



HAL
open science

Traitements visuels précoces du langage écrit : études chez l'enfant et l'adulte jeune

Théodora Vahine

► **To cite this version:**

Théodora Vahine. Traitements visuels précoces du langage écrit : études chez l'enfant et l'adulte jeune. Psychologie. Université de Bordeaux, 2017. Français. NNT : 2017BORD0857 . tel-02412885

HAL Id: tel-02412885

<https://theses.hal.science/tel-02412885>

Submitted on 16 Dec 2019

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

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

THÈSE PRÉSENTÉE
POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

ÉCOLE DOCTORALE : SOCIÉTÉS, POLITIQUE, SANTÉ PUBLIQUE (SP2)

EA 4139 – LABORATOIRE DE PSYCHOLOGIE, LABPSY

SPÉCIALITÉ : Psychologie et Neuropsychologie Cognitives

Par Théodora VAHINE
née le 19/10/1988 à Papeete (987)

**TRAITEMENTS VISUELS PRÉCOCES DU LANGAGE ÉCRIT :
ÉTUDES CHEZ L'ENFANT ET L'ADULTE JEUNE**

Sous la direction de Jean-Noël FOULIN & Sandrine DELORD

Soutenue publiquement le 15/12/2017 à 10h

Membres du jury :

Mme BOUCART, Muriel	DR.	CNRS, Université de Lille	Rapporteur
M. ZAGAR, Daniel	PR.	Université de Lorraine	Rapporteur
M. LENOBLE, Quentin	MCF	Université de Lille	Examineur
Mme MATHEY, Stéphanie	PR.	Université de Bordeaux	Examineur
M. FOULIN, Jean-Noël	MCF-HDR	Université de Bordeaux	Directeur
Mme DELORD, Sandrine	MCF	Université de Bordeaux	Co-encadrante

REMERCIEMENTS

Un grand merci à ceux qui ont œuvré de près ou de loin à l'élaboration de ce travail de thèse !

Tout d'abord, je tiens à remercier chaleureusement mes directeurs, Jean-Noël Foulin et Sandrine Delord, pour m'avoir offert cette opportunité. Merci, Jean-Noël, d'avoir rendu cette collaboration possible. Merci pour ta patience et ton implication, et surtout, merci de m'avoir réconciliée avec les aspects développementaux en Psychologie. Merci Sandrine de m'avoir transmise cette passion de la recherche et de la vision, de m'avoir guidée et de ton soutien indéfectible. Merci d'avoir cru en moi. J'ai énormément appris à vos côtés ... et pour tout ce que j'aurais omis de mentionner, MERCI !

Je remercie également Muriel Boucart, Daniel Zagar, Stéphanie Mathey et Quentin Lenoble d'avoir accepté de juger mon travail et de former mon jury de thèse. J'en suis très touchée.

Je tiens à remercier l'ensemble des participants qui ont acceptés de prendre part aux différentes études de ce travail de recherche. Merci aux étudiants, aux enfants ainsi qu'à leurs parents, et aussi aux instituteurs et aux directeurs d'écoles.

Mes remerciements vont également à toute l'équipe de Psychologie Cognitive : Stéphanie, Virginie, Christelle, Gaël, Anna-Malika, Johann, Françoise, Amandine, Séverine et Claire. Vous avez rendu ce parcours plus agréable et surtout encore plus enrichissant. Un merci tout particulier à Stéphanie, qui m'a aussi accompagnée d'une certaine façon tout au long depuis le M2R. Merci pour tes précieux conseils et pour ton implication.

Merci à l'université de Bordeaux, et particulièrement au département SHS, de m'avoir accueillie il y a presque 10 ans maintenant, ainsi que notre Laboratoire de Psychologie, EA4139, pour m'avoir donné une place en son sein et de nous accompagner, nous les doctorants, dans cette aventure doctorale. Plus particulièrement, merci à nos *wonder women* de l'administration, qui m'ont très souvent aidée et accompagnée : Najat, Fabienne, Elizabeth, Sylvie, Sandrine C., Denise et Ghislaine. Une pensée particulière à mon Phiphi, Karine et Anastasia du BVE pour tous ces échanges pleins de tendresses, et de me compter comme une des vôtres. Merci également à Barbara et Marilyne de m'avoir permis de me sustenter dans la bonne humeur !

Un grand merci aux copains doctorants et amis pour cette grande aventure ensemble. Merci pour les fous rires, les partages et votre soutien, malgré ma présence souvent discrète. Je fais un câlin tout particulier à mes complices du M2R chers à mon cœur (Marsou, Chouchouette, Poirier, ma Hanh et le Soleil), sans qui rien n'aurait été pareil. J'adresse une énorme tendresse pour Sam, mon compagnon de fortune, et les copains de bureau qui m'ont supporté (Aurélien puis Benjamin et enfin Gui). Enfin, un merci ne serait pas suffisant pour vous exprimer ma gratitude et mon amitié, Mimi et Gui. Alors j'attends nos prochaines aventures avec impatience ...

Je souhaite également remercier ma famille et mes amis pour leur soutien indéfectible et surtout pour m'avoir donné les moyens de croire et de réaliser mes envies. Maman, ma Fripouille, Pépé et Mémé, Papa, Mona et Max, Vivi ... et tous les membres de cette grande famille du bonheur aux quatre coins de la Terre ... Je vous aime !

Enfin à toi Jonathan, qui a vécu et survécu à cette aventure, et qui mérite plus que de raison le titre de Docteur de mon cœur, MERCI. « Après tout ce temps ... pour toujours » me paraît encore plus approprié ...

Comme les mots me manquent et que j'ai très certainement oublié certaines personnes, n'en soyez pas offensés. Merci à tous, qui faites battre mon cœur et élever mon esprit !

Je dédie ce travail à trois personnes qui ont bouleversé ma vie. À toi, Parrain, qui est parti bien trop tôt. À toi, tatie Michèle, mon ange de lumière. Grâce à toi, j'ai toujours voulu comprendre cette belle machine qu'est notre cerveau. Il m'aura juste fallu un peu de temps pour trouver comment. Et enfin, à toi, Vaimiti, puisses-tu te rappeler qu'avec le cœur, tout est possible et qu'il suffit de s'en donner les moyens. Alors n'oublie jamais de rêver ...

Te faaoti nei au i teie rata ma te mauruuru rahi no roto mai i to'u mau manao atoa ma te mauruuru rahi o te aau ! E ia haamaitai mai te Fatu ia outou paatoa na.

Titre : Traitements visuels précoces du langage écrit : études chez l'enfant et l'adulte jeune

Résumé :

L'objectif de ce travail de thèse était d'étudier l'implication des systèmes visuels magnocellulaire et parvocellulaire dans le traitement de langage écrit, spécialement dans l'identification des mots. Quatre études expérimentales ont été réalisées afin de documenter le rôle respectif de ces deux systèmes pour différentes composantes de la structure du mot écrit, la lettre (Etude 1), la longueur du mot (Etude 2) et l'enveloppe du mot (Etude 3), ainsi que le voisinage orthographique (Etude 4). La dissociation des deux sous-systèmes visuels se fondait sur leurs caractéristiques fonctionnelles spécifiques : sensibilité aux fréquences spatiales basses et au contraste de luminance pour le système magnocellulaire ; sensibilité aux fréquences spatiales moyennes et élevées et au contraste chromatique pour le système parvocellulaire. Les participants étaient des adultes jeunes normolecteurs et des enfants de 10-11 ans, lecteurs novices, afin d'envisager l'implication de chaque système visuel à deux étapes de leur développement : maturité chez l'adulte jeune ; en cours de maturation chez l'enfant. Les résultats ont confirmé le rôle prépondérant des traitements parvocellulaires, ce qui corroborait le privilège accordé au traitement des lettres et traits des lettres dans la reconnaissance visuelle des mots. Le traitement de la longueur du mot s'est en revanche révélé être une dimension sélectivement magnocellulaire. L'ensemble des résultats est discuté dans le cadre de l'approche *coarse-to-fine*.

Mots-clés : psychophysique visuelle, magnocellulaire, parvocellulaire, langage écrit, identification de mot, lettre.

Title: Early visual processes in written language : studies in children and young adults

Abstract:

The main objective was to study the implication of the magnocellular and the parvocellular visual systems in written language processing, specifically in word identification. Four studies were carried out to document the respective roles of these two systems, for different components of the written word structure, the letter (Study 1), the word length (Study 2), the word shape (Study 3) and the orthographic neighborhood (Study 4). The dissociation of the two visual systems was based on their specific functional characteristics: sensitivity to low spatial frequencies and luminance contrast for the magnocellular system; and sensitivity to medium and high spatial frequencies and chromatic contrast for the parvocellular system. The participants were young adult normal readers and 10-11 years-old children, novice readers, in order to consider the involvement of each visual system at two stages of their development: mature in young adults while still maturing in the children. The results confirmed the prominent role of parvocellular processing, which was consistent with the privilege accorded to the processing of letters and letters features in visual word recognition. On the other hand, word length processing has been shown to be a selectively magnocellular dimension. All results are discussed in the framework of the coarse-to-fine approach.

Key-words: visual psychophysics, magnocellular, parvocellular, written language, word identification, letter.

Unité de Recherche

Laboratoire de Psychologie, LABPSY, EA4139
3 ter Place de la Victoire, Bâtiment A - 1er étage
33076 Bordeaux CEDEX

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	III
RESUME & ABSTRACT	V
LISTE DES FIGURES	VIII
LISTE DES TABLEAUX	XI
LISTE DES ABREVIATIONS	XII
INTRODUCTION	1
PARTIE I : CADRE THEORIQUE	6
CHAPITRE 1 : LE SYSTEME VISUEL	6
1.1. Généralités	7
1.1.1. De la rétine au cortex visuel	7
1.1.2. Le cortex visuel.....	11
1.1.3. Plusieurs voies visuelles	12
1.2. Dissociation en deux sous-systèmes	13
1.2.1. Caractéristiques et spécificités fonctionnelles	14
1.2.2. Deux voies corticales	16
1.2.3. Aspects développementaux.....	20
1.2.4. Les systèmes M et P.....	22
1.2.4.1. Filtrage des fréquences spatiales	23
1.2.4.2. Paradigme d'isoluminance et de contraste.....	26
1.3. La reconnaissance d'objet	28
1.3.1. Modèles de reconnaissance visuelle d'objets	28
1.3.2. Intégration des systèmes M et P.....	30
1.3.3. Traitement global vs. Traitement local de l'objet	34
CHAPITRE 2 : LE LANGAGE ECRIT	40
2.1. Reconnaissance visuelle de mots	40
2.1.1. Codage de l'identité et de la position des lettres dans les mots.....	41
2.1.2. Traitements visuels précoces	44
2.1.3. Spécificité du pseudomot	48
2.2. Lecture	49
2.2.1. Acquisition normale	50
2.2.2. Trouble développemental de la lecture.....	52
2.2.2.1. Sous-types de dyslexie.....	54
2.2.2.2. Théories explicatives et la théorie du déficit M.....	55
2.3. Manipulation du langage écrit	57
2.3.1. Décision lexicale.....	57
2.3.2. Amorçage conscient et amorçage inconscient	58
2.3.3. Précautions à prendre lors de la manipulation des mots écrits	61
CHAPITRE 3 : LES IMPLICATIONS DES SYSTEMES M ET P DANS LE TRAITEMENT DU LANGAGE ECRIT	64
3.1. Chez le lecteur dyslexique	64
3.2. Chez le normolecteur	67
3.2.1. Au niveau de la lettre.....	67

3.2.2.	Au niveau du mot.....	68
3.2.3.	Traitement global vs. Traitement local du mot.....	72
3.3.	<i>L'aire cérébrale de la forme visuelle des mots</i>	73
PROBLEMATIQUE.....		76
PARTIE 2 : PARTIE EMPIRIQUE.....		80
PREROGATIVES EXPERIMENTALES.....		80
<i>Informations relatives aux participants</i>		80
<i>Informations relatives aux protocoles expérimentaux</i>		81
<i>Informations relatives aux traitements statistiques</i>		81
CHAPITRE 4 : LA LETTRE (ETUDE 1).....		82
4.1.	<i>Introduction</i>	82
4.2.	<i>Filtrage de fréquences spatiales (Expérience 1.1.)</i>	87
4.3.	<i>Paradigme d'isoluminance et de contraste (Expérience 1.2.)</i>	101
4.4.	<i>Conclusion</i>	106
CHAPITRE 5 : LA FORME GLOBALE DU MOT ECRIT.....		110
5.1.	<i>La longueur du mot (Etude 2)</i>	110
5.1.1.	<i>Introduction</i>	110
5.1.2.	<i>Vision normale chez l'adulte (Expérience 2.1.)</i>	117
5.1.3.	<i>Paradigme d'isoluminance et de contraste chez l'adulte (Expérience 2.2.)</i>	131
5.1.4.	<i>Chez l'enfant (Expérience 2.3.)</i>	145
5.1.5.	<i>Conclusion</i>	155
5.2.	<i>L'enveloppe du mot (Etude 3)</i>	158
5.2.1.	<i>Introduction</i>	158
5.2.2.	<i>Vision normale chez l'adulte</i>	166
5.2.2.1.	<i>Amorçage conscient (Expérience 3.1.)</i>	166
5.2.2.2.	<i>Amorçage masqué inconscient (Expérience 3.2.)</i>	175
5.2.3.	<i>Paradigme d'isoluminance et de contraste chez l'adulte (Expérience 3.3.)</i>	179
5.2.4.	<i>Chez l'enfant (Expérience 3.4.)</i>	186
5.2.5.	<i>Conclusion</i>	194
CHAPITRE 6 : LE VOISINAGE ORTHOGRAPHIQUE (ETUDE 4).....		197
6.1.	<i>Introduction</i>	197
6.2.	<i>Filtrage de fréquences spatiales (Expérience 4.1.)</i>	201
6.3.	<i>Paradigme d'isoluminance et de contraste (Expérience 4.2.)</i>	212
6.4.	<i>Conclusion</i>	218
DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE.....		221
REFERENCES.....		230
ANNEXES.....		278

