm 45^\circ$, $\pm 90^\circ$, $\pm 135^\circ$ et 180°) et constatent plus d'erreurs pour les rotations de $\pm 45^\circ$ que pour les autres angles de rotation, que le stimulus présenté soit oblique (angle de départ égal à $22,5^\circ$) ou vertical. Fernandes & Kolinsky (2013) ainsi que Fernandes et al. (2017) concluent, comme les auteurs précédents, que les rotations planes (180°) sont moins difficiles à percevoir que les images-miroirs.

Néanmoins, au sein de l'alphabet latin, certaines lettres sont des images-miroirs l'une de l'autre (par exemple b/d, p/q) mais ces mêmes lettres peuvent également être des rotations à 180° (par exemple b/q, d/p) (Fernandes & Kolinsky 2013). En lien avec les résultats que nous observons, nous pouvons penser que les temps de réponse pour les rotations à 40° sont plus longs que pour les images-miroirs car nous sommes plus entraînés à distinguer une image-miroir qu'une rotation à 40° dans l'alphabet latin. De fait, dans les différentes études relevées ici, les rotations planes étaient systématiquement mieux perçues (plus rapidement ou de façon plus correcte) que les images-miroirs car présentées avec un angle de 45, 90 et surtout 180°. En effet, ces angles sont plus saillants dans l'environnement. Une rotation de 90° est un angle qu'il est possible de retrouver dans notre environnement car c'est ce qui distingue la station debout de la station couchée. Cet angle intervient surtout pour les objets et permet la distinction entre la position droite

standard et un objet renversé. Une rotation selon un angle de 180°, un angle visuellement marqué, permet également de voir assez rapidement que l'orientation du stimulus asymétrique est différente car les éléments distinctifs n'auront plus la même disposition autour de l'élément central. Nous ne rencontrons cependant que très rarement des rotations à 40° dans l'environnement, ce qui nous incite à penser que nous sommes plus entraînés à distinguer une rotation selon un angle de 180° qu'une rotation de 40° comme nous avons utilisé dans l'étude. Ceci pourrait dès lors expliquer les temps de réponse plus longs dans notre étude avec des rotations planes à 40° que les temps de réponse observés pour les rotations plus saillantes des autres études.

De plus, bien qu'il semble y avoir une différence entre le groupe d'enfants lettrés et le groupe d'enfants plus jeunes non-lettrés en termes de taux d'erreurs pour les rotations à 180°, Fernandes et al. (2017) n'ont pas étudié la significativité de cette différence et montrent que cette réduction du taux d'erreurs pour les rotations à 180° entre les 2 groupes n'est pas significativement associée à la connaissance des lettres. Ce n'est donc vraisemblablement pas l'apprentissage des lettres latines (alphabet contenant des lettres qui sont des rotations planes à 180° l'une de l'autre –b/q, d/p) qui développe cette sensibilité aux rotations à 180°. Néanmoins, bien que peu présentes dans notre environnement, les rotations à 180° sont très saillantes pour les objets ayant une certaine représentation prototypique. Ainsi, si une chaise nous est présentée selon une rotation à 180°, nous détecterons très rapidement le changement d'orientation alors que ce serait moins le cas avec une balle. En outre, nous pourrions penser qu'étant donné que les angles à 90° ne sont pas rencontrés dans l'alphabet latin nous sommes moins sensibles à une rotation selon un angle à 90° qu'à 180°. Or, dans la même étude que précédemment (Fernandes et al., 2017), les auteurs utilisent des rotations planes à 90° et 180° mais ne comparent malheureusement pas les performances entre ces 2 angles de rotation. Il semblerait pourtant visuellement que le taux d'erreurs pour les rotations à 90° soit plus important que celui pour les rotations à 180° mais cette observation est à prendre avec précaution. En effet, aucune analyse permettant d'affirmer la significativité de cette différence n'a été réalisée par les auteurs.

Par ailleurs, nous avons choisi de présenter les stimuli selon une orientation symétrique de $\pm 20^\circ$ autour de l'axe vertical afin d'obtenir une rotation plane de 40°. Cela permet effectivement de garder un angle de même envergure entre la rotation de 40° et celui formé par le stimulus oblique entre les images-miroirs EVA et OPA. Ainsi, dans les trois conditions d'orientation (EVA, OPA et rotations planes à 40°), l'angle entre le

stimulus avant et après le changement d'orientation est de 40°. Cependant, cette rotation plane à 40° autour de l'axe vertical extrinsèque à partir d'un stimulus à 20° conduit à un résultat identique à celui qui serait obtenu en cas de formation d'une image-miroir OPA à partir d'un stimulus oblique à 20°, suivie par un renversement miroir EVA. L'angle de 40° étant peu saillant dans notre environnement, il se pourrait donc que le stimulus ayant subi une rotation à 40° soit traité comme 2 images-miroirs consécutives OPA puis EVA, ce qui expliquerait la latence observée au niveau du temps de réponse par rapport aux autres images-miroirs simples.

Hypothèse 2-A : Par comparaison à la condition non biaisée, observons-nous une réduction des temps de réponse pour les stimuli miroirs (EVA et OPA) dans la condition magno ?

Contrairement à ce à quoi nous nous attendions, les statistiques descriptives semblent montrer un ralentissement pour toutes les orientations dans la condition magno par rapport à la condition non biaisée et ceci est confirmé par l'Anova. Il n'y a pas d'effet significatif d'interaction Condition*Orientation nous autorisant à conclure quant à une réduction du temps de réponse pour les images-miroirs dans la condition magno par rapport à la condition non biaisée. Toutefois, des effets principaux significatifs sont constatés.

Il y a d'une part un effet principal de la condition selon lequel les temps de réponse dans la condition magno sont significativement plus lents que dans la condition non biaisée, toutes orientations confondues. D'autre part, il y a un effet principal de l'orientation d'après lequel l'orientation des stimuli miroirs (OPA et EVA) est discriminée plus rapidement que celle des rotations planes à 40°.

Pour récapituler, nous nous attendions à observer ceci :

$$TR_{miroirs} > TR_{miroirs}$$

Soit une diminution des $TR_{miroirs}$ dans la condition magno par rapport à la condition non biaisée.