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1.</i> Représentations des projections depuis la rétine (1) jusqu'aux couches magno- et parvocellulaires du CGL (2). Depuis le CGL, les entrées visuelles sont projetées jusqu'au cortex visuel primaire (3). Les projections continuent ensuite depuis V1 jusqu'à V2 (4) puis se dissocient selon deux voies : les voies ventrale (5) et dorsale (6). Figure modifiée d'après Wurtz et Kandel (2000).	13
<i>Figure 2.</i> Exemples d'images présentant 2 zones qui s'opposent par un contraste de luminance fort (A) ou faible (B) ou par un contraste chromatique et un contraste de luminance (fort : C, et faible : D) ou bien par un contraste chromatique seul (E). Pour construire ce dernier stimulus dit « isoluminant », la luminance du rouge a été augmentée pour correspondre à celle du vert ; dans ce cas, une conversion en image noire/blanc montrerait une seule large plage grise sans transition entre les barres.....	15
<i>Figure 3.</i> Exemples de représentations de fréquences spatiales basses (A), élevées (B), et d'un filtrage de fréquences spatiales d'une image : avec l'image originale non filtrée (C), l'image filtrée passe-bande (D) et l'image filtrée passe-bas (E).....	24
<i>Figure 4.</i> Caractéristiques du filtrage passe-bas.	25
<i>Figure 5.</i> Caractéristiques du filtrage passe-bande.	25
<i>Figure 6.</i> Illustration du modèle de reconnaissance visuelle d'objets proposé par Bar (2004).	32
<i>Figure 7.</i> Exemple d'une figure géométrique impossible. Figure modifiée d'après Pomerantz (2007).	35
<i>Figure 8.</i> Triangle virtuel de Kanisza. Figure modifiée d'après Pomerantz (2007).	36
<i>Figure 9.</i> Exemples de stimuli utilisés dans une tâche de traitement global/local. Le niveau global ou local doit être identifié (les lettres « H » ou « S »). Les stimuli peuvent être congruents (la même lettre est présentée aux niveaux global et local) ou incongruents (avec des lettres différentes présentées). Figure modifiée d'après (Zmigrod, Zmigrod, & Hommel, 2015).....	37
<i>Figure 10.</i> Illustration partielle de la voie de reconnaissance visuelle des mots issue du modèle de McClelland et Rumelhart (1981). Les flèches pointues et les flèches arrondies désignent respectivement les connexions activatrices et inhibitrices.....	42
<i>Figure 11.</i> Exemples des filtrages utilisés par Boden & Giaschi (2009), avec une image non filtrée (A), filtrée double (B), filtrée passe-bas (C) et filtrée passe-bande (D).	70
<i>Figure 12.</i> Listes des paires de lettres de l'étude 1.	89
<i>Figure 13.</i> Exemples de stimuli pour l'expérience 1.1. avec la paire "BB" dans les différentes conditions, a) non filtrée, b) filtrée passe-bande avec un filtre d'une largeur de 19.2 cpd centré sur 17.5 cpd, c) filtrée passe-bas avec un filtre d'une largeur de 2.2 cpd et d) filtrée double avec un filtre comprenant les deux filtres précédents.....	90

<i>Figure 14.</i> Séquence de trois évènements pour un essai avec pour exemple la paire BB ici présenté en condition non filtrée pour l'étude 1	91
<i>Figure 15.</i> Effet d'interaction entre le type de paire et la casse sur le TRC (Expérience 1.1.)	93
<i>Figure 16.</i> Effet d'interaction entre le type de paire et la casse pour les stimuli filtrés sur le TRC (Expérience 1.1.)	94
<i>Figure 17.</i> Effet d'interaction entre le type de paire, la casse et le filtre sur le TRC (Expérience 1.1.).....	95
<i>Figure 18.</i> Exemples du stimulus <i>BB</i> selon les deux conditions visuelles de présentation pour l'expérience 1.2. : a) en condition stimuli isoluminants, écrit en rouge sur fond vert (1.23 cd/m ²) ; b) condition faible contraste, écrit en gris clair sur gris foncé avec un contraste de Michelson de 6.3%. La qualité de l'impression ne permet pas de rendre compte de façon fidèle des valeurs et des couleurs utilisées dans l'expérience.	103
<i>Figure 19.</i> Effet d'interaction entre le type de paire et la casse sur le TRC (Expérience 1.2.)	105
<i>Figure 20.</i> Exemples de stimuli : le mot <i>chien</i> et le pseudomot <i>dondetier</i> dans l'étude 2. ...	122
<i>Figure 21.</i> Exemple d'une séquence d'évènements pour un essai avec le mot <i>chien</i> comme exemple pour l'étude 2.....	123
<i>Figure 22.</i> Effet principal de la longueur de l'amorce sur le %E et le TRC pour les mots (Expérience 2.1.)	125
<i>Figure 23.</i> Effet principal de la longueur de l'amorce sur le %E et le TRC pour les pseudomots (Expérience 2.1.)	126
<i>Figure 24.</i> Exemples du stimulus <i>chien</i> selon les deux conditions visuelles de présentation pour l'expérience 2.2. : a) en condition stimuli isoluminants, écrit en rouge sur fond vert (1.23 cd/m ²) ; b) condition faible contraste, écrit en gris clair sur gris foncé avec un contraste de Michelson de 6.3%. À noter que la qualité de l'impression ne permet de rendre compte de façon fidèle des valeurs et des couleurs utilisées dans l'expérience.	133
<i>Figure 25.</i> Effet d'interaction entre la longueur de la cible et la condition visuelle sur le TRC pour les mots (Expérience 2.2.).....	135
<i>Figure 26.</i> Effet d'interaction entre la longueur de l'amorce, la longueur de la cible et la condition visuelle sur le %E et le TRC sur le %E et le TRC pour les mots (Expérience 2.2.).....	136
<i>Figure 27.</i> Effet principal de la longueur de l'amorce sur le %E pour les pseudomots (Expérience 2.2.)	136
<i>Figure 28.</i> Effet d'interaction entre la longueur de l'amorce, la longueur de la cible et la condition visuelle sur le %E et le TRC pour les pseudomots (Expérience 2.2.).....	137
<i>Figure 29.</i> Effet principal de la longueur de l'amorce sur le TRC pour les pseudomots en condition contrôle (Expérience 2.3.)	150
<i>Figure 30.</i> Effet d'interaction entre la longueur de l'amorce, la longueur de la cible et la condition de présentation sur le %E pour les mots en conditions visuelles dégradées (Expérience 2.3.)	154
<i>Figure 31.</i> Exemples originaux avec le mot " <i>bring</i> " : a) avec les caractéristiques internes et externes, b) les caractéristiques externes uniquement et c) les caractéristiques internes uniquement ; d'après Beech et Mayall (2005).	160

<i>Figure 32.</i> Illustration des matrices de pixels utilisées, constituant l’enveloppe présentée en amorce, pour chaque type de lettre (lettre neutre, ascendante, descendante et marquée, comme le i) ; et pour l’amorce neutre. D’après Lété et Pynte (2003).....	162
<i>Figure 33.</i> Exemples de correspondance entre les lettres ascendantes, neutres et descendantes des polices Enveloppe et Courier New.	165
<i>Figure 34.</i> Exemples du mot bague (a), de son amorce congruente (b), d'une amorce neutre (c), et d'une amorce incongruente (d).	169
<i>Figure 35.</i> Exemple d’une séquence d’évènements pour un essai avec le mot <i>table</i> comme exemple pour l’étude 3.	170
<i>Figure 36.</i> Effet principal de l’amorce sur le %E pour les mots (Expérience 3.1.)	172
<i>Figure 37.</i> Effet principal de l'amorce sur le %E pour les pseudomots (Expérience 3.1.)	172
<i>Figure 38.</i> Exemples de masques créés pour l'expérience.	176
<i>Figure 39.</i> Exemple d'une séquence d'évènements avec le mot <i>table</i> pour l'expérience 3.1.	176
<i>Figure 40.</i> Effet principal de l’amorce sur le %E et le TRC pour les mots (Expérience 3.1.)	178
<i>Figure 41.</i> Effet d’interaction entre l’amorce et la condition de présentation sur le %E et le TRC pour les mots (Expérience 3.2.).....	182
<i>Figure 42.</i> Effet principal de l'amorce sur le %E pour les pseudomots (Expérience 3.2.)	183
<i>Figure 43.</i> Effet d'interaction entre l'amorce et la cible sur le %E et sur le TRC pour les pseudomots (Expérience 3.2.)	183
<i>Figure 44.</i> Effet principal de l'amorce sur le TRC pour les mots en condition contrôle (Expérience 3.4.)	190
<i>Figure 45.</i> Effet principal de l'amorce sur le %E et sur le TRC pour les mots en condition visuelles dégradées (Expérience 3.3.)	192
<i>Figure 46.</i> Effet d'interaction entre l'amorce et la condition de présentation sur le %E et sur le TRC pour les mots en condition visuelles dégradées (Expérience 3.3.)	192
<i>Figure 47.</i> Exemples d'images d'items utilisés avec les différents filtrages correspondant pour l'expérience 4.1.	204
<i>Figure 48.</i> Séquence de trois évènements pour un essai avec pour exemple le mot <i>koala</i> ici en en condition non filtrée pour l’étude 4.	206
<i>Figure 49.</i> Effet principal de la condition sur le %E et sur le TRC pour les mots (Expérience 4.1.).....	207
<i>Figure 50.</i> Effet d'interaction entre la cible et la condition sur le TRC pour les mots (Expérience 4.1.)	208
<i>Figure 51.</i> Effet principal la condition sur le %E et sur le TRC pour les pseudomots (Expérience 4.1.)	209
<i>Figure 52.</i> Effet d'interaction entre la cible et la condition de présentation sur le %E pour les pseudomots (Expérience 4.2.)	216
<i>Figure 53 :</i> Fonctions gamma de l’écran (RVB en abscisse et luminance en ordonnée) avec a) pour le gris, b) pour le vert, c) pour le rouge et d) pour le bleu.	vii
<i>Figure 54 :</i> feuille de passation (lecture) de l'Alouette-R	viii

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. <i>Caractéristiques des différents types de cellules ganglionnaires recensés.</i>	10
Tableau 2. <i>Récapitulatif des principales caractéristiques des systèmes M et P.</i>	23
Tableau 3. <i>Caractéristiques en pixel des polices Courier New et Enveloppe.</i>	164

LISTE DES ABBREVIATIONS

M	Magnocellulaire	cpd	Cycle par degré
P	Parvocellulaire	RVB	Rouge – Vert - Bleu
DL	Décision lexicale	LUT	Look-Up-Table
EVA	Empan Visuo-Attentionnel	SOA	Stimulus Onset Asynchrony
VO	Voisin Orthographique	FFT	Fast Fourier Transformation
VWFA	Visual Word Form Area	TRC	Temps de réponses correctes
OVP	Optimum Visual Position	%E	Pourcentage d'erreurs
CGL	Corps Genouillés Latéraux	<i>M</i>	Moyenne
MT	Médio-temporal	ET	Ecart-type
PEVs	Potentiels Evoqués Visuels	<i>ns</i>	Non significatif
TEP	Tomographie par Emission de Positons	SATO	Speed-Accuracy Trade-Off
DRC	Dual Route Cascaded	MTM	Multi-Trace Memory
AI	Active-Interactive	HHB	Hybrid Hollistic Biased

« *The eyes see only what the mind is prepared to comprehend* »

Robertson Davies (1951, *Tempest-Tost*)

INTRODUCTION

À chaque fois que nous ouvrons les yeux, de nombreux processus sont mis en œuvre, nous permettant de percevoir notre environnement et d'identifier les différents objets autour de nous. L'étude de ces processus visuels conduit à une meilleure compréhension des interactions de l'être humain avec son environnement. Les recherches antérieures consacrées à la vision ont mis en évidence deux sous-systèmes visuels principaux, impliqués quel que soit l'objet perçu : le système magnocellulaire (M) et le système parvocellulaire (P) (Hubel & Wiesel, 1979 ; pour une revue, voir Yoonessi & Yoonessi, 2011). Ces deux systèmes visuels sont nommés et se définissent par leurs caractéristiques neurophysiologiques spécifiques, ce qui permet de les solliciter sélectivement en manipulant les conditions de vision pour évaluer leur rôle respectif au plan comportemental pour un observateur engagé dans une tâche visuelle.

Le recours à des tâches impliquant des traitements cognitifs de complexité variable, allant des plus élémentaires aux plus élaborés, permet d'étudier le parcours de l'information au sein du système visuel, son intégrité et ses interactions. Les tâches dites de bas-niveau requièrent peu de processus élaborés et correspondent surtout à des tâches sensori-motrices, comme l'extraction de primitives visuelles, la détection ou la localisation d'un stimulus. Les tâches dites de haut-niveau nécessitent des traitements élaborés et font appel à des connaissances diverses propres à la personne, tel le champ lexical, mobilisé par exemple dans une tâche d'identification d'objet.

La lecture est une activité cognitive typiquement humaine, sollicitant l'identification visuelle d'un objet singulier, l'écrit. Elle est définie comme une tâche visuo-perceptive

(Kennedy, Radach, Heller, & Pynte, 2000) qui implique à la fois l'identification (Kwon, Legge, & Dubbels, 2007; Seidenberg, 1992) et la compréhension des mots écrits (Hoover & Gough, 1990). La reconnaissance visuelle des mots permet leur identification et est soutenue par des processus visuo-perceptifs et langagiers. Les approches psycholinguistiques classiques s'accordent depuis longtemps pour reconnaître la prévalence des processus psycholinguistiques sur les processus visuels, comme si l'étape visuelle, qui est forcément très simple pour ces stimuli visuellement rudimentaires que sont les lettres¹, était « encapsulée » (Fodor, 1986), c'est-à-dire réalisée préalablement et de façon indépendante des étapes ultérieures. Néanmoins, dans une conception psychophysique, les traitements visuels ne peuvent être négligés (Frith, 1985) car il s'agit d'un des deux sens majeurs de l'être humain, celui par lequel il acquiert la plupart des informations de son environnement. Les traitements visuels déterminent et conditionnent les traitements ultérieurs réalisés par d'autres fonctions cognitives (langage, mémoire, attention), notamment en réalisant un premier processus de filtrage de l'information. Ainsi, à l'instar de l'objet, le mot écrit passe par toutes les étapes du traitement visuel. Est-il concevable que cette première étape n'interagisse pas avec les traitements psycholinguistiques ? Par exemple, étant donné ce que l'on sait à ce jour de l'influence de l'apprentissage perceptuel et de l'expertise (Fahle & Poggio, 2004; Gilbert, Li, & Piech, 2009; Harel, Gilaie-Dotan, Malach, & Bentin, 2010), il a été proposé qu'un traitement visuel particulier et préférentiel se développe pour les lettres (Nazir, 2000; Nazir, Ben-Boutayab, Decoppet, Deutsch, & Frost, 2004 ; voir aussi Grainger, Tydgate, & Issele, 2010; Sigman et al., 2005 ; Tydgate & Grainger, 2009).

L'objectif de cette thèse est de tenter d'élucider les processus visuels précoces mis à l'œuvre dans le traitement du langage écrit, en se focalisant sur la dissociation fonctionnelle entre les

¹ Il y a très peu de lettres, 26 pour notre alphabet, 52 si on considère les minuscules et les majuscules, qui varient très peu en taille et en orientation, contre plusieurs dizaines de milliers d'objets qu'on peut identifier dans un large éventail de position, taille, et localisation.

systèmes M et P. Leurs rôles respectifs complémentaires pour la reconnaissance visuelle d'objet sont bien connus, et sont explicités dans la première partie de ce travail. Quelques recherches récentes ont commencé à investiguer leur implication dans la lecture, en montrant par exemple l'importance particulière du système M alors que la fonction du système P est moins connue. La question est dès lors d'examiner si la dissociation entre M et P, observée pour la reconnaissance visuelle d'objets, est retrouvée aussi pour la reconnaissance visuelle du mot.

Une façon de dissocier expérimentalement les deux systèmes a été d'utiliser le filtrage de fréquences spatiales des stimuli, ou bien de comparer le paradigme d'isoluminance et de diminution du contraste de luminance. Une autre façon de les dissocier a consisté à tirer profit de leur différence de rythme de maturation en envisageant deux niveaux de développement : l'enfant de 10/11 ans, pour qui le système visuel poursuivait sa maturation parallèlement au développement des compétences langagières, et l'adulte jeune, pour qui les systèmes visuels et les compétences langagières sont considérés comme matures. Ces deux périodes correspondent à deux niveaux de développement et de maîtrise de la lecture.

Une meilleure connaissance de ces mécanismes opérant lors de l'identification des lettres ou des mots pourrait assurer une meilleure compréhension de la lecture et de ses troubles, et aider à leur prise en charge. Nous avons également mis à l'épreuve le rôle relatif des processus visuels précoces M et P dans le traitement du langage écrit, en exploitant différentes caractéristiques du mot.

Ainsi, ce travail s'organise en deux parties principales. Une première partie théorique, chapitres 1, 2 et 3, rassemble le cadre théorique dans lequel s'inscrivent nos travaux. Le chapitre 1 a pour objectif de présenter le système visuel, puis les propriétés neurophysiologiques des systèmes M et P entraînant des spécificités fonctionnelles, ainsi que les aspects développementaux. À la fin de ce chapitre, les rôles respectifs de chaque système,

et les façons de les dissocier expérimentalement, sont explicités plus en détail dans la reconnaissance visuelle d'objet. Cette revue de la littérature a fait émerger une distinction entre traitement local et traitement global de l'information pour l'objet, qui sont portés respectivement par le système P et le système M.

Le chapitre 2 décrit les processus de reconnaissance visuelle du langage écrit et les modèles interprétatifs, en particulier l'acquisition de la lecture chez le normolecteur et chez le lecteur présentant des troubles de la lecture. Bien que les troubles de la lecture, et notamment la dyslexie, ne sont pas étudiés dans ce travail de thèse, la compréhension des troubles apporte de façon réciproque une meilleure compréhension des mécanismes sous-tendant la lecture, dans une perspective de neuropsychologie cognitive. Enfin, les paradigmes expérimentaux utilisés en psycholinguistique, et repris dans cette thèse, y sont présentés.

Dans le chapitre 3, les implications respectives des systèmes M et P dans le traitement du matériel verbal sont abordées, dans un premier temps au niveau de la lettre, sur lequel s'applique un traitement local, puis au niveau du mot, correspondant alors à un traitement global. La revue de la littérature met alors en évidence un traitement privilégié de la lettre et de cette information locale du mot par le système P, et un rôle plus important du système M dans la lecture.

À la suite de la partie théorique, l'objectif général, et les propositions qui en découlent, sont discutés dans la problématique. Une seconde partie rassemble les études expérimentales présentées dans les chapitres 4, 5 et 6.

Le chapitre 4 présente une série d'études expérimentales qui s'attache à dissocier les traitements visuels M et P au niveau de la lettre (Etude 1), l'unité de base du mot écrit. Une série d'expériences a été menée chez le normolecteur adulte jeune. Les systèmes M et P sont dissociés grâce au filtrage de fréquences spatiales et au paradigme d'isoluminance et de

contraste. Un traitement privilégié de cette information locale du mot par le système P était attendu.

Le chapitre 5 décrit les épreuves utilisées pour évaluer les caractéristiques physiques du mot, et notamment l'effet d'amorçage par la forme globale du mot, au travers de la longueur (Etude 2) et de l'enveloppe du mot (Etude 3). Deux séries d'expériences ont été conduites chez le normolecteur adulte jeune et chez l'enfant lecteur novice, d'abord en condition visuelle classique puis en conditions visuelles d'isoluminance et de contraste, permettant de biaiser les traitements, respectivement vers les systèmes visuels P et M. Si des mécanismes visuels similaires sont utilisés pour les objets et les mots, l'amorçage du mot par sa forme globale devrait être pris en charge sélectivement par le système M.

Le chapitre 6 présente une étude permettant de contraster les rôles respectifs des deux systèmes visuels pour une dimension psycholinguistique de plus haut niveau, le voisinage orthographique (Etude 4). Deux expériences, d'abord en filtrage de fréquences spatiales et puis avec le paradigme d'isoluminance et de contraste, ont été proposées au normolecteur adulte jeune. Le voisinage orthographique s'opère généralement par le changement de lettres. La manipulation de cette caractéristique lexicale devait alors mettre en évidence une dissociation entre les systèmes P et M, selon le type de voisin sollicité, qu'il s'agisse d'un voisin anagramme (différant seulement par la position d'une lettre) ou d'un voisin par substitution de lettre (différant par l'identité d'une lettre).

Enfin, l'ensemble des résultats obtenus, ainsi que les perspectives de ce travail, seront discutés plus largement dans une discussion et une conclusion générale.

PARTIE I : CADRE THEORIQUE

La reconnaissance visuelle concerne tout type d'objets : les scènes de notre environnement, les objets naturels ou artificiels qui les composent, comme les visages, nos pairs, et aussi les représentations de ces objets à travers les représentations picturales, et l'objet particulier qui fera l'objet de cette thèse : les mots écrits. La reconnaissance visuelle est une reconstruction active, grâce aux traitements des informations sensorielles recueillies au préalable et aussi plus largement grâce aux représentations sur le monde, stockées en mémoire à long terme. Le premier codage sensoriel détermine une première représentation visuelle, qui évolue en fonction des interactions avec l'environnement. Le premier chapitre présente le système visuel, et se centre sur la principale dissociation entre deux sous-systèmes visuels précoces : le système magnocellulaire (M) et le système parvocellulaire (P).

Chapitre 1 : Le système visuel

Le système visuel est composé de l'ensemble des organes participant à la perception visuelle. Il comporte principalement la rétine, premier récepteur de l'information sensorielle, les nerfs optiques, les corps genouillés latéraux, le cortex visuel primaire, les deux projections dans les cortex visuels ventral et dorsal et leurs interactions, tous garants à la fois des traitements de bas et de hauts niveaux de l'information visuelle. Ainsi, le signal lumineux est capté au niveau de l'œil puis il est relayé jusqu'au cortex visuel V1 puis dans les aires corticales supérieures.

Le traitement visuel est considéré comme un processus extrêmement rapide. Par exemple, un minimum de 280 ms est nécessaire pour détecter un animal dans une scène visuelle complexe, avec un temps moyen de 400 ms (Thorpe, Fize, & Marlot, 1996). Concernant le langage écrit, une durée de traitement inférieure a été observée, avec un temps de lecture moyen d'un mot compris entre 100 et 200 ms (e.g., Fayol, David, Dubois, & Rémond, 2000). La comparaison entre la lecture, la dénomination et la catégorisation d'images et de mots ont montré que 1/ la lecture est nettement plus rapide que la dénomination des images, 2/ la dénomination des images est plus rapide que la catégorisation des images, et 3/ la catégorisation des images est plus rapide que la catégorisation des mots (pour une revue, voir Glaser, 1992).

Les processus visuels sont étudiés pour des tâches impliquant des niveaux de traitement cognitif allant des plus élémentaires au plus élaborés, permettant ainsi d'étudier le parcours de l'information au sein du système visuel, son intégrité et ses interactions. Les tâches de bas-niveau requièrent peu de processus élaborés et correspondent surtout à des tâches sensori-motrices, comme l'extraction de primitives visuelles, la détection ou la localisation d'un stimulus. Les tâches de haut-niveau nécessitent un traitement élaboré et font appel à des connaissances propres au sujet comme le champ lexical, mobilisé par exemple dans une tâche de dénomination d'objet.

1.1. Généralités

1.1.1. *De la rétine au cortex visuel*

Le traitement visuel commence d'ailleurs dès la perception des ondes lumineuses par la rétine tapissant le fond de l'œil. L'objet perçu est d'abord projeté sur la rétine où les ondes lumineuses seront spécifiquement traitées par les deux types de cellules photoréceptrices aux propriétés distinctes, l'un fonctionnant en condition d'éclairement photopique ou vision

diurne (les cônes) et l'autre en condition d'éclairement scotopique (les bâtonnets), c'est-à-dire avec une luminosité très faible ou vision nocturne.

Le premier type de photorécepteur est le cône. Les cônes sont peu nombreux, entre 4 et 6 millions (Curcio, Sloan, Kalina, & Hendrickson, 1990; Rodieck, 1998), et sont essentiellement répartis au sein de la fovéa, au centre de l'œil. Ils sont sélectifs de trois gammes de longueurs d'ondes, et donc sensibles à la « couleur », une dimension psychologique de la perception visuelle. Trois types de cônes sont recensés (Grassman, 1953 ; cité dans Gegenfurtner & Kiper, 2003) : les cônes S (ou *short* pour les longueurs d'ondes courtes), M (ou *medium* pour les longueurs d'ondes moyennes) et L (ou *long* pour les longueurs d'ondes longues). Le second type de photorécepteur est le bâtonnet. Très nombreux en comparaison des cônes, entre 100 et 120 millions (Curcio et al., 1990; Sterling, 2004), les bâtonnets sont situés en périphérie, en dehors de la fovéa. Ils sont caractéristiques de la vision nocturne ou vision scotopique. Ils sont sensibles à la luminance, une dimension physique qui se mesure en candéla par mètre carré (entre 0 et 150 cd/m²), soit la sensation visuelle de luminosité en fonction de la surface qui donne le caractère clair ou foncé d'une teinte, correspondant grossièrement au nombre de paquet de photons atteignant la rétine. Les photorécepteurs assurent la transduction du signal lumineux en influx électrique qui est ensuite traité successivement par plusieurs types de neurones, à savoir les cellules amacrines, bipolaires, horizontales puis les cellules ganglionnaires qui sont considérées comme les premiers neurones visuels importants.

La rétine contient environ 1,5 millions de cellules ganglionnaires, réparties en une dizaine de classes (Masland, 2001). Les différentes cellules ganglionnaires se distinguent par leurs propriétés physiques en termes de taille et vitesse de traitement puis en fonction de leur réponse à stimulus précis (Hubel & Wiesel, 1977; Kaplan & Shapley, 1982; Nassi & Callaway, 2009; Watanabe & Rodieck, 1989). Les trois principaux types de cellules

ganglionnaires sont les cellules Y (aussi appelées cellules alpha ou parasol), les cellules X (ou cellules bêta ou midget) et les cellules gamma, et leurs caractéristiques respectives sont décrites dans le Tableau 1 ci-dessous (Masland, 2001). Elles représentent respectivement 80, 10 et 3% des cellules ganglionnaires. En périphérie, les cellules ganglionnaires Y sont connectées à plusieurs cellules bipolaires, elles-mêmes connectées à plusieurs cônes et plusieurs bâtonnets. À noter d'ailleurs que comparativement, un plus grand nombre de bâtonnets que de cônes sont connectés en moyenne à une même cellule bipolaire. Au niveau de la fovéa, le centre du champ récepteur d'une cellule ganglionnaire X est connecté à une seule cellule bipolaire, elle-même reliée à un seul cône M ou L, permettant une résolution spatiale maximale. Au niveau de la périphérie de la rétine, le centre du champ récepteur d'une cellule ganglionnaire Y est connecté à plusieurs cellules bipolaires en même temps, entraînant une baisse de la résolution spatiale. Les autres types de cellules ganglionnaires sont moins connus et leur nombre est moindre. Ces cellules pourraient avoir un rôle dans la régulation du rythme circadien, notre rythme biologique, et notamment le contrôle réflexe de l'ouverture pupillaire (Berson, 2003).

Les nerfs optiques forment une des paires des douze nerfs crâniens. Les nerfs optiques droits et gauches se croisent partiellement au niveau du chiasma optique. Les fibres nasales sont croisées de façon à converger vers l'hémisphère cérébral opposé à l'œil de provenance ou hémisphère controlatéral. Les fibres issues de la partie temporale de la rétine ne se croisent pas et convergent vers l'hémisphère situé du même côté que l'œil d'origine ou hémisphère ipsilatéral. Avant les corps genouillés latéraux, deux voies importantes se distinguent : la voie géniculostriée et la voie rétinotectale.

Tableau 1. *Caractéristiques des différents types de cellules ganglionnaires recensés.*

	Type X (ou bêta ou <i>midget</i>)	Type Y (ou alpha ou <i>parasol</i>)	Type gamma ou koniocellulaire
Taille du champ récepteur	Petite	Grande	Très petite
Particularité du champ récepteur	Opposition chromatique centre/pourtour (Masland, 2001) Tonique :	Somme des informations issues des cônes L et M Phasique :	Spécifique aux cônes S
Comportement	Adaptation lente et information sur la persistance du stimulus	Adaptation rapide et information sur la variation du stimulus	Dépend du stimulus présenté
Contraste	Faible sensibilité	Forte sensibilité	-
Fréquences spatiales	Bonne résolution (fréquences spatiales moyennes et élevées)	Faible résolution (fréquences spatiales basses) (Dacey, 2000)	-
Fréquences temporelles	Faible résolution	Forte résolution	-
Vitesse de conduction	Lente	Très rapide, plus rapide que X	-
Localisation	Essentiellement au centre de la rétine, en faible quantité en périphérie de la rétine	Périphérie de la rétine	Réparti de façon égale sur la rétine
Autres	-	Achromatique	Équivaux à une sorte de moyenne entre les cellules X et Y (Hendry & Reid, 2000)

Les cellules ganglionnaires se projettent via le nerf optique sur les corps genouillés latéraux, correspondant au point de départ de la principale voie visuelle représentant 90% des fibres du nerf optique, la voie géniculostriée. Les corps genouillés latéraux forment une partie du thalamus. Ils sont composés de six couches superposées, recevant chacune l'information de l'hémichamp rétinien d'un seul œil ainsi que les afférences d'un seul type de cellule ganglionnaire. De ce fait, chaque couche permet la reproduction d'une carte topographique de la rétine. Ce relais sensoriel a pour but de mettre en lien les représentations de l'hémichamp contralatéral pour les trois types de cellules ganglionnaires. Ainsi, les informations issues des cellules ganglionnaires de type Y, ou alpha, convergent vers les

couches 1 et 2, composées essentiellement de cellules avec de grands corps cellulaires appelées cellules magnocellulaires (du latin *magnus* = grand), alors que les informations issues des cellules ganglionnaires de type X, ou bêta, convergent vers les couches 3 à 6, composées essentiellement de cellules avec de plus petits corps cellulaires appelées cellules parvocellulaires (du latin *parvus* = petit). Les informations issues des cellules ganglionnaires de type gamma ou koniocellulaire convergent quant à elles vers les six couches des corps genouillés latéraux (Hendry & Reid, 2000). Enfin, l'information visuelle est ensuite relayée jusqu'au cortex visuel.