Nous constatons en réalité cela :

$$TR_{Magno} > TR_{Non-biaisée} \quad \& \quad TR_{Rotations\ planes} > TR_{miroirs}$$

$$\text{Avec } TR_{40^\circ} > TR_{OPA} > TR_{EVA}$$

Nous remarquons que les stimuli biaisés vers la voie magnocellulaire conduisent à des temps de réponse plus longs que pour les autres conditions, quelle que soit l'orientation. Il semblerait que les stimuli magno soient moins bien perçus par les participants. Nous pouvons donc nous interroger sur la façon dont nous avons biaisé ces stimuli M.

D'une part, le niveau de contraste a été déterminé grâce à une « staircase » sur trois caractères latins équivalents à ceux de la BACS (Vidal et al., 2017) que nous avons sélectionnés. Etant donné que les participants devaient identifier la lettre, il est peu probable qu'ils aient répondu au hasard à cette tâche, ce qui aurait pu conduire à un niveau de contraste trop faible, ne permettant pas la distinction de la figure vis-à-vis du fond dans la tâche principale. Ceci est d'autant moins envisageable qu'aucun participant n'a rapporté ne rien voir lors de la tâche principale et que nous vérifions à plusieurs reprises la qualité des réponses en nous rapprochant du participant.

D'autre part, les images présentées dans cette condition M ont été créées afin de ne garder que 1,5 c/deg car c'est la valeur avancée par Skottun (2000) comme permettant d'activer préférentiellement la voie magnocellulaire. En revanche, dans une revue de littérature parue en 2015, Skottun rapporte que différentes aires de la voie dorsale ne seraient pas sensibles à la même gamme de fréquences spatiales (< 1 c/deg pour l'aire V5 mais jusqu'à 8 c/deg pour l'aire V3A). La fréquence spatiale que nous avons utilisée n'est dès lors peut-être pas adaptée pour toutes les aires cérébrales traitant l'orientation au sein de la voie dorsale.

Par ailleurs, Kveraga et al. (2007) ont obtenu des résultats concluants avec des temps de réponse plus courts pour les stimuli biaisés vers la voie dorsale mais cela s'explique peut-être par la nature de la tâche. De fait, les sujets de Kveraga et al. (2007) devaient porter un jugement sur la taille d'un objet en le comparant à la taille d'une boîte à chaussures. Une identification préalable de l'objet est donc nécessaire, tandis que dans notre expérience, nous demandons aux participants de porter un jugement sur l'orientation de stimuli qui leur sont inconnus. Ils n'ont donc pas de représentations en mémoire qui pourraient faciliter et accélérer le traitement de l'orientation comme ça peut être le cas des participants de Kveraga et al. (2007). Qui plus est, le traitement de la taille d'un objet pourrait ne pas impliquer les mêmes aires de la voie dorsale que le jugement sur l'orientation.

Hypothèse 2-B : Par comparaison à la condition non biaisée, observons-nous une réduction des temps de réponse pour les rotations planes (40°) dans la condition parvo ?

Les statistiques descriptives ne semblent pas aller dans ce sens. En effet, les temps de réponse dans la condition parvo semblent similaires à ceux de la condition non biaisée, bien que légèrement plus lents, avec une distribution semblable concernant les temps de réponse pour les différentes orientations.

D'autant plus que l'Anova n'a pas permis de mettre en évidence un effet d'interaction Condition*Orientation. Il n'est donc pas possible de conclure quant à une réduction du temps de réponse pour les rotations planes dans la condition parvo par rapport à cette même orientation dans la condition non biaisée. Il y a néanmoins des effets principaux de la condition et de l'orientation. Ainsi, les temps de réponse dans la condition parvo sont significativement plus lents que dans la condition non biaisée, toutes orientations confondues. De plus, les temps de réponse sont plus rapides pour les images-miroirs (EVA et OPA) que pour les rotations planes (40°), toutes conditions confondues.

Pour résumer, nous nous attendions à observer ceci :

$$TR_{\text{rotations planes}} > TR_{\text{rotations planes}}$$

Soit une diminution des $TR_{\text{rotations planes}}$ dans la condition parvo par rapport à la condition non biaisée.

Nous observons en réalité cela :

$$TR_{\text{parvo}} > TR_{\text{Non-biaisée}} \quad \& \quad TR_{\text{rotations planes}} > TR_{\text{miroirs}}$$

$$\text{avec } TR_{40^\circ} > TR_{OPA} > TR_{EVA}$$

Les stimuli biaisés vers la voie parvocellulaire sont donc perçus un peu plus lentement que dans la condition contrôle mais plus rapidement que dans la condition magno. De fait, lorsque nous demandions leur avis aux participants en fin de testing, ils rapportaient systématiquement avoir mieux perçu les stimuli P que les stimuli M. Ces stimuli P donnent effectivement l'impression d'être plus saillants et plus facilement visibles d'un point de vue perceptif que les stimuli M. De plus, le fait de présenter les stimuli au centre de la rétine, là où elle est presque uniquement composée de cônes,

favorise l'activation de la voie ventrale car cette voie reçoit des inputs du système magnocellulaire, système chargé de transmettre les informations visuelles en provenance des cônes vers le cortex visuel. Nous étions donc conscients d'introduire ce biais lors de la construction de la tâche. Cependant, nous ne pouvions pas le contrôler car présenter les stimuli sans carré de fixation préalable aurait impliqué une variable supplémentaire de recherche visuelle et donc des latences de réponse plus longues, ne faisant pas uniquement intervenir le jugement sur l'orientation.

L'Anova nous a permis de montrer qu'il y a un effet principal de la condition et que la condition non biaisée (notre condition « contrôle ») est effectivement la condition dans laquelle les participants perçoivent le plus rapidement l'orientation, tandis que la condition magno est significativement plus lente que les conditions non biaisée et parvo.

De plus, si nous revenons aux hypothèses que nous avons posées, nous constatons pour les différentes orientations que les temps de réponse sont toujours relativement similaires dans les différentes conditions (non biaisée, magno et parvo). En effet, il y a un effet principal de l'orientation selon lequel les temps de réponse pour les images-miroirs sont plus courts que ceux pour les rotations planes. Plus précisément, les temps de réponse sont plus courts pour les images-miroirs EVA que pour les OPA, qui sont elles-mêmes plus rapidement perçues que les rotations à 40°. Nous n'observons donc pas de réelle modulation des temps de réponse pour les images-miroirs et les rotations planes en fonction de la condition de présentation des stimuli (respectivement magno et parvo).