La seconde voie, la voie rétino-tectale, fait le lien entre la rétine, le colliculus supérieur, le prétectum et le pulvinar. Des connexions qui relient le colliculus supérieur aux aires visuelles corticales permettraient un traitement visuel indépendant de la voie géniculostriée majeure. La voie rétino-tectale forme donc une « vision résiduelle ». La vision résiduelle a été mise en évidence d'abord chez le singe ayant subi une ablation partielle du cortex visuel primaire (Mohler & Wurtz, 1977) puis chez l'Homme (e.g., Pöppel, Held, & Frost, 1973). Cette capacité permet de traiter une information visuelle dans un champ visuel aveugle de façon inconsciente notamment dans le cas de la vision aveugle aussi appelée *blindsight* (Weiskrantz, Warrington, Sanders, & Marshall, 1974). Néanmoins, l'importance de la voie rétino-tectale est considérée comme moindre par rapport à la voie géniculostriée pour la reconnaissance visuelle, bien que ceci soit remis en question par de récents travaux (e.g., Overgaard, FehI, Mouridsen, Bergholt, & Cleeremans, 2008).

1.1.2. *Le cortex visuel*

Au niveau occipital se trouve le cortex visuel constitué d'aires visuelles dont les principales sont couramment désignées par V1, V2, V3, V4 et V5. Ces différentes régions fonctionnelles traitent de façon unique ou collective les différentes propriétés de l'information visuelle.

Le cortex visuel primaire, communément désigné par V1, constitue la porte d'entrée du cortex visuel. Chaque zone de V1 reçoit des couches spécifiques des corps genouillés latéraux (Ungerleider & Haxby, 1994; Yabuta, Sawatari, & Callaway, 2001). Pour chaque point du champ visuel, les données sont traitées en V1, décrivant ainsi la stimulation lumineuse selon les différentes primitives comme la couleur, la luminance, les fréquences spatiales, etc. Ainsi, les couches P des corps genouillés latéraux convergent vers les couches 2 et 3 de V1. Ces couches sont ainsi sensibles à la couleur et possèdent un comportement tonique. Les couches M des corps genouillés latéraux convergent vers la couche 4b de V1. Cette couche, insensible à la couleur, possède un comportement phasique et se projette vers V3 et de façon privilégiée vers V5 (Nassi & Callaway, 2007).

V2 possède des fonctions comparables à V1. Elle est constituée de bandes minces sensibles à la couleur et de bandes plus larges sensibles à la direction du mouvement. Ces bandes sont séparées par des régions claires sensibles à la forme (Roe & Ts'o, 1995) et procèdent aux premiers traitements du contour (von der Heydt & Peterhans, 1989).

V3, V4 et V5 sont les aires visuelles extra-striées. Elles procèdent au traitement parallèle de la détection du mouvement, de la couleur ou de la forme des objets (Livingstone & Hubel, 1988). V3 traite plus spécifiquement la forme et le mouvement, V4 le traitement de la couleur et la reconnaissance de la forme et V5, aussi appelée MT (pour aire medio-temporale), le mouvement et les formes en mouvement. Enfin, il est important de noter qu'aucun type de neurone du cortex visuel ne répond exclusivement à une seule caractéristique élémentaire.

1.1.3. *Plusieurs voies visuelles*

L'étude des substrats neurobiologiques indique trois voies principales, anatomiquement distinctes, fonctionnant en parallèle et procédant à des traitements spécifiques de l'information : les voies M, P et koniocellulaire. Ces trois voies se distinguent donc précocement, dès la rétine, et jusqu'au cortex visuel (voir *Figure 1*).

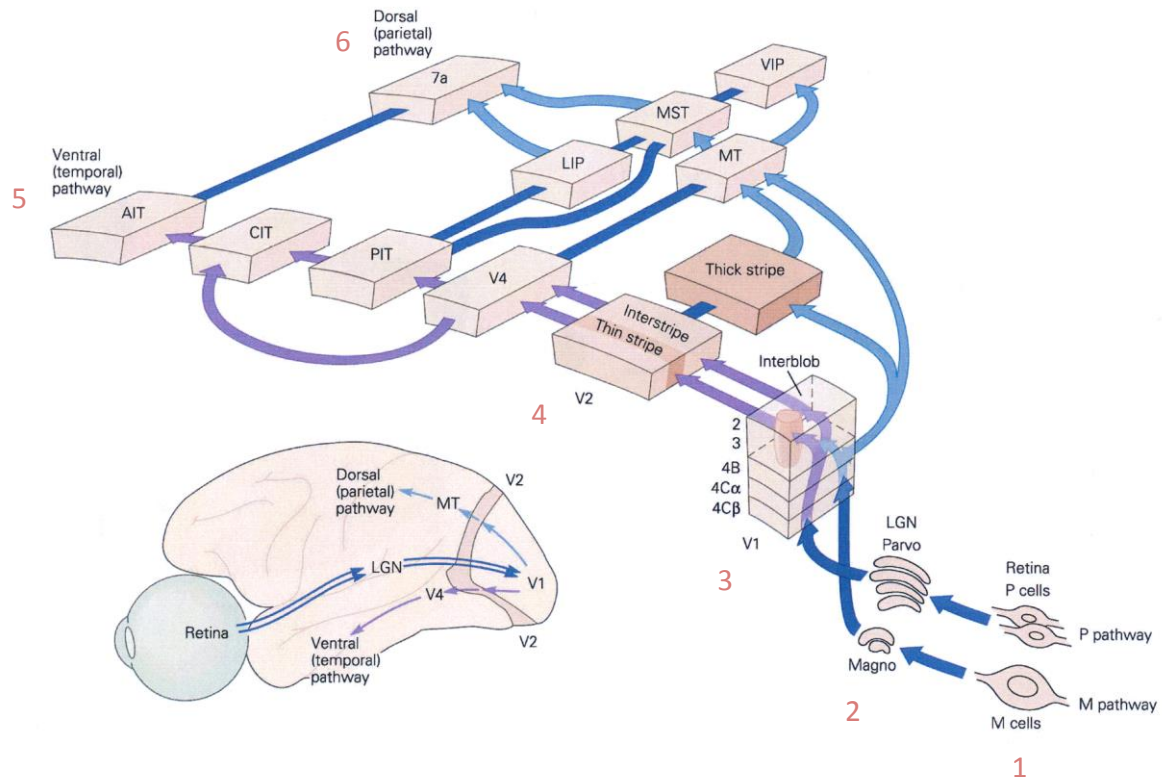


Figure 1. Représentations des projections depuis la rétine (1) jusqu'aux couches magno- et parvocellulaires du CGL (2). Depuis le CGL, les entrées visuelles sont projetées jusqu'au cortex visuel primaire (3). Les projections continuent ensuite depuis V1 jusqu'à V2 (4) puis se dissocient selon deux voies : les voies ventrale (5) et dorsale (6). Figure modifiée d'après Wurtz et Kandel (2000).

Dans la suite de ce travail, nous n'aborderons pas le système koniocellulaire, dont le rôle est moins connu pour la reconnaissance visuelle d'objets, bien que de plus en plus étudié. L'implication de la voie koniocellulaire dans la reconnaissance visuelle est considérée comme peu importante comparée aux voies M et P et leurs arrivées au niveau de V1 (Callaway, 2005).

1.2. Dissociation en deux sous-systèmes

Les voies M et P constituent ainsi 85% environ des projections corticales chez les primates (Dacey, 2000; Lee, 1996; Livingstone & Hubel, 1987). Ces deux systèmes tirent leurs noms des cellules qui les composent, caractérisées par leur corps cellulaire et leur champ récepteur (Croner & Kaplan, 1995) et se dissocient dès les cellules ganglionnaires (Goodale &

Milner, 1992). Les deux voies fonctionneraient majoritairement indépendamment l'une de l'autre (Merigan & Maunsell, 1993) jusqu'à la dernière structure précoce V1 (Nassi & Callaway, 2009) et ne commencent à interagir qu'au niveau cortical (pour des revues, voir Lee, 1996 ; Shapley, 1990).

1.2.1. *Caractéristiques et spécificités fonctionnelles*

Les sous-systèmes M et P ont chacun des caractéristiques et des spécificités spatio-temporelles distinctes (pour des revues, voir Hubel & Wiesel, 1979; Yoonessi & Yoonessi, 2011). La différence de taille observée au niveau des champs récepteurs des cellules M et P explique en partie leurs différences fonctionnelles et notamment la transmission plus rapide des informations par les cellules M par rapport aux cellules P (Pokorny & Smith, 1997). Dans les études princeps, le système M était considéré comme une voie « phasique » (*transient channel*), permettant des réponses aux stimuli rapides et brèves, alors que le système P était considéré comme une voie « tonique » (*sustained channel*), avec des réponses continues pendant la stimulation (Breitmeyer & Ganz, 1976; Cadenhead, Serper, & Braff, 1998). À ce jour, les deux systèmes sont référés uniquement en termes de voie M et P.

Le système M est composé de cellules aux corps larges, de type centre-pourtour, avec de grands champs récepteurs, répondant à la stimulation du centre de leur champ récepteur par une brève salve de potentiels d'action. Les neurones M reçoivent des entrées d'informations de régions plus larges du champ visuel que les neurones P (Dacey & Petersen, 1992). Les cellules ganglionnaires M de la rétine possèdent de grands champs récepteurs à propagation rapide qui sont sensibles aux faibles contrastes. Par exemple, seules les cellules M répondent à des contrastes inférieurs à 8%, et non les cellules P ou K (Hicks, Lee, & Vidyasagar, 1983; Lee, Pokorny, Smith, Martin, & Valberg, 1990; Solomon, White, & Martin, 2002; Tootell, Hamilton, & Switkes, 1988). Un exemple de variation de contraste est montré dans la *Figure 2*. Les informations reçues proviennent de tous les types de cônes

(Jordan, Sherman, & Tonkin, 2007), les cellules M sont donc achromatiques (*color blind*). Les cellules M ne répondent donc pas différenciellement aux différentes longueurs d'ondes lorsque les couleurs sont isoluminantes (Hicks et al., 1983; Lee et al., 1990), voir un exemple de stimulus isoluminant dans la *Figure 2E*. Lorsque les couleurs ne sont pas isoluminantes, les cellules M codent les variations de contraste qui vont généralement de pair avec une variation chromatique (voir *Figure 2C* et *D*). Kaplan et Shapley (1986) ont montré que l'enregistrement de la réponse des cellules M et P variait pour des luminances augmentant pas à pas, avec une réponse élevée des cellules M pour de faibles contrastes et une réponse faible des cellules P, mais constante, quel que soit le niveau de contraste. Le gain de contraste correspond à un changement de réponse en réaction à une variation infime du contraste. Il est plus élevé pour le système M que pour le système P pour les luminances faibles alors qu'il demeure constant pour le système M et le système P pour les luminances élevées. Le système M véhicule les fréquences spatiales basses (Leonova, Pokorny, & Smith, 2003) et est sensible aux fréquences temporelles élevées, d'où son rôle pour le traitement du mouvement visuel et des changements rapides, ce qui lui confère une bonne résolution temporelle (Butler et al., 2007; Ungerleider & Haxby, 1994). La capacité de traitement de l'information plus rapide du système M et sa prévalence dans la périphérie de la rétine permettent des réponses transitoires rapides aux changements de luminance (Merigan & Eskin, 1986).

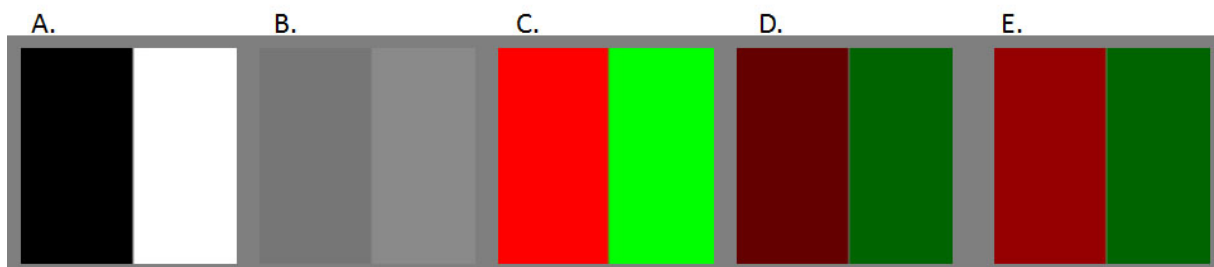


Figure 2. Exemples d'images présentant 2 zones qui s'opposent par un contraste de luminance fort (A) ou faible (B) ou par un contraste chromatique et un contraste de luminance (fort : C, et faible : D) ou bien par un contraste chromatique seul (E). Pour construire ce dernier stimulus dit « isoluminant », la luminance du rouge a été augmentée pour correspondre à celle du vert ; dans ce cas, une conversion en image noire/blanc montrerait une seule large plage grise sans transition entre les barres.

Le système P possède quant à lui des cellules au corps plus petit, de type centre-pourtour, avec des champs récepteurs réduits, répondant à la stimulation du centre de leur champ récepteur par une décharge de caractère tonique. Le système P est sensible à la forme du stimulus et aux différences de longueur d'onde (Kaplan, 1991; Merigan & Maunsell, 1993). Au sein des cellules P, 90% d'entre elles reçoivent des informations de paires de cônes spécifiques alors que les 10% restant reçoivent les informations de tous les autres cônes (Jordan et al., 2007). Ainsi au niveau des corps genouillés latéraux, les champs récepteurs présentent essentiellement une opposition centre-pourtour bleu-jaune ou rouge-vert. De plus, les cellules P ont un gain de contraste de réponse linéaire, quel que soit le niveau de contraste (Kaplan & Shapley, 1986). Elles véhiculent les fréquences spatiales moyennes et élevées (Leonova et al., 2003) et sont sensibles aux fréquences temporelles basses et ont une faible résolution temporelle (Butler et al., 2007; Ungerleider & Haxby, 1994). Les cellules P sont ainsi sensibles aux objets statiques, aux changements lents, aux contrastes de couleur, aux formes, aux textures et à la profondeur.

1.2.2. *Deux voies corticales*

Les deux principaux sous-systèmes visuels M et P ont d'abord été assimilés aux deux voies corticales tardives, respectivement à la voie dorsale et à la voie ventrale (Bullier, 1998; Milner & Goodale, 1996; Mishkin, Ungerleider, & Macko, 1983; Ungerleider & Haxby, 1994) : les neurones M formant la voie dorsale et les neurones P, la voie ventrale (Livingstone & Hubel, 1988). Dans cette conception, la dissociation M/P se transformait en dissociation ventrale/dorsale, et perdurait jusqu'à des étapes très tardives de la reconnaissance visuelle (Merigan & Maunsell, 1993; Yabuta et al., 2001). Des arguments en faveur de la dissociation ventrale/dorsale ont été apportés par l'étude des troubles neuropsychologiques de la vision, comme par exemple l'agnosie ou le trouble de la reconnaissance d'objet (Karnath, Rüter, Mandler, & Himmelbach, 2009; Keating, 1975), le déficit de reconnaissance des formes

(Westwood & Goodale, 2011), les lésions du lobe temporal droit (Milner, 1968) et l'apraxie ou l'incapacité d'effectuer des mouvements en l'absence de déficit sensitif ou moteur (De Renzi & Faglioni, 1967). Ungerleider et Mishkin (1982) introduisent la notion de double dissociation de ces deux voies corticales visuelles anatomiquement et fonctionnellement distinctes.

Ainsi, la voie dorsale, ou voie occipito-pariétale, est la voie du « où ? » (de la localisation) ou du « comment ? » (Ungerleider, 1985). Elle regroupe le contrôle des actions visuo-motrices, le traitement de l'information visuo-spatiale et du mouvement. Elle concerne aussi la capacité de guider visuellement un mouvement, via l'aire V5 (Albright, 1984; Bullier, 2001b). Cette voie est considérée comme relative au système M du fait des afférences provenant essentiellement de ce dernier (Goodale & Milner, 1992; Maunsell, Nealey, & DePriest, 1990; Thiele, Dobkins, & Albright, 2001) et très peu du système P (Maunsell et al., 1990; Nassi & Callaway, 2007). Enfin, la voie dorsale relie directement l'aire V1 à la partie postérieure du lobe pariétal, sans passer par les aires visuelles adjacentes à V1, comme V2, V3 ou V4.

La voie ventrale, ou voie occipito-temporale, est la voie du « quoi ? » (de la reconnaissance, Ungerleider, 1985). Elle traite préférentiellement du codage de la forme et de la texture (Pasupathy & Connor, 1999), et de la reconnaissance consciente des objets et de l'environnement spatial, de l'identification des objets et de la couleur (Conway, Moeller, & Tsao, 2007). La majorité de ses afférences proviennent du système P, mais on sait depuis plus récemment qu'il y a aussi un fort contingent (à peu près autant) issu du système M (Goodale & Milner, 1992; Kaplan, 2004; Nassi & Callaway, 2009; Ungerleider & Haxby, 1994). Elle relie principalement les aires V1 à V2 et V3 et projette vers V4 au niveau de la jonction occipito-temporale.

Les voies dorsales et ventrales se distinguent ainsi sur le plan anatomique, fonctionnel et aussi selon le degré de conscience exercé (Crick & Koch, 2003; Merikle & Joordens, 1997; Milner & Goodale, 1996; Rensink, 2000). À cet égard, la voie ventrale assure la perception consciente et l'élaboration de représentations complexes. Elle fait aussi la différence entre les alertes visuelles (*visual awareness*, c'est-à-dire des informations automatiques et irrépessibles) et l'expérience visuelle (*visual experience*, correspondant aux traitements volontaires). La voie dorsale assure quant à elle les contrôles de type visuo-moteur sur les objets et les processus cognitifs inconscients. Le système M, via la voie dorsale, joue également un rôle important dans la perception consciente en modulant les traitements visuels précoces au niveau cortical (entre V1 et V4, e.g., Bar et al., 2006; Fenske, Aminoff, Gronau, & Bar, 2006; Kveraga, Boshyan, & Bar, 2007; Peyrin et al., 2010). Ces deux voies sont complémentaires et indispensables à la reconnaissance visuelle.

Cette dichotomie des voies ventrales et dorsales doit être néanmoins relativisée. En effet, la voie ventrale n'est pas exclusivement P. Le système M généralement associé à la voie dorsale est aussi présent dans la voie ventrale et véhiculerait tout autant d'information « ventrale » (Ferrera, Nealey, & Maunsell, 1992; Nealey & Maunsell, 1994). De plus, Fabre-Thorpe (2011) a proposé que les contributions magnocellulaires soient prétraitées rapidement au sein même de la voie ventrale et seraient capable de guider, au travers de boucles de rétroaction, le traitement visuel détaillé des informations P plus lentes. Des travaux récents font d'ailleurs valoir que pour la plupart des fonctions langagières, les deux voies ventrale et dorsale fonctionnent en parallèle et ne sont pas exclusives (Makris & Pandya, 2009; Rauschecker & Scott, 2009). Ces deux voies constituent ainsi une boucle qui doit être empruntée au moins une fois.

Des interactions tardives entre les deux systèmes ont été observées à de nombreuses reprises (pour des revues, voir Cloutman, 2013; Grafton, 2010). La voie dorsale est considérée comme

autonome et est tout à fait capable de procéder au traitement complet pour des processus simples d'ordre visuo-moteur, et ce indépendamment de la voie ventrale. Néanmoins, lorsqu'une réponse comportementale complexe est attendue, les informations sémantiques véhiculées par la voie ventrale deviennent indispensables (Creem & Proffitt, 2001). L'existence d'interactions tardives entre les deux systèmes au niveau anatomique ou fonctionnel demeure à ce jour consensuelle. Cependant, la question du degré d'interaction et des influences réciproques provoquées reste débattue (pour une revue, voir Cloutman, 2013).

Ainsi, le mode de fonctionnement des voies dorsale et ventrale est considéré de trois façons : 1/ les deux voies fonctionnent de façon parallèle et indépendante comme proposé par Ungerleider et Mishkin (1982 ; Mishkin et al., 1983) ; 2/ de façon parallèle en intégrant la notion de feedback permettant l'exploitation de boucles de traitement récurrentes incluant des traitements ascendants et descendants (*bottom up* vs. *top-down*) (e.g., Epshtein, Lifshitz, & Ullman, 2008; Merigan & Maunsell, 1993) ; 3/ sous la forme de fortes communications et interactions entre les deux voies grâce à des connexions latérales directes et leur intégration commune au sein de zones corticales spécifiques (e.g., chez le singe, Chen et al., 2007). Dans la suite de ce travail, nous ne parlerons plus de voies dorsale et ventrale, mais uniquement de système M et de système P car nous proposons d'utiliser une approche comportementale pour les dissocier qui se fonde sur la manipulation de stimuli, en tirant profit des différentes caractéristiques de traitement des systèmes M et P : leur contenu en fréquences spatiales (fréquences spatiales basses pour le système M et fréquences spatiales élevées pour le système P) ou bien leur sensibilité au contraste de luminance ou chromatique (stimuli à faible contraste pour M ou isoluminant pour P) . Les traitements étaient donc biaisés vers l'un ou l'autre des systèmes M ou P dès le départ.

1.2.3. *Aspects développementaux*

Le développement de la vision chez l'enfant est encore peu connu et de nombreuses interrogations persistent (pour une revue, voir Atkinson, 2002). Le système visuel devient critique au cours des premiers mois de la vie post-natale et continue de se développer jusqu'à l'adolescence, période pendant laquelle l'acuité visuelle devient pleinement mature. La maturation neurobiologique se poursuit jusqu'à l'âge adulte (Courchesne et al., 2000; Giedd et al., 1999), et les deux systèmes visuels M et P continuent de se développer et arrivent à maturité à des rythmes différents.

D'un point de vue développemental, la différence de vitesse de maturation des deux voies visuelles constitue un argument supplémentaire à leur dissociation (pour une revue, voir Benedek, Horváth, Kéri, Braunitzer, & Janáky, 2016). Des travaux chez l'animal ont montré une dissociation précoce antérieure à la naissance (e.g., Rakic, 1977), résultats retrouvés chez l'être humain (pour une revue, voir Hammarrenger et al., 2003). Les premiers travaux ont montré qu'à l'âge de cinq ans, le système visuel humain n'est pas complètement développé (e.g., Bradley & Freeman, 1981; Carkeet, Levi, & Manny, 1997). Les études de potentiels évoqués (PEVs, pour une revue, voir Hammarrenger et al., 2003) et de sensibilité au contraste (pour des revues, voir Boothe, Dobson, & Teller, 1985; Leat, Yadav, & Irving, 2009) ont été largement utilisées pour mettre en évidence la maturation dissymétrique des deux systèmes. L'étude de potentiels évoqués visuels (PEVs) chez l'enfant a montré que la composante N1 reflétait l'activité neuronale sous-jacente au système P alors que la composante P1 reflétait celle sous-jacente au système M (Elleberg, Hammarrenger, Lepore, Roy, & Guillemot, 2001).

Il est communément admis que le système M se développe avant le système P. Concernant les PEVs, la composante P1, sous-tendant le système M, apparaît très tôt dans le développement du nourrisson et son amplitude accroît plus vite que la composante N1, sous-tendant le

système P (Hammarrenger et al., 2003). De plus, dans les cinq premiers mois de vie, la sensibilité aux contrastes permettant la perception de contraste de luminance, dimension portée par le système M, se développe bien avant la sensibilité à la chromaticité (Dobkins, Anderson, & Kelly, 2001; Dobkins, Anderson, & Lia, 1999; Dobkins, Lia, & Teller, 1997). Enfin, l'acuité visuelle, dépendante du système P, ne mature qu'à partir de la 32^{ème} semaine (Hammarrenger et al., 2003).

Néanmoins, le stade de leur maturation continue de faire débat et dépend de la composante étudiée. Un premier point de vue suggère une maturation précoce du système P et une maturation tardive du système M. Les travaux sur la sensibilité au contraste ont montré que la sensibilité aux fréquences spatiales moyennes et élevées, véhiculées par le système P, se développe rapidement et devient mature dès 3/4 ans (Adams & Courage, 2002) jusqu'à 5/6 ans (Benedek, Benedek, Kéri, & Janáky, 2003). Le système M continue de se développer jusqu'à 10/11 ans (Benedek et al., 2003; Crewther, Crewther, Barnard, & Klistorner, 1996) voir jusqu'à la puberté et ce du fait de l'importance de structures sous-jacentes qui mûrent tardivement comme le lobe temporal et les connexions intra corticales, notamment nécessaire au traitement du mouvement (Braddick, Atkinson, & Wattam-Bell, 2003; Braddick & Atkinson, 2009).

A contrario, un second point de vue suggère, quant à lui, une maturation tardive du système P et une maturation plus précoce du système M. Les PEVs en réponse aux fréquences spatiales basses, véhiculées par le système M, se développent donc dès les 10 premières semaines après la naissance, sont fonctionnels dès l'âge de 6 mois (Harris, Atkinson, & Braddick, 1976) et sont comparables à ceux observés chez l'adulte dès l'âge de 2 ans (Aso et al., 1988; McCulloch & Skarf, 1991; Rasengane, Allen, & Manny, 1997), alors que pour les fréquences spatiales élevées, véhiculées par le système P, la maturation continue jusqu'à 10 ans (De Vries-Khoe & Spekreijse, 1982; Gordon & McCulloch, 1999; Sokol & Jones, 1979).

Atkinson (2000) a par ailleurs déjà mis en évidence cette maturation tardive de la voie M d'un point de vue physiologique, confortant les arguments expérimentaux du premier point de vue. Ainsi, nous considérerons ici que la voie P devient mature dès l'âge entre 3 et 6 ans, bien avant la voie M qui ne l'est qu'à la puberté.

Enfin, concernant le vieillissement normal des deux sous-systèmes, l'avancée en âge s'accompagne d'un déficit parvocellulaire massif et d'un déficit magnocellulaire plus faible, mais qui s'accroît dans le grand âge (Bordaberry, Lenoble, & Delord, 2012; Elliott & Werner, 2010; Lenoble, Amieva, & Delord, 2012).

1.2.4. *Les systèmes M et P*

En résumé, les systèmes M et P se dissocient dès la rétine, à partir des cellules bipolaires puis des cellules ganglionnaires (Calkins & Sterling, 1999), et ce jusqu'aux projections tardives au-delà du cortex extrastrié, bien que des interactions entre les deux existent dès V1. Ces deux systèmes traitent également des attributs différents des stimuli visuels. Leurs différences structurelles et fonctionnelles sont récapitulées dans le Tableau 2 ci-dessous. Le système M répond donc à de hautes fréquences temporelles et aux fréquences spatiales basses, et très rapidement après l'apparition du stimulus (environ 50 ms). Il est donc sensible au mouvement et prend en charge les informations sur la forme globale de l'objet. Le système P répond quant à lui aux fréquences temporelles basses et aux fréquences spatiales moyennes et élevées, et plus tardivement que le système M (environ 70 ms après l'apparition du signal). Il prend donc en charge les informations de détails sur la forme et la couleur. Ces deux systèmes fonctionnent conjointement, le système M inhibant les impulsions du système P lorsque les yeux bougent, ce qui nous permet de percevoir une image fixe même si les yeux sont en mouvement presque constant.

Tableau 2. Récapitulatif des principales caractéristiques des systèmes M et P.

Caractéristiques	Système M	Système P
Corps cellulaires	Large	Petit
Propagation	Rapide	Lent
Contraste	Luminance	Chromatique
Résolution spatiale	Faible	Elevée
Résolution temporelle	Elevée	Faible
Sensible aux objets en	Mouvement	Statiques

Les caractéristiques spécifiques de chacun des systèmes ont été mises en évidence par plusieurs techniques. Deux techniques seront ici développées : le filtrage des fréquences spatiales (e.g., Plainis & Murray, 2000) et le paradigme d'isoluminance et de contraste.

1.2.4.1. Filtrage des fréquences spatiales

La fréquence spatiale est formée d'un réseau de bandes sombres et claires alternées dont l'orientation peut varier dans le plan. Sa valeur est définie en unité de nombre de cycles par unité distance angulaire, en cycle par degré d'angle visuel (cpd)². Les fréquences spatiales basses sont définies par un faible cpd (*Figure 3A*) alors que les fréquences spatiales élevées possèdent un cpd important (*Figure 3B*). La superposition de différents réseaux de fréquences spatiales permet de composer une image, comme le montre la *Figure 3C, D et E*.