Nous constatons néanmoins dans toutes les conditions que les images-miroirs OPA sont perçues plus difficilement que les EVA. Bien que les stimuli soient des lettres artificielles biaisées pour activer la voie magnocellulaire ou parvocellulaire et donc que les conditions de présentation soient différentes, nous répliquons les résultats de différents auteurs ayant montré que le traitement des OPA est plus complexe que celui des EVA chez les individus lettrés (Fernandes et al., 2017 ; Gregory et al., 2011). Le phénomène d'inhibition de la généralisation-miroir semble donc se généraliser à des stimuli « pseudo-linguistiques » présentant les mêmes caractéristiques que les lettres mais sans en être. Ce phénomène ne semble donc pas être sensible à l'identité de la lettre mais bien à une de ses caractéristiques, l'orientation. Dans la même étude que celle citée précédemment, Fernandes et al. (2017) ont montré que les enfants n'étant pas encore entrés dans l'écrit et les adultes illettrés ont des difficultés à discriminer les OPA et les EVA tandis que les enfants lettrés, les adultes anciennement illettrés et les adultes lettrés font plus d'erreurs pour les OPA que pour les EVA. Ces mêmes auteurs observent un lien significatif entre

la connaissance des lettres et la réduction du taux d'erreurs chez les enfants et chez les adultes, mais uniquement pour les EVA. Nous observons effectivement chez nos participants lettrés une difficulté plus grande pour percevoir l'orientation des OPA que celle des EVA.

Il semblerait donc que c'est bien l'apprentissage de l'écrit dans une langue avec des lettres en miroir comme l'alphabet latin qui est à l'origine de la réduction du taux d'erreurs EVA et non pas l'éducation ou le développement de l'individu. D'autant plus que des auteurs comme Danziger & Pederson (cités par Fernandes & Kolinsky, 2013 ; Fernandes et al., 2016 ; Kolinsky et al., 2011) ont montré que des lecteurs du tamoul, un alphabet ne contenant pas de caractères en miroir, ont autant de difficultés que des individus illettrés pour distinguer les images-miroirs. Quelques années plus tard, ces auteurs ont également constaté que des participants tamouls connaissant l'alphabet latin sont meilleurs pour discriminer les images-miroirs que les individus ne connaissant que l'alphabet tamoul (Pederson cité par Kolinsky et al., 2011). Cette observation est donc un élément supplémentaire supportant l'idée que c'est l'apprentissage d'une langue avec des lettres-miroirs qui est à l'origine du désapprentissage de la généralisation-miroir, permettant ainsi la distinction des images-miroirs (Borst, Ahr, Roell, & Houdé, 2015).

Fernandes et al., (2017) concluent que l'hypothèse COR (McCloskey et al., 2006) est tout à fait pertinente et permet d'expliquer pourquoi les erreurs EVA et OPA sont observées dans les mêmes proportions chez les enfants illettrés mais ils ajoutent que cela n'est plus le cas quand l'alphabétisation intervient. En effet, à partir de l'entrée dans l'écrit, le traitement des images-miroirs serait propre au type d'orientation miroir rencontré lors de l'apprentissage de l'alphabet. Ainsi, la réduction d'erreurs EVA observée en parallèle de l'apprentissage de l'alphabet latin serait expliquée par la présence d'un plus grand nombre de lettres-miroirs selon un axe vertical extrinsèque dans cet alphabet, ce qui conduirait donc à un « surentrainement » de ces images-miroirs EVA par rapport à d'autres orientations miroirs comme les OPA. Nous pourrions dès lors rappeler une remarque faite précédemment dans notre étude selon laquelle les images-miroirs EVA et OPA ne sont pas distinguables l'une de l'autre lors d'une présentation verticale de la lettre. Or, Fernandes et al. (2017) répondent à cette critique en rappelant que la lecture est une activité réalisée dans un cadre de référence propre au lecteur et non centré sur la lettre et au cours de laquelle ce sont donc les images-miroirs EVA qui sont entraînées. Les images-miroirs selon un axe vertical extrinsèque (EVA) seraient donc

celles auxquelles nous sommes le plus exposés. Ceci explique pourquoi le taux d'erreurs pour les EVA diminue au cours de l'alphabétisation alors que ce n'est pas le cas des OPA.

Nous pouvons aller plus loin dans ce raisonnement et nous rapprocher de la dyslexie car, en effet, la lecture peut parfois poser problème et conduire à des erreurs miroirs, comme c'est le cas dans certaines dyslexies. Les causes proposées comme étant à l'origine de la dyslexie développementale sont multiples et nous ne nous attarderons pas sur celles-ci dans ce mémoire. Néanmoins, certains auteurs avancent l'hypothèse d'un déficit du système visuel, touchant plus particulièrement la voie magnocellulaire (Barrouillet et al., 2007 ; McLean et al., 2011 ; Stein, 2018, 2019). De fait, des études comportementales ont déjà tenté de prouver l'origine visuelle de la dyslexie avec des études sur le singe (Schiller et al., cités par Stein & Walsh, 1997) ou sur l'humain (Kulikowski & Tolhurst, cités par Stein & Walsh, 1997). Mais les preuves les plus convaincantes de la théorie magnocellulaire de la dyslexie ont été apportées par l'étude de Galaburda, Sherman, Rosen, Aboitiz, & Geschwind (1985). Cette étude porte sur l'analyse post-mortem des cerveaux de 5 personnes dyslexiques. Les auteurs ont montré que dans ces cerveaux, les 2 couches magnocellulaires du corps géniculé latéral sont anormales et que les cellules magnocellulaires sont 20 fois plus petites que celles de cerveaux contrôles. De plus, Milner & Goodale (2008) ont montré que la voie dorsale magnocellulaire utilise des informations issues d'un cadre de référence centré sur l'observateur et donc qu'elle traite les lettres-miroirs selon un axe principal vertical externe, comme c'est le cas dans l'activité de lecture (Fernandes et al., 2017). Il serait donc possible, si cette hypothèse magnocellulaire de la dyslexie se révélait vraie, que le mémoire suivant s'intéressant à une population dyslexique montre des patterns d'erreurs d'orientation différents, avec plus d'erreurs EVA s'il y a effectivement une étiologie magnocellulaire à la dyslexie.

2. LIMITES DE L'ETUDE & PERSPECTIVES FUTURES

Tout d'abord, dans l'épreuve de « contrast sensitivity threshold » servant de prétest, il serait intéressant de savoir quand le participant a répondu au hasard car une réponse aléatoire conduit à la réponse correcte dans 1/3 des cas. Il pourrait donc être utile que le participant ait la possibilité de répondre qu'il ne sait pas afin d'éviter une diminution du seuil de contraste et garantir ainsi un niveau de contraste adéquat, permettant par la suite une bonne discrimination des stimuli magno. De plus, nous n'avons pas réussi à montrer, comme nous le souhaitions, que l'orientation des stimuli miroirs biaisés vers la voie magnocellulaire était perçue plus vite que dans les autres conditions. Nous pourrions donc, dans une étude future, utiliser la sensibilité de la voie magnocellulaire aux fréquences temporelles élevées pour biaiser nos stimuli M vers cette voie en les présentant encore plus rapidement que nous ne l'avons fait dans l'expérience actuelle.

Ensuite, contrairement aux observations de Soares et al. (2019), nous n'avons pas fait de distinction entre une orientation latérale droite ou gauche des premiers stimuli présentés or, selon ces auteurs, les caractères orientés vers la gauche seraient plus susceptibles d'être confondus avec des caractères orientés vers la droite. En effet, des auteurs pensent que parmi les lettres de l'alphabet latin, plus de lettres ont un élément distinctif orienté vers la droite que vers la gauche, ce qui conduirait à un biais d'asymétrie à droite, permettant une identification plus rapide de la lettre si son élément distinctif est à droite (Fischer cité par Soares et al., 2019). Dans notre étude, deux des caractères ont un élément distinctif orienté vers la droite ($\mathfrak{C}$, $\mathfrak{T}$) tandis qu'il est orienté vers la gauche pour le dernier caractère (γ). Il pourrait donc être intéressant, dans une étude future, de contrôler ce paramètre pour les stimuli présentés en comparant les résultats selon ce paramètre ou en ne sélectionnant que des stimuli ayant un élément distinctif à droite.

Une limite supplémentaire porte sur la fatigabilité induite par notre expérience. En effet, celle-ci est longue (1h30) et la passation de la tâche principale dure près d'une heure. Nous avons prévu des pauses entre chacun des 9 blocs pour que les participants puissent se reposer mais tous n'en ont pas profité et il est donc possible qu'une certaine fatigabilité s'installe au cours de la tâche. Nous n'avons pas pris en compte cet élément dans l'analyse de nos données mais il est probable que cela ait impacté nos résultats. Il aurait été difficile d'adapter la tâche et de réduire sa longueur mais il aurait sans doute été préférable de la réaliser en plusieurs fois et d'étaler les testings d'un même participant sur plusieurs jours. Cela introduit néanmoins d'autres aspects de fatigue et de

concentration qui peuvent fluctuer d'un jour à l'autre et donc apporter encore plus de variabilité aux performances des participants.

Enfin, une dernière limite que nous relevons dans notre étude concerne les rotations à 40°. En effet, le fait que la rotation à 40° à partir d'un stimulus oblique à $\pm 20^\circ$ conduise au même résultat qu'une image-miroir OPA suivie d'une EVA ne nous permet pas de tirer de conclusions quant aux rotations planes par rapport aux images-miroirs. En effet, il se pourrait que ces stimuli que nous appelons rotations planes ne soient en fait pas traités comme des rotations planes mais bien comme une succession d'images-miroirs OPA et EVA. Il serait donc intéressant par la suite de reproduire une expérience de jugement de l'orientation similaire, portant sur des stimuli obliques mais en ajoutant une présentation asymétrique $-10^\circ/+30^\circ$ ou $-30^\circ/+10^\circ$ et non plus seulement symétrique $\pm 20^\circ$. Ainsi, nous pourrions certainement observer des résultats différents entre ces 2 rotations planes à 40° selon que la présentation du stimulus oblique soit symétrique ou asymétrique car la présentation asymétrique ne conduira plus au même résultat qu'une succession d'images-miroirs. Nous pourrions également ajouter des stimuli résultant d'orientations mixtes OPA puis EVA afin de voir si les résultats que nous constatons dans l'étude actuelle relèvent plus d'une rotation à 40° ou d'une succession d'images-miroirs.

Bien que les résultats de Fernandes et al. (2017) ne montrent pas d'association entre le taux d'erreurs pour les rotations à 180° et la connaissance des lettres, il pourrait être intéressant d'intégrer, comme l'a fait Gregory (2010, 2011), des rotations à 180° en plus de la rotation à 40° et des images-miroirs (EVA et OPA) à une future expérience. Ceci permettrait de comparer le taux d'erreurs et les temps de réponse entre ces 4 orientations chez des groupes d'enfants lettrés et plus jeunes n'étant pas encore lettrés afin, peut-être, de tirer des conclusions quant à de possibles effets de l'apprentissage de l'écrit pour ces différentes orientations.

3. CONTRIBUTION A LA CLINIQUE ET A LA RECHERCHE

Cette expérience nous a tout d'abord permis de montrer que la voie magnocellulaire, contrairement à ce que nous pensions, n'est pas la voie la plus adaptée pour traiter de l'orientation de stimuli littéraux puisqu'elle conduit aux temps de réponse les plus longs. Ou, tout du moins, elle nous a permis de constater que quelque chose dans notre design expérimental ne nous permettait pas d'activer préférentiellement l'une ou

l'autre voie visuelle comme ont pu le faire d'autres chercheurs (Im et al., 2017 ; Kveraga et al., 2007 ; Thomas et al., 2012).