² 1 ° d'angle visuel correspond environ à la largeur du pouce (1cm) tenu à bout de bras (à 60 cm), et un réseau de 1 cpd représente une barre claire et une sombre, soit un cycle sur cette distance.

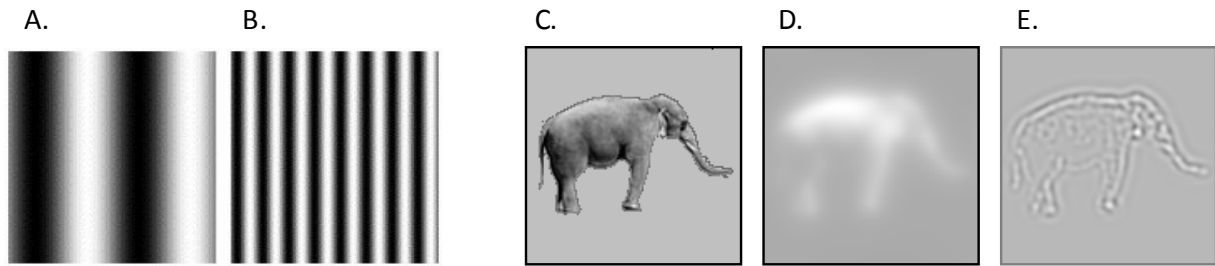


Figure 3. Exemples de représentations de fréquences spatiales basses (A), élevées (B), et d'un filtrage de fréquences spatiales d'une image : avec l'image originale non filtrée (C), l'image filtrée passe-bande (D) et l'image filtrée passe-bas (E).

La variation du contenu spectral par filtrage des fréquences spatiales permet d'isoler certaines gammes de fréquences et subséquemment d'isoler les deux systèmes (Butler et al., 2007; Leonova et al., 2003; Tobimatsu, Tomoda, & Kato, 1995). Cette technique résulte de la transformation d'un signal spatial en un spectre de fréquences spatiales et ce grâce à une analyse et une transformée de Fourier. L'application d'un filtre dit passe-bas isole les fréquences spatiales basses, relatives au système M, retirant de l'image les fréquences spatiales moyennes et élevées (voir *Figure 4*). De même l'application d'un filtre passe-bande ne laisse passer que les fréquences spatiales moyennes et élevées, relatives au système P (voir *Figure 5*).

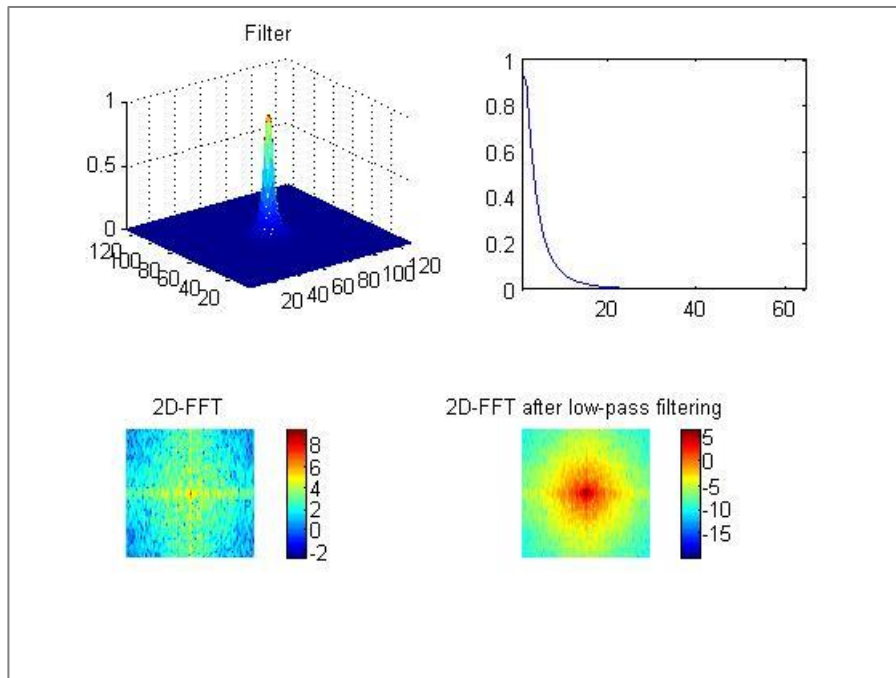


Figure 4. Caractéristiques du filtrage passe-bas.

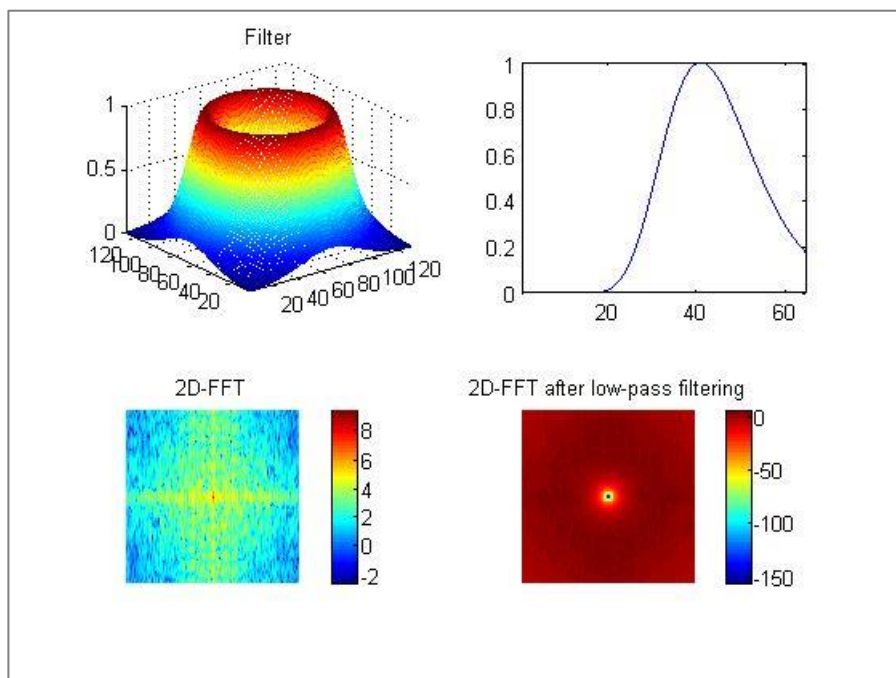


Figure 5. Caractéristiques du filtrage passe-bande.

Les travaux sur les fréquences spatiales ont montré que le système M joue un rôle important dans l'amorçage et la localisation (Steinman, Steinman, & Lehmkuhle, 1997). Ces fonctions sont également inhérentes à l'attention visuo-spatiale très précoce (Breitmeyer & Ganz,

1976). Les déficits attentionnels par exemple sont fortement liés au cortex pariétal postérieur, une région corticale atteinte par le système M (Chaudhuri & Albright, 1992).

Parallèlement, les informations visuelles perçues varient également dans le temps, selon des fréquences dites temporelles. Une fréquence temporelle correspond au nombre de fois où un phénomène se reproduit à l'identique pendant une unité de temps. Le système M est davantage sensible aux changements rapides et donc aux objets en mouvement, ce qui lui donne une bonne résolution temporelle (Ungerleider & Haxby, 1994). Le système P est quant à lui sensible aux changements lents et par conséquent aux objets statiques, ce qui lui permet une forte résolution spatiale. Les systèmes M et P ne codent donc pas les mêmes dimensions de l'objet.

Dans des conditions visuelles normales, les observateurs humains montrent une bande de sensibilité préférée pour chacune des deux voies avec un point de croisement à environ 1,5 cycles/deg (pour une revue, voir Skottun, 2000). Le système M est plus sensible aux fréquences spatiales inférieures à 1,5 cycles/deg, alors que le système P est quant à lui sensible à fréquences spatiales supérieures à 1,5 cycles/deg. Cependant, il existe un chevauchement considérable des fréquences spatiales entre les deux voies dans la gamme basse à moyenne des fréquences spatiales. Pour les fréquences spatiales supérieures à 10 cycles/deg ou pour les affichages avec des fréquences temporelles élevées, la voie P devient plus efficace que la voie M, en particulier lors de la mesure des seuils de sensibilité au contraste, mais les deux voies semblent être capables de traiter des fréquences spatiales inférieures à 10 cycles/deg qui sont présentés à faibles fréquences temporelles et dans des conditions de contraste normales (> 10%).

1.2.4.2. Paradigme d'isoluminance et de contraste

Le paradigme d'isoluminance et de contraste se concentre sur les sensibilités privilégiées de chacun des systèmes visuels en termes de contraste de luminance pour le

système M et de contraste de chromaticité pour le système P, comme cela a été abordé plus haut (voir *Figure 2*), la technique d'isoluminance consiste en la présentation d'un stimulus ne contenant aucune différence perceptible de luminance avec le fond et ne différant du fond qu'en termes de chromaticité (Jordan et al., 2007). Cette condition de présentation permet de biaiser sélectivement les traitements visuels vers le système P, sensible uniquement au contraste de couleur. À l'inverse, la présentation d'un stimulus ne différant du fond que par un très faible contraste de moins de 8%, permet de biaiser sélectivement les traitements visuels vers le système M, sensible uniquement au faible contraste de luminance (Tootell et al., 1988).

Plusieurs procédures existent pour mettre en place l'isoluminance du stimulus (pour une revue, voir (Jordan et al., 2007) : la photométrie d'un flicker hétérochromatique (*heterochromatic flicker photometry*), la procédure de mouvement (*motion mulling procedure*), le réglage perceptif de la luminance physique affichée à l'écran (*physical onscreen luminance matching*).

Dans ce travail de thèse, l'ajustement des seuils d'isoluminance a été faite par correspondance perceptive des luminances affichées à l'écran (*physical onscreen luminance matching*) et pour cela, la technique des bords minimalement distincts a été privilégiée (Wagner & Boynton, 1972). L'objectif premier était de faire correspondre perceptivement les luminances des différents composants, le stimulus et le fond, comme l'aurait fait un photomètre. De nombreux travaux ont eu recours à cette technique avec succès (Chase, Ashourzadeh, Kelly, Monfette, & Kinsey, 2003; Knoblauch, Arditi, & Szlyk, 1991; Lehky, 2000; Ojanpää & Näsänen, 2003; Travis, Bowles, Seton, & Peppe, 1990 ; voir aussi Allen et al., 2002). Néanmoins, des différences interindividuelles importantes du seuil d'isoluminance obligent à un ajustement individuel des niveaux de luminance dans les expériences. Ces différences interindividuelles suggèrent que l'isoluminance du stimulus et du fond prenne son

origine au niveau rétinien ou post-rétinien (Bilodeau & Faubert, 1997 ; voir aussi Cavanagh, MacLeod, & Anstis, 1987; Dobkins, Gunther, & Peterzell, 2000; Jordan et al., 2007; Livingstone & Hubel, 1987; von Berg, Ziebell, & Stiehl, 2002). L'opposition chromatique rouge/vert a été utilisée avec succès à de nombreuses reprises pour dissocier ces deux systèmes pour différentes tâches (e.g., Allen et al., 2002; Chase et al., 2003; Legge, Parish, Luebker, & Wurm, 1990; Ojanpää & Näsänen, 2003; Omtzigt, Hendriks, & Kolk, 2002; Travis et al., 1990).

1.3. La reconnaissance d'objet

En vision, trois niveaux de traitements se distinguent ainsi : 1/ la vision de bas niveau, ou traitement précoce de l'information visuelle, conduisant à une représentation perceptive, correspondante à l'extraction des primitives visuelles que sont la couleur, le contraste, les fréquences spatiales, la localisation, la direction, l'orientation et la vitesse d'un mouvement ; 2/ la vision intermédiaire, où se produit le rapprochement entre les différentes primitives visuelles pour l'élaboration de la forme, ou des élaborations plus formelles comme la texture, la colinéarité et la symétrie ; 3/ la vision de haut-niveau, avec des traitements de hauts niveaux conduisant à l'identification des objets, la catégorisation, etc. nécessitant l'accès aux représentations stockées en mémoire. La vision de bas niveau se fait de façon indépendante, et peut être influencée par les traitements descendants des niveaux supérieurs qui interagissent entre eux. Ces trois niveaux de vision sont complémentaires et interviennent tour à tour dans la reconnaissance visuelle.

1.3.1. *Modèles de reconnaissance visuelle d'objets*

De nombreux modèles de reconnaissance visuelle d'objets coexistent (pour une revue, voir Riesenhuber & Poggio, 2000) et considérant chacun des mécanismes spécifiques (pour

une revue, voir Riesenhuber & Poggio, 2002). En psychologie, la reconnaissance visuelle d'objets est définie par le modèle de Humphreys et Bruce (1989) distinguant trois étapes principales. Tout d'abord, la lumière est captée par les photorécepteurs présents au niveau de la rétine. Les primitives sont alors extraites des informations visuelles récoltées en mémoire iconique. Par la suite, la mémoire à court terme procède au codage de la « forme » avec extraction de la forme globale, codage du contour et ségrégation figure/fond. Enfin, ces premiers traitements permettent l'accès aux différentes représentations (structurales, sémantiques et lexicales) en mémoire à long terme. Ces trois étapes interviennent successivement afin que l'individu procède à la reconstruction de son environnement.

D'autres modèles demeurent et proposent des approches nuancées, voire radicalement différentes. Parmi les plus estimés, Marr (1983; Marr & Nishihara, 1978) propose un modèle de reconnaissance visuelle d'objets comme un processus de construction symbolique. Dans ce contexte, les trois étapes successives décrites précédemment aboutissent à une description des différentes parties de l'objet et à leur organisation relative, correspondant à terme à un format de représentation de l'objet en mémoire à long terme. Le modèle de Marr (1982) constitue la première proposition computationnelle d'ensemble. S'inspirant largement de ce premier modèle, Biederman (1987) a proposé un modèle de reconnaissance par composantes structurales. Ainsi, un « *objet serait représenté en mémoire comme un arrangement spatial de composantes volumétriques* » (Marendaz, Rousset, & Charnallet, 2003, p. 14). Pour Biederman (1987), ces composantes volumétriques sont des géons (néologisme issu de la contraction des termes anglais *geometrical* et *ions*). Pour reconnaître les objets, il suffirait donc de détecter les géons qui le composent, bien qu'il ne soit pas nécessaire pour cela que tous les géons soient visibles. La reconnaissance serait donc indépendante du point de vue (de profil ou de face par exemple).