Ensuite, notre étude réplique et confirme les résultats observés par d'autres auteurs (Fernandes et al., 2017 ; Gregory et al., 2011), à savoir une discrimination des images-miroirs plus complexe pour les OPA que pour les EVA chez les adultes lettrés et ce, même avec nos stimuli qui sont des « fausses-lettres ». La méthodologie de cette étude pourrait ainsi être réutilisée, en l'améliorant bien entendu, pour tenter de répliquer les résultats d'autres auteurs sur des sujets dyslexiques (Fernandes & Leite, 2017 ; Lachmann & van Leeuwen, 2007) ou sur des enfants en cours d'alphabétisation (Fernandes et al., 2017 ; Fernandes & Leite, 2017). Car, de fait, nous avons réussi, avec trois stimuli de la BACS (Vidal et al., 2017), à observer une différence en ce qui concerne le temps de réponse selon les différentes orientations de présentation des stimuli.

De plus, cette expérimentation apporte d'autres questionnements quant à la perception de l'orientation car, contrairement à d'autres auteurs, nous ne constatons pas une discrimination plus facile de l'orientation des rotations planes par rapport aux images-miroirs. Il est donc intéressant de se pencher sur cette particularité de notre expérience et de comprendre pourquoi nous observons cela.

Enfin, une dernière remarque en lien avec la clinique logopédique, qui n'est pas purement un apport de notre expérience mais plutôt une réflexion suite à la revue de la littérature : l'inhibition du processus de généralisation-miroir semble être un élément clé intervenant au cours de l'alphabétisation car des types d'erreurs miroirs différents sont observés en fonction du niveau d'alphabétisation des sujets. Ce mécanisme pourrait donc être à l'origine du problème de discrimination des lettres-miroirs chez certains enfants et il serait dès lors intéressant de réaliser avec eux un travail de rééducation logopédique portant sur la sensibilisation et l'exposition explicite intensive aux lettres-miroirs de l'alphabet latin. Cette perspective n'est qu'une réflexion, qui pourrait être infirmée ou confirmée par une étude de cas.

CONCLUSION

L'objectif de ce mémoire était de déterminer le rôle de la voie magnocellulaire dans la perception de l'orientation des lettres-miroirs via une étude comportementale chez des adultes tout-venant lettrés. Pour ce faire, nous avons créé un design expérimental nous permettant d'étudier cette question en deux temps avec une tâche de jugement sur l'orientation.

Pour commencer, nous nous sommes intéressés aux temps de réponse nécessaires pour discriminer différentes orientations (images-miroirs et rotations planes) dans une condition standard de présentation. Notre hypothèse avançait que les sujets seraient plus lents pour discriminer les images-miroirs OPA que les images-miroirs EVA et que les rotations planes à 40°. Cette hypothèse n'a pas été confirmée et, contrairement aux données issues de la littérature, nous constatons que les réponses sont plus lentes pour les rotations planes que pour les images-miroirs. Cette première étape nous a en outre permis de récolter des temps de réponse dans une condition « contrôle », non biaisée.

Par la suite, nous avons étudié les temps de réponse aux diverses orientations dans deux autres conditions de présentation des stimuli que nous avons comparés à notre condition non biaisée. Ces deux conditions sont la condition magno et la condition parvo, faisant respectivement intervenir préférentiellement la voie magnocellulaire et la voie parvocellulaire. Nous nous attendions à ce que les images-miroirs soient perçues plus rapidement dans la condition magno par rapport au temps mis dans la condition non biaisée et que les rotations planes soient plus rapidement discriminées dans la condition parvo par rapport à la condition contrôle. L'étude n'a pas permis de mettre en évidence cela car il n'y a pas d'effets d'interaction, bien qu'il y ait des effets principaux de la condition et de l'orientation. Les temps de réponse pour les différentes orientations ne sont donc pas modulés en fonction des conditions de présentation comme ce que nous présumions.

Nous constatons néanmoins que la condition non biaisée est bien la condition la plus avantageuse, conduisant aux réponses les plus rapides tandis que la condition magno est la condition où les réponses sont les plus lentes. De plus, il y a le même pattern de distribution des temps de réponse des orientations dans les trois conditions de présentation, les images-miroirs étant perçues plus rapidement que les rotations planes et plus précisément, les EVA étant discriminées plus vite que les OPA.

Nous ne sommes pas parvenus à observer ce que nous prédisions, à savoir que la voie magnocellulaire accélère la perception de l'orientation des lettres-miroirs et que la voie parvocellulaire intervient dans la perception des rotations planes en accélérant le traitement de l'orientation. Cependant, malgré les limites de notre étude, nous répliquons les résultats de certains auteurs avec nos stimuli « pseudo-linguistiques » (Fernandes et al., 2017 ; Gregory et al., 2011) en montrant que les lettres-miroirs EVA sont discriminées plus rapidement que les OPA. Il serait dès lors intéressant de poursuivre ce travail avec d'autres populations, en contrôlant les orientations selon les pistes d'amélioration proposées dans la discussion et en solutionnant la méthodologie permettant de biaiser les stimuli vers l'une ou l'autre voie visuelle corticale.

BIBLIOGRAPHIE

- 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>
- Ahr, E., Houdé, O., & Borst, G. (2017). Predominance of lateral over vertical mirror errors in reading: A case for neuronal recycling and inhibition. *Brain and Cognition*, 116, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.03.005>
- Bach, M. (1996). The Freiburg Visual Acuity Test-automatic measurement of visual acuity. *Optometry and vision science*, 73(1), 49-53.
- Barrouillet, P., Billard, C., de Agostini, M., Démonet, J.-F., Fayol, M., Gombert, J.-E., Habib, M., Le Normand, M.-T., Ramus, F., & Sprenger-Charolles, L. (2007). *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des données scientifiques* [Rapport de recherche - Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM)].
- Borst, G., Ahr, E., Roell, M., & Houdé, O. (2015). The cost of blocking the mirror generalization process in reading: Evidence for the role of inhibitory control in discriminating letters with lateral mirror-image counterparts. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(1), 228-234. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0663-9>
- Cavalli, E., Colé, P., Leloup, G., Poracchia-George, F., Sprenger-Charolles, L., & El Ahmadi, A. (2018). Screening for Dyslexia in French-Speaking University Students: An Evaluation of the Detection Accuracy of the *Alouette* Test. *Journal of Learning Disabilities*, 51(3), 268-282. <https://doi.org/10.1177/0022219417704637>
- Chaisilprungraung, T., German, J., & McCloskey, M. (2019). How are object shape axes defined? Evidence from mirror-image confusions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 45(1), 111-124. <https://doi.org/10.1037/xhp0000592>
- Colblindor. (n.d.). Color arrangement test. [Software]. En ligne <https://www.color-blindness.com/color-arrangement-test/>

- Dehaene, S. (2005). Evolution of human cortical circuits for reading and arithmetic : The “neuronal recycling” hypothesis. In S. Dehaene, J. R. Duhamel, M. Hauser & G. Rizzolatti (Eds.), *From monkey brain to human brain* (p. 133-157). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Duñabeitia, J. A., Molinaro, N., & Carreiras, M. (2011). Through the looking-glass : Mirror reading. *NeuroImage*, 54(4), 3004-3009. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.10.079>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods*, 39(2), 175-191.
- Fernandes, T., Coelho, B., Lima, F., & Castro, S. L. (2017). The handle of literacy : Evidence from preliterate children and illiterate adults on orientation discrimination of graspable and non-graspable objects. *Language, Cognition and Neuroscience*, 33(3), 278-292. <https://doi.org/10.1080/23273798.2017.1283424>
- Fernandes, T., & Kolinsky, R. (2013). From hand to eye : The role of literacy, familiarity, graspability, and vision-for-action on enantiomorphy. *Acta Psychologica*, 142(1), 51-61. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2012.11.008>
- Fernandes, T., & Leite, I. (2017). Mirrors are hard to break : A critical review and behavioral evidence on mirror-image processing in developmental dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, 159, 66-82. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.02.003>
- Fernandes, T., Leite, I., & Kolinsky, R. (2016). Into the Looking Glass : Literacy Acquisition and Mirror Invariance in Preschool and First-Grade Children. *Child Development*, 87(6), 2008-2025. <https://doi.org/10.1111/cdev.12550>
- Ferrera, V. P., Nealey, T. A., & Maunsell, J. H. R. (1992). Mixed parvocellular and magnocellular geniculate signals in visual area V4. *Nature*, 358(6389), 756-758. <https://doi.org/10.1038/358756a0>
- Galaburda, A. M., Sherman, G. F., Rosen, G. D., Aboitiz, F., & Geschwind, N. (1985). Developmental dyslexia : Four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of Neurology*, 18(2), 222-233. <https://doi.org/10.1002/ana.410180210>

- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15(1), 20-25. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(92\)90344-8](https://doi.org/10.1016/0166-2236(92)90344-8)
- Gregory, E., Landau, B., & McCloskey, M. (2011). Representation of object orientation in children : Evidence from mirror-image confusions. *Visual Cognition*, 19(8), 1035-1062. <https://doi.org/10.1080/13506285.2011.610764>
- Gregory, E., & McCloskey, M. (2010). Mirror-image confusions : Implications for representation and processing of object orientation. *Cognition*, 116(1), 110-129. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.04.005>
- Hatfield, M., McCloskey, M., & Park, S. (2016). Neural representation of object orientation : A dissociation between MVPA and Repetition Suppression. *NeuroImage*, 139, 136-148. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.05.052>
- IBM Corp. Released 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Im, H. Y., Adams, R. B., Boshyan, J., Ward, N., Cushing, C. A., & Kveraga, K. (2017). Observer's anxiety facilitates magnocellular processing of clear facial threat cues, but impairs parvocellular processing of ambiguous facial threat cues. *Scientific Reports*, 7(1), 15151. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15495-2>
- Kolinsky, R., Verhaeghe, A., Fernandes, T., Mengarda, E. J., Grimm-Cabral, L., & Morais, J. (2011). Enantiomorphy through the looking glass : Literacy effects on mirror-image discrimination. *Journal of Experimental Psychology: General*, 140(2), 210-238. <https://doi.org/10.1037/a0022168>
- Kveraga, K., Boshyan, J., & Bar, M. (2007). Magnocellular Projections as the Trigger of Top-Down Facilitation in Recognition. *Journal of Neuroscience*, 27(48), 13232-13240. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3481-07.2007>
- Kveraga, K., Ghuman, A. S., & Bar, M. (2007). Top-down predictions in the cognitive brain. *Brain and Cognition*, 65(2), 145-168. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.06.007>
- Lachmann, T., & Geyer, T. (2003). *Letter Reversals in Dyslexia : Is the Case Really Closed? A Critical Review and Conclusions*.

- Lachmann, T., & van Leeuwen, C. (2007). Paradoxical Enhancement of Letter Recognition in Developmental Dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 31(1), 61-77. https://doi.org/10.1207/s15326942dn3101_4
- Lefavrais, P. (1967). *Test de l'Alouette* [Texte & questionnaire]. Paris : Editions du centre de psychologie appliquée.
- Lefavrais, P. (2005). *Alouette-R: test d'analyse de la vitesse en lecture à partir d'un texte* [Texte & questionnaire]. Paris : Éditions du centre de psychologie appliquée.
- Mahon, B. Z., Kumar, N., & Almeida, J. (2013). Spatial Frequency Tuning Reveals Interactions between the Dorsal and Ventral Visual Systems. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(6), 862-871. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00370
- Martinaud, O., Mirlink, N., Bioux, S., Bliaux, E., Champmartin, C., Pouliquen, D., Cruyppeninck, Y., Hannequin, D., & Gérardin, E. (2016). Mirrored and rotated stimuli are not the same : A neuropsychological and lesion mapping study. *Cortex*, 78, 100-114. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.03.002>
- McCloskey, M. (2004). Spatial Representations and Multiple-Visual-Systems Hypotheses : Evidence from a Developmental Deficit in Visual Location and Orientation Processing. *Cortex*, 40(4-5), 677-694. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70164-3](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70164-3)
- McCloskey, M. (2009). *Visual reflections: A perceptual deficit and its implications*. Oxford University Press.
- McCloskey, M., Valtonen, J., & Cohen Sherman, J. (2006). Representing orientation : A coordinate-system hypothesis and evidence from developmental deficits. *Cognitive Neuropsychology*, 23(5), 680-713. <https://doi.org/10.1080/02643290500538356>
- McLean, G. M. T., Stuart, G. W., Coltheart, V., & Castles, A. (2011). Visual temporal processing in dyslexia and the magnocellular deficit theory : The need for speed? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 37(6), 1957-1975. <https://doi.org/10.1037/a0024668>
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2008). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46(3), 774-785. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.10.005>

- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, 6, 414-417. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(83\)90190-X](https://doi.org/10.1016/0166-2236(83)90190-X)
- Pegado, F., Comerlato, E., Ventura, F., Jobert, A., Nakamura, K., Buiatti, M., Ventura, P., Dehaene-Lambert, G., Kolinsky, R., Morais, J., Braga, L.W., Cohen, L., & Dehaene, S. (2014). Timing the impact of literacy on visual processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(49), E5233-E5242. <https://doi.org/10.1073/pnas.1417347111>
- Pegado, F., Nakamura, K., Braga, L. W., Ventura, P., Nunes Filho, G., Pallier, C., Jobert, A., Morais, J., Cohen, L., Kolinsky, R., & Dehaene, S. (2014). Literacy breaks mirror invariance for visual stimuli: A behavioral study with adult illiterates. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(2), 887-894. <https://doi.org/10.1037/a0033198>
- Peirce, J. W., & MacAskill, M. R. (2018). *Building experiments in PsychoPy*. London: Sage.
- Peirce, J. W., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Höchenberger, R., Sogo, H., Kastman, E., & Lindeløv, J. K. (2019). PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior research methods*, 51(1), 195-203.
- Ramus, F. (2005). De l'origine biologique de la dyslexie. *Psychologie & education*, 60(81-96), 8.
- Rice, N. J., Valyear, K. F., Goodale, M. A., Milner, A. D., & Culham, J. C. (2007). Orientation sensitivity to graspable objects: An fMRI adaptation study. *NeuroImage*, 36, T87-T93. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.03.032>
- Rose, D. (2006). Psychophysical Methods. In G. M. Breakwell, C. Fife-Schaw, S. M. Hammond, & J. Smith (Eds.) (2006). *Research Methods in Psychology: 3rd edition* (pp. 160-181). London, U. K.: Sage Publications.
- Rusiak, P., Lachmann, T., Jaskowski, P., & van Leeuwen, C. (2007). Mental Rotation of Letters and Shapes in Developmental Dyslexia. *Perception*, 36(4), 617-631. <https://doi.org/10.1068/p5644>

- Silverthorn, D. U. (2007). *Physiologie humaine : Une approche intégrée*. Pearson Education France.
- Syndicat National des Ophtalmologistes de France. (n.d.). *Acuité visuelle*. En ligne <https://www.snof.org/encyclopedia/acuite-visuelle>, consulté le 6 juin 2019.
- Skottun, B. C. (2015). On the use of spatial frequency to isolate contributions from the magnocellular and parvocellular systems and the dorsal and ventral cortical streams. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 56, 266-275. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.07.002>
- Skottun, B. C., & Skoyles, J. R. (2011). On Identifying Magnocellular and Parvocellular Responses on the Basis of Contrast-Response Functions. *Schizophrenia Bulletin*, 37(1), 23-26. <https://doi.org/10.1093/schbul/sbq114>
- Skottun, B. C. (2000). The magnocellular deficit theory of dyslexia : The evidence from contrast sensitivity. *Vision Research*, 40(1), 111-127. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(99\)00170-4](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(99)00170-4)
- Soares, A. P., Lages, A., Oliveira, H., & Hernández, J. (2019). The mirror reflects more for d than for b : Right asymmetry bias on the visual recognition of words containing reversal letters. *Journal of Experimental Child Psychology*, 182, 18-37. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.01.008>
- Stein, J. (2018). What is Developmental Dyslexia? *Brain Sciences*, 8(2), 26. <https://doi.org/10.3390/brainsci8020026>
- Stein, J. (2019). The current status of the magnocellular theory of developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 130, 66-77. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.022>
- Stein, J., & Walsh, V. (1997). To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neurosciences*, 20(4), 147-152. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(96\)01005-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(96)01005-3)
- Thomas, C., Kveraga, K., Huberle, E., Karnath, H.-O., & Bar, M. (2012). Enabling global processing in simultanagnosia by psychophysical biasing of visual pathways. *Brain*, 135(5), 1578-1585. <https://doi.org/10.1093/brain/aws066>

- Valyear, K. F., Culham, J. C., Sharif, N., Westwood, D., & Goodale, M. A. (2006). A double dissociation between sensitivity to changes in object identity and object orientation in the ventral and dorsal visual streams: A human fMRI study. *Neuropsychologia*, 44(2), 218-228. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.05.004>
- Vidal, C., Content, A., & Chetail, F. (2017). BACS: The Brussels Artificial Character Sets for studies in cognitive psychology and neuroscience. *Behavior Research Methods*, 49(6), 2093-2112. <https://doi.org/10.3758/s13428-016-0844-8>

ANNEXES

ANNEXE I : FORMULAIRE DE CONSENTEMENT ECLAIRE

UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Institut de Recherches en Sciences Psychologique (IPSY)
Unité de Neurosciences Cognitives (NEUROCS)
10, Place du Cardinal Mercier, 1348 Louvain-la-Neuve

Personne de contact pour l'étude : VANNUSCORPS Gilles (010/47.89.26.)

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (adultes)

"Etude comportementale - Perception de l'orientation des objets "

Je, soussigné(e)
né(e) à le
domicilié(e) à (adresse complète)
..... tel.:

déclare par la présente marquer mon accord pour participer en tant que sujet volontaire à l'étude précitée menée par l'Institut de Recherche en Sciences Psychologiques (IPSY) de l'Université Catholique de Louvain. Cette étude a pour objectif d'étudier les processus impliqués dans la perception de l'orientation des objets.

J'ai bien compris le but et le déroulement de l'étude qui m'ont été exposés. J'ai notamment été informé que l'étude comporte de la présentation d'images représentant des objets ou des lettres et formes géométriques. Cette étude ne comporte aucun risque, et le seul inconfort éventuel est la fatigue et/ou lassitude due à la durée de l'expérience (environ 1h).

Les laboratoires sont soumis aux procédures de protection en vigueur à l'Université catholique de Louvain. Le protocole de cette étude a reçu l'aval de la Commission d'éthique de l'Institut de Recherche en Sciences Psychologiques (IPSY).