L'architecture fonctionnelle du cortex visuel avait contribué à l'idée d'un traitement sériel de l'information visuelle, tour à tour au sein des différentes régions corticales visuelles ascendantes. Néanmoins, ces traitements ascendants sont renforcés par des traitements descendants simultanés (e.g., Bar, 2003; Bar et al., 2006; Bullier, 2001b; Fabre-Thorpe, 2011), et ces deux types de traitements opèrent donc de façon simultanée (Bullier, 2001b; Engel, Fries, & Singer, 2001). Il s'ensuit que nous voyons donc non seulement ce que nous percevons, mais aussi et surtout ce que nous connaissons. Par exemple, lorsque des ambiguïtés surviennent, le système visuel est amené à faire des suppositions basées sur les connaissances propres du sujet (Hegdé & Kersten, 2010).

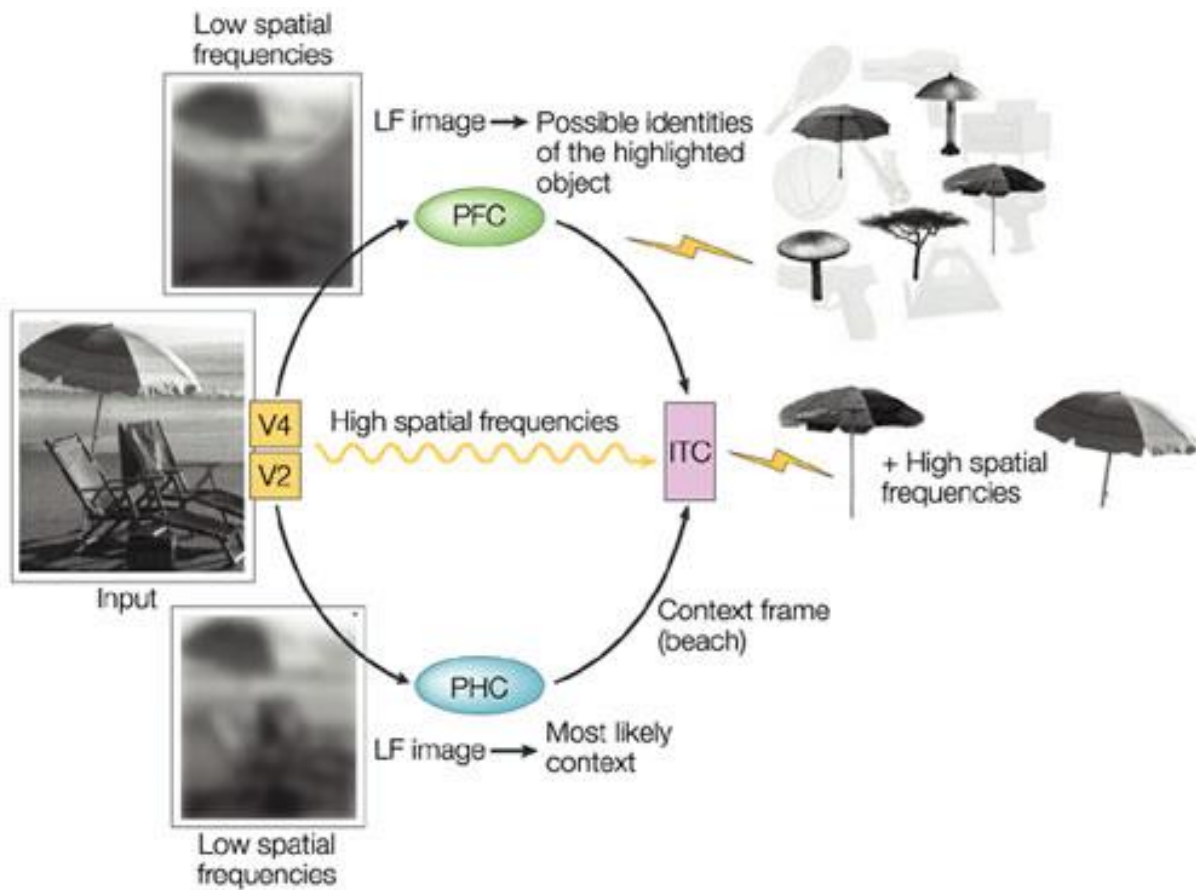
1.3.2. *Intégration des systèmes M et P*

Bar (2003, 2004 ; voir aussi Bar et al., 2006; Fenske et al., 2006; Tapia & Breitmeyer, 2011) a suggéré que la reconnaissance d'un objet se faisait en deux temps (*Figure 6*). Tout d'abord, une représentation composée des fréquences spatiales basses est projetée rapidement par le système M et la voie dorsale du cortex visuel primaire jusqu'au cortex orbito-frontal. Cette représentation grossière n'incluant pas de détails de l'objet suffit à l'accomplissement d'une tâche de haut niveau comme la catégorisation ou à l'extraction d'information sur le contexte (Bar, 2004; Torralba & Oliva, 2003). Cette première représentation permet d'activer un ensemble de candidats potentiels parmi les représentations en mémoire.

En parallèle, de façon systématique, mais plus lente, une représentation composée des fréquences spatiales moyennes et élevées est projetée via le système P par la voie ventrale. Ces informations de type P atteindraient le cortex visuel environ 20 ms après les informations de type M (Nowak, Munk, Girard, & Bullier, 1995). Cette représentation plus détaillée va être confrontée aux candidats pré-activés, et par comparaison va permettre la reconnaissance de l'objet. Elle sert donc à affiner, confirmer ou infirmer la première catégorisation (Oliva & Schyns, 1997; Schyns & Oliva, 1994, 1999).

Enfin, ce modèle propose une boucle de rétroaction de la voie M sur la voie P (Bullier, 2001b; Vidyasagar, 1999), opérant au niveau de la voie ventrale (Fabre-Thorpe, 2011). Cette rétroaction apporterait des informations supplémentaires notamment sur le contexte de l'image. Par la suite, d'autres auteurs (Tapia & Breitmeyer, 2011) ont proposé une modification de ce modèle en ajoutant une boucle de rétroaction des zones supérieures vers les couches inférieures de la voie ventrale, déjà afin de rendre compte des connexions anatomiques déjà existantes (e.g., Girard, Hupé, & Bullier, 2001), et aussi pour rendre compte de la perception consciente (Bullier, 2001a; Lamme, 2010).

On a bien ici un input visuel qui est traité de façon ascendante et qui grâce à la rétroaction de la voie dorsale sur la voie ventrale prend en compte des informations descendantes. Les mécanismes d'activation des représentations en mémoire reposent et dépendent bien des tout premiers traitements visuels.



Nature Reviews | Neuroscience

Figure 6. Illustration du modèle de reconnaissance visuelle d'objets proposé par Bar (2004).

Ce modèle de reconnaissance d'objet proposé par Bar et ses collaborateurs s'inscrit dans l'approche « *coarse-to-fine* », mise en évidence par l'étude des fréquences spatiales, et selon laquelle lors de la reconnaissance d'un objet ou d'une scène visuelle, une première information visuelle grossière est extraite rapidement, suivi d'une seconde information plus détaillée et plus lente qui vient sélectionner le candidat adéquat. L'hypothèse d'une première représentation grossière, suffisante pour une tâche de catégorisation, a été corroborée par des études computationnelles (Guérin-Dugué & Oliva, 2000; Herault, Oliva, & Guérin-Dugué, 1997). Un système artificiel simulant les traitements visuels opérés en V1 était capable de catégoriser des scènes naturelles sur la base des informations véhiculées spécifiquement par les fréquences spatiales basses ou moyennes et élevées.

Toutefois, la tâche mise en œuvre contraindrait fortement l'analyse des fréquences spatiales (Oliva & Schyns, 1997; Schyns & Oliva, 1994, 1999), opérant de telle sorte que le stimulus serait encodé préférentiellement par les fréquences spatiales optimisant son traitement (Bullier, 2001b), impliquant un mécanisme de sélection attentionnelle des fréquences spatiales critiques à la réalisation de la tâche.

Des études de patients présentant des lésions sélectives au niveau de ces deux voies ont associé le système P à l'identité des objets (Milner & Goodale, 1996) et le système M aux attributs visuels reliés à l'espace tels que le mouvement, la profondeur et les relations de position (Von Cramon & Kerkhoff, 1993). Dans le cas d'agnosie par exemple, la voie ventrale et donc le système P sont lésés. Le patient n'est donc plus capable de reconnaître un objet, mais il peut toujours utiliser sa vision pour le localiser et le saisir, ce qui signifie que la voie dorsale reste préservée. En outre, l'étude de troubles qui ne sont pas directement visuels, mais plutôt protéiformes montrait aussi certaine dissociation des systèmes M et P, avec notamment souvent une atteinte sélective du système M, comme par exemple dans le cas de la schizophrénie (e.g., Corcoran et al., 2017; O'Donnell et al., 1996), l'autisme (e.g., Pellicano & Gibson, 2008), certaines démences (e.g., Hamilton et al., 2008) ou dans la dyslexie (e.g., Gori, Cecchini, Bigoni, Molteni, & Facoetti, 2014; Gori, Seitz, Ronconi, Franceschini, & Facoetti, 2015; Stein, 2001; Vidyasagar & Pammer, 2010). Pour une partie de ces pathologies, la composante visuelle du trouble n'est pas prééminente et peut passer inaperçue. L'idée sous-jacente est qu'une très légère désorganisation des traitements perceptifs peut avoir un effet boule de neige sur d'autres traitements cognitifs associés (pour des revues, voir Butler & Javitt, 2005; Silverstein et al., 2015). La perturbation visuelle précoce peut même précéder le déclenchement du trouble (e.g., pour la schizophrénie ; Gagné et al., 2015) et son dépistage peut fournir un signe précurseur ou aider au diagnostic (e.g., pour la démence ; Hamilton et al., 2008). Parfois l'association entre le déficit visuel et le déficit des autres fonctions

cognitives résulte d'une atteinte plus générale (e.g., les conséquences d'un déficit en dopamine sur la vision colorée et le contrôle cognitif ; Colzato, Sellaro, Hulka, Quednow, & Hommel, 2014). Ces études ont d'ailleurs montré, qu'au sein des atteintes M, il existe certaines dissociations plus fines encore entre atteinte précoce et tardive (e.g., pour la schizophrénie ; Delord et al., 2006; Kelemen, Kiss, Benedek, & Kéri, 2013), ou bien une atteinte du système M uniquement de haut niveau (i.e., dorsale) dans l'autisme alors qu'elle affecte aussi les traitements de bas niveau dans la dyslexie (Pellicano & Gibson, 2008).

Ainsi, les systèmes M et P ont été largement étudiés dans la reconnaissance visuelle d'objets si bien que leurs implications et leurs interactions sont bien connues (e.g., Bar, 2003; Bordaberry et al., 2012; Lenoble, Bordaberry, Rougier, Boucart, & Delord, 2013 ; pour une revue, voir DiCarlo, Zoccolan, & Rust, 2012). Les traitements visuels M et P apportent donc des informations complémentaires sur le stimulus : l'un et l'autre prenant en charge des dimensions spécifiques de la forme. Le système M traite la forme globale d'un objet alors que le système P prend en charge les détails de la forme (Kaplan & Shapley, 1986; Macé, Thorpe, & Fabre-Thorpe, 2005). À noter que ces deux dimensions ont été distinguées dans l'étude de la vision depuis longtemps, bien avant les connaissances sur la dissociation M et P.

Traitement global vs. Traitement local de l'objet

Un pan important de la littérature sur la reconnaissance visuelle concerne l'étude de la forme globale de l'objet, des parties le composant et de la relation entre ces deux aspects. Un premier courant de pensée suggère une perception analytique, s'inspirant très largement du structuralisme. Dans le structuralisme, l'importance est donnée aux mécanismes associationnistes. Les unités de base seraient des percepts élémentaires à partir desquels une forme globale pourrait être extraite de façon secondaire (Titchener, 1909). Dans cette lignée, la perception analytique comme un tout postule, quant à elle, que les différentes parties d'une scène visuelle seraient d'abord perçues, avant que des procédures de reconnaissance de

configurations ne s'engagent (Neisser, 1967). La perception de figure géométriquement impossible (e.g., *Figure 7*) constitue un argument supplémentaire à l'organisation d'une perception visuelle à partir des détails (e.g., Pomerantz, 2007). En effet, le fait de ne pas découvrir immédiatement l'incohérence de la configuration de la figure suggère une extraction précoce des détails, sans intégration spontanée de la forme globale.

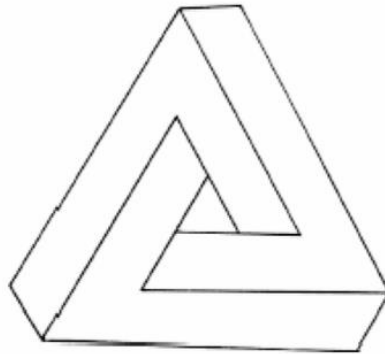


Figure 7. Exemple d'une figure géométrique impossible.
Figure modifiée d'après Pomerantz (2007).

Dans la théorie de l'intégration des traits (Treisman & Gormican, 1988), la primauté est accordée à la perception des composantes. La vision précoce permettrait ainsi d'extraire de l'objet des traits distincts. La recherche d'une cible, à partir d'un trait unique, repose alors sur sa différence avec des distracteurs, ce qui se fait automatiquement et sans effort (phénomène de *pop-out*). A contrario, dans le cas où la cible partage plusieurs traits, sa détection devient plus coûteuse en temps et en ressources attentionnelles. Dans ce contexte, les parties de l'objet donc extraites de façon précoce, et l'information sur la forme globale de l'objet résulte de l'organisation de ces différentes parties.

Toutefois, d'autres illusions suggèrent qu'une organisation perceptive plus large est également rapidement mise en place, comme le triangle virtuel de Kanisza (e.g., *Figure 8*). Dans cet exemple, les trois éléments sont présentés à distance des uns des autres et induisent une figure globale rapidement de façon prégnante.

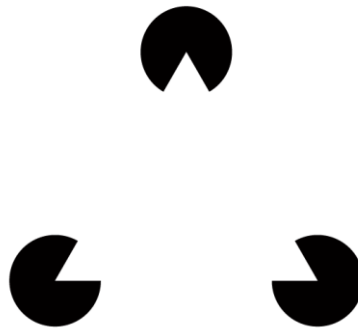


Figure 8. Triangle virtuel de Kanisza. Figure modifiée d'après Pomerantz (2007).

En outre, le modèle de reconnaissance visuelle d'objets proposé par Bar (2003) suggère qu'une information sur la forme globale de l'objet est projetée rapidement. Dans ce contexte théorique, la forme globale est considérée telle une primitive visuelle extraite précocement. Cette conception de la forme globale prend ses racines dans la théorie de la forme (i.e., le gestaltisme), selon laquelle le traitement de propriétés relatives à l'ensemble du stimulus s'impose dès les premières étapes les plus précoces de la perception visuelle, dissociant ainsi l'information de forme globale d'une simple somme des parties composant l'objet (Rosenthal & Visetti, 1999; Wertheimer, 1967). Un des arguments phare en faveur vient de l'effet de précedence globale (Navon, 1977). Un stimulus visuel représentant une lettre (niveau global) est composé de plusieurs petites lettres (niveau local). Le niveau global sera rapporté plus facilement que le niveau local. Un exemple est présenté à la *Figure 9*.

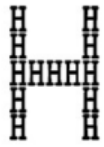

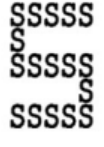

	Congruent	Incongruent
Local	 Target: H	 Target: H
Global	 Target: S	 Target: S

Figure 9. Exemples de stimuli utilisés dans une tâche de traitement global/local. Le niveau global ou local doit être identifié (les lettres « H » ou « S »). Les stimuli peuvent être congruents (la même lettre est présentée aux niveaux global et local) ou incongruents (avec des lettres différentes présentées). Figure modifiée d'après Zmigrod, Zmigrod et Hommel (2015).

Cet effet de précocité de la forme globale peut s'expliquer en termes de différences de vitesse de propagation de l'information. Nous avons vu précédemment que les informations sur la forme globale de l'objet sont codées très rapidement par les fréquences spatiales basses (Breitmeyer & Ganz, 1976), et l'effet de précedence globale est alors partiellement imputable au système M (Michimata, Okubo, & Mugishima, 1999). La précedence globale s'observe pour tous types d'objets, que celui-ci ait un sens ou non (i.e., une lettre ou une tasse vs. une forme non-géométrique). Toutefois, lorsque deux informations contradictoires sont présentées au niveau global et au niveau local, comme par exemple la lettre S composée de plusieurs petits H (comme la condition incongruente globale de la *Figure 9*), un effet d'interférence globale se produit, et ce spécifiquement pour les objets signifiants (Poirel, Pineau, & Mellet, 2008) : alors que le participant doit identifier le niveau local, le niveau global interfère et ralentit significativement le traitement. De ce fait, les effets de la précedence globale et de l'interférence globale reposent donc sur deux mécanismes différents. Cette interférence

globale découlerait d'une interaction inhibitrice du système M sur le système P : les fréquences spatiales basses, véhiculées très rapidement par le système M constitué de cellules à réponses phasiques, viendraient inhiber la réponse plus lente des fréquences spatiales élevées, dépendant du système P composé de cellules à réponses toniques (Hughes, Layton, Baird, & Lester, 1984; Hughes, Nozawa, & Kitterle, 1996). La précedence globale résulte d'un mécanisme sensoriel actif prédominant, alors que l'interférence globale est sous-tendue par des processus automatiques et sémantiques.

Le mode de traitement global et le mode de traitement local constituent ainsi deux aspects du traitement, et ne sont indépendants l'un de l'autre qu'en partie (Luna & Montoro, 2008). Chez l'adulte jeune tout venant, la perturbation du traitement de relations spatiales fines peut faire disparaître l'effet de supériorité du niveau global. Lorsque la configuration de l'objet est difficile à extraire (mode de traitement local) à cause des irrégularités des éléments, les relations spatiales sont affectées et l'effet de précedence globale diminue. Néanmoins, l'effet de précedence globale persiste malgré l'hétérogénéité des éléments locaux (Navon, 2003).

De la même façon que certains processus sont latéralisés (pour une revue, voir Hervé, Zago, Petit, Mazoyer, & Tzourio-Mazoyer, 2013), comme les processus langagiers sont relatifs à l'hémisphère gauche et les processus visuo-spatiaux le sont pour l'hémisphère droit, des études de patients avec des lésions cérébrales unilatérales (e.g., Delis, Robertson, & Efron, 1986; Robertson, Lamb, & Knight, 1988) ainsi que des études en neuroimagerie d'adultes sains (e.g., Brederoo, Nieuwenstein, Lorist, & Cornelissen, 2017; Fink et al., 1997; Han et al., 2002) ont montré que l'hémisphère gauche serait spécialisé dans l'identification des éléments locaux des stimuli visuels alors que l'hémisphère droit le serait pour l'identification de la forme globale. Ces résultats ont ensuite été corroborés par des données comportementales (e.g., Yovel, Levy, & Yovel, 2001). Les études en filtrage de fréquences

spatiales corroborent une supériorité de l'hémisphère droit dans le traitement des fréquences spatiales basses ainsi qu'une supériorité de l'hémisphère gauche dans le traitement des fréquences spatiales élevées (Peyrin et al., 2005; Peyrin, Baciou, Segebarth, & Marendaz, 2004; Peyrin, Chauvin, Chokron, & Marendaz, 2003).

Cette latéralisation des traitements global et local vient renforcer l'idée d'une prise en charge parallèle de ces deux modes de traitement. Enfin, il est important de noter qu'il n'y a pas de supériorité hémisphérique pour la reconnaissance visuelle de scène naturelle (Goldberg & Costa, 1981) lorsque l'image est naturelle et non filtrée, c'est-à-dire que toutes les gammes fréquentielles sont disponibles (Peyrin et al., 2003).

Face à un objet visuel, deux modes de traitements complémentaires sont donc à l'œuvre. Le mode de traitement global, le plus rapide, semble prévaloir sur le second, le mode de traitement local. Néanmoins, ils ne sont pas indépendants et interviendraient en parallèle. Ces arguments sont en faveur du modèle de reconnaissance visuelle de Bar (2003, 2004). Le prochain chapitre explicitera les traitements visuels d'un objet particulier : le mot. Un point important est à souligner, les figures de Navon utilisent un objet particulier : des lettres, comme une heureuse transition. L'objectif général de la thèse était d'évaluer si la distinction P/M qui a d'abord été appliqué à la reconnaissance visuelle d'objets, était assez générale pour rendre compte de certains effets lexicaux. Après ce premier chapitre consacré aux objets, le chapitre 2 présente donc la spécificité des traitements d'un objet remarquable : le mot.

Chapitre 2 : Le langage écrit

Le mot constitue l'unité fondamentale du processus de lecture (Ferrand, 2007), le point de rencontre entre les différents niveaux de représentations (visuel, orthographique, phonologique, morphologique, sémantique et syntaxique). Un mot est composé d'une ou plusieurs lettres. Son identification suppose que les lettres le composant soient vues et identifiées, d'où l'importance des processus visuels (Legge, Pelli, Rubin, & Schleske, 1985). La reconnaissance visuelle des mots est une étape essentielle de la lecture dont l'efficacité conditionne la compréhension du texte. Elle s'appuie sur des mécanismes sous-lexicaux (au niveau des traits des lettres, des lettres, de la syllabe, etc.) et des mécanismes lexicaux (au niveau du mot) qui permettent l'accès au lexique mental du lecteur par correspondance entre un stimulus visuel et la représentation en mémoire d'un mot (pour une revue, voir Mathey, 2001). Ce traitement du mot correspond à l'accès lexical ou récupération lexicale (pour une revue, voir Davis, 2010). Les modèles de reconnaissance visuelle des mots postulent que différents mécanismes et représentations sont impliqués dans le traitement visuel des stimuli orthographiques (Protopapas & Kapnoula, 2016).

2.1. Reconnaissance visuelle de mots

La plupart des auteurs s'accordent sur le fait que la lettre est l'unité de base de la perception des mots écrits (Bowers, 2000; Grainger & Jacobs, 1996; McClelland & Rumelhart, 1981; Paap, Newsome, McDonald, & Schvaneveldt, 1982). Aussi, notre capacité à lire un mot dépend largement de l'efficacité avec laquelle nous sommes capables d'identifier chaque lettre composant celui-ci (Pelli, Farell, & Moore, 2003). De même, nombreux sont ceux qui pensent que pour pouvoir reconnaître une lettre quelles que soient la police et la casse, la connaissance de l'identité abstraite des lettres (Morais, 1994) est primordiale et

constitue un système à part entier regroupant l'ensemble des connaissances sur la lettre comme son nom, ses déclinaisons écrites possibles, le ou les phonèmes associés, etc. Par exemple, la lettre « A » possède plusieurs allographes : « A », « a », « a ». Enfin, outre l'identité des lettres, leur position est également importante pour pouvoir identifier un mot dans des langues alphabétiques (tels que le français, l'anglais ou l'allemand) qui possèdent beaucoup d'anagrammes (e.g., « maison » et « aimons »). En outre, la sensibilité à la position des caractéristiques locales du mot, soit la chaîne de lettres, détermine fortement les capacités de lecture et l'identification du mot écrit chez l'enfant et chez l'adulte (Pammer et al., 2004). Le lecteur est donc sensible aux caractéristiques visuelles internes des mots (Pammer & Vidyasagar, 2005), un point de vue corroboré par des études en neuroimagerie (Tarkiainen, Helenius, Hansen, Cornelissen, & Salmelin, 1999) et des études chez le lecteur dyslexique développemental (Salmelin, Service, Kiesilä, Uutela, & Salonen, 1996). Lors de l'identification du mot, l'identité et la position relative des lettres dans le mot peuvent être encodées de différentes façons.

2.1.1. Codage de l'identité et de la position des lettres dans les mots

De nombreux modèles de reconnaissance visuelle de mots existent (pour une revue, voir Lupker, 2005), et certains de ces modèles postulent un codage simultané de l'identité et de la position de la lettre, notamment grâce à un traitement parallèle de l'information et la diffusion de l'activation. Le modèle d'« Activation-Interactive » (AI, McClelland & Rumelhart, 1981; Rumelhart & McClelland, 1982 ; pour une revue, voir Mathey, 2001), illustré dans la *Figure 10*, constitue à ce jour un des modèles prédominants pour les lecteurs experts et non experts. Il fonctionne comme un réseau connexionniste de trois niveaux de traitement hiérarchiques : les niveaux trait des lettres, lettre et mot.

Lors de la lecture d'un mot, les traits des lettres sont encodés au niveau trait des lettres,

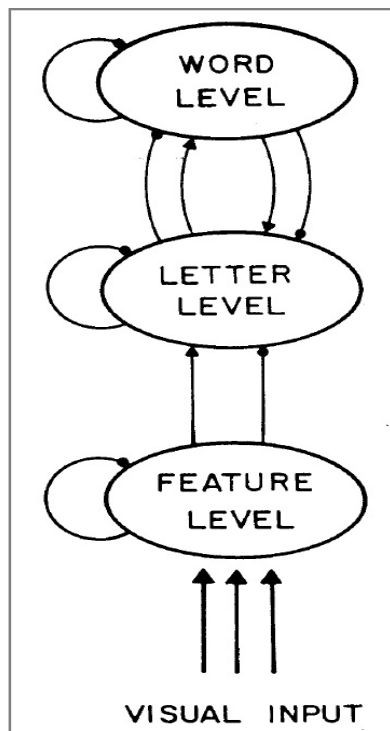


Figure 10. Illustration partielle de la voie de reconnaissance visuelle des mots issue du modèle de McClelland et Rumelhart (1981). Les flèches pointues et les flèches arrondies désignent respectivement les connexions activatrices et inhibitrices.

activant ainsi les lettres associées au niveau lettre, lesquelles activent à leur tour les mots compatibles au niveau mot. Les traits des lettres et les lettres sont encodés directement et en parallèle en fonction de leur position dans le mot. Ensuite, les unités des lettres incompatibles activées au niveau lettre, seront inhibées au même niveau ou par le niveau supérieur par les unités mots correctement activées. L'inhibition d'une unité par une unité d'un niveau supérieur correspond au mécanisme de réverbération. Une fois activées au niveau de la représentation lexicale, les unités lexicales incorrectes

s'inhibent mutuellement. Il s'agit là de l'inhibition latérale.

L'activation de plusieurs mots résulte de l'existence de mots similaires orthographiquement dans le lexique, les voisins. Le mot est alors identifié lorsque son niveau d'activation a atteint un certain seuil. Des connexions intra et inter-niveaux

sont mobilisées. Elles sont activatrices ou inhibitrices, ascendantes (des traits vers les lettres vers les mots par exemple) ou descendantes (des mots vers les lettres). Enfin, la diffusion de l'activation et de l'inhibition s'opère de façon concomitante et non pas séquentielle. Ce modèle considère le traitement des lettres comme une étape importante de la reconnaissance visuelle du mot. L'identité abstraite des lettres constitue alors l'unité de base de la reconnaissance visuelle des mots.

Le modèle « Dual-Route Cascaded » (DRC, Coltheart, Rastle, Perry, Langdon, & Ziegler, 2001) propose quant à lui de coder la position relative de la lettre en fonction de la première lettre du mot. Il distingue deux voies de reconnaissance activées simultanément et

qui opèrent en parallèle. La première est appelée procédure lexicale (ou route directe ou procédure orthographique). Elle procède à l'appariement direct de la configuration écrite du mot avec sa représentation orthographique en mémoire. Elle ne nécessite pas d'activation préalable des connaissances phonologiques. Lorsque l'appariement est suffisant, les connaissances phonologiques, syntaxiques et sémantiques associées à la représentation orthographique sont activées et deviennent alors disponibles pour le lecteur. Cette voie permet l'identification des mots fréquents et aussi la lecture rapide de mots irréguliers comme « oignon », « chorale » dès lors que celui-ci est familier pour le lecteur. La seconde voie est appelée procédure prélexicale phonologique (ou route indirecte ou d'assemblage phonologique). Avant l'accès au lexique, les informations orthographiques sont transformées en informations phonologiques grâce aux règles de correspondance entre les graphies et les phonies, par exemple. Cette voie permet l'identification des mots peu fréquents pour le lecteur, des mots nouveaux et des pseudomots.

Enfin, les lettres et leur position peuvent aussi être encodées grâce au codage spatial, dépendant de niveaux d'activation relatifs, comme dans le modèle SOLAR (Davis, 1999, 2006). La position de la lettre n'est pas codée comme une information unique, mais au sein d'un ensemble de lettres : dans le modèle AI, les lettres sont encodées en fonction de la position des unes par rapport aux autres alors que dans le modèle DRC, la position des lettres est codée par rapport à la première lettre. Dans le modèle SOLAR, l'ensemble de lettres est codé comme un gradient d'activation, augmentant ou descendant de façon monotone avec la valeur la plus élevée pour les premières lettres et la valeur plus basse pour la lettre finale. Le mot est donc reconnu lorsque les ensembles en compétition sont comparés avec succès au stimulus présenté.

2.1.2. *Traitements visuels précoces*

La reconnaissance de mots, comme la reconnaissance d'objets, n'est donc pas un processus strictement sériel et rend compte de nombreux effets interactifs (Bullier, 2001b; Humphreys, Riddoch, & Price, 1997). Un traitement de niveau supérieur peut ainsi être amorcé bien avant que les précédents niveaux d'analyse ne soient achevés, pour ensuite venir les influencer, via un traitement descendant. L'effet de supériorité du mot