La réglementation en matière de protection de la vie privée sera respectée. L'étude est couverte par une assurance de type sans faute conformément à la loi de Mai 2004 sur les expériences portant sur la personne humaine.

Je suis conscient que je peux retirer mon consentement à tout moment, sans en subir aucune conséquence; je m'engage cependant à en avertir les expérimentateurs le plus tôt possible. Je reconnais aux expérimentateurs le droit d'interrompre ma participation à l'étude pour tout motif qui leur semblera justifié.

J'ai été informé que je peux contacter le responsable de l'expérience pour toute question ou insatisfaction relative à ma participation à l'expérience. Je peux aussi contacter Jan de Mol (bureau E209) si je veux discuter de problèmes liés à ma participation.

J'accepte / n'accepte pas (biffer la mention inutile) d'être recontacté pour une évaluation supplémentaire, sans finalement être dans l'obligation de participer.

Il a été convenu avec le responsable de l'expérience que je recevrai des **crédits de participation** à la fin de l'étude, après en avoir effectué toutes les étapes.

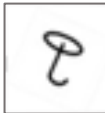
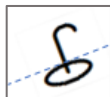
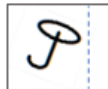
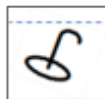
Fait à, le

Signatures (faire précéder de la mention "lu et approuvé"):

le sujet volontaire :

le responsable de l'expérience :

ANNEXE II : ERREURS D'ORIENTATION POTENTIELLES SELON L'HYPOTHESE COR

Erreurs potentielles			 Stimulus standard
Erreurs liées à la mise en correspondance des 2 axes de référence (PVSH ou PHSV)⇔ Erreurs de rotation plane	Erreurs de direction de l’inclinaison par rapport à l’axe extrinsèque.		
	Erreurs d’amplitude de l’inclinaison vis-à-vis du stimulus standard.		
Erreurs liées à la correspondance des polarités entre les 2 axes de référence ⇔ Erreurs-miroirs	Réflexion du stimulus standard à travers un <i>axe de l’objet</i>	OPA : Réflexion à travers l’axe principal de l’objet	
		OSA : Réflexion à travers l’axe secondaire de l’objet	
	Réflexion du stimulus standard à travers un <i>axe externe orthogonal</i>	EVA : Réflexion à travers un axe externe vertical	
		EHA : Réflexion à travers un axe externe horizontal	

ANNEXE III : DESIGN 3x3 ET REPARTITION DES DIFFERENTS ESSAIS

		ORIENTATION												TOTAL				
		Standard / identiques			Total	EVA			Total	OPA			Total	40°			Total	
CONDITION	Non-biaisée	12	12	12	36	9	0	9	24	8	8	8	24	8	8	8	24	108
	Magno	12	12	12	36	9	0	9	24	8	8	8	24	8	8	8	24	108
	Parvo	12	12	12	36	9	0	9	24	8	8	8	24	8	8	8	24	108
TOTAL		108				72				72				72				324

ANNEXE IV : STATISTIQUES DESCRIPTIVES SUR NOS TROIS CARACTERES

		Réponse observée		Total
		Mauvaise réponse	Bonne réponse	
firstStimulus	Effectif $\mathfrak{C}$	78	3594	3672
	% dans first stim	2,1%	97,9%	100%
	Effectif $\mathfrak{D}$	123	3549	3672
	% dans first stim	3,3%	96,7%	100%
	Effectif $\mathfrak{J}$	89	3583	3672
	% dans first stim	2,4%	97,6%	100%
Total	Effectif	290	10726	11016
	% dans first stim	2,6%	97,4%	100%

Tableau croisé firstStimulus*Réponse effective.

Les participants semblent très bons pour les différents stimuli.

Temps de réponse			
firstStimulus	N	Moyenne	Ecart type
b	2326	,5995943829	,1392325282
d	2248	,6206318498	,1482135285
j	2324	,5833133230	,1403586204
Total	6898	,6009650762	,1433836299

Tableau récapitulatif des temps de réponse pour les différents caractères.

Ils semblent plus rapides pour le stimulus d ($\mathfrak{D}$) que pour les autres stimuli. Le stimulus j ($\mathfrak{J}$) est celui pour lequel les temps de réponse semblent les plus longs.

La littérature relève des difficultés de perception de l'orientation des images-miroirs dans plusieurs populations comme les personnes en cours d'alphabétisation, les dyslexiques, les patients cérébro-lésés ou encore les individus dans des situations contraignantes. Or, des études de cas et de neuroimagerie semblent mettre en évidence une implication de la voie magnocellulaire dans la perception de l'orientation des images-miroirs.

Ainsi, dans cette étude comportementale, nous nous interrogeons quant au rôle de la voie magnocellulaire dans la perception de l'orientation des lettres-miroirs. Nous avons pour cela créé un design expérimental qui a été proposé à 34 individus tout-venant. L'expérience est constituée de plusieurs épreuves, la tâche principale étant une tâche de décision sur l'orientation de stimuli, à savoir des lettres artificielles. Les orientations peuvent être de trois sortes : deux types de lettres miroirs ou une rotation plane à 40°. La stratégie utilisée consiste à étudier ces différentes orientations dans trois conditions de présentation faisant intervenir les deux voies visuelles corticales simultanément ou bien préférentiellement l'une ou l'autre.

En ce qui concerne les résultats, nous nous attendions à une réduction du temps de réponse pour le jugement sur l'orientation des images-miroirs dans la condition magnocellulaire et à une réduction du temps de réponse dans la condition parvocellulaire pour les rotations planes, en comparaison des temps de réponse pour ces orientations dans la condition non biaisée. Ce n'est pas ce que nous observons car les analyses statistiques ne mettent pas en évidence d'effets d'interaction de la condition et de l'orientation. Il y a en revanche des effets principaux pour ces deux variables. En effet, les temps de réponse dans la condition magnocellulaire sont significativement plus longs que dans la condition parvocellulaire, eux-mêmes plus lents que dans la condition non biaisée, toutes orientations confondues. De plus, les temps de réponse diffèrent également significativement en fonction des différentes orientations, l'orientation des images-miroirs étant plus rapidement perçue que celle des rotations planes quelle que soit la condition de présentation des stimuli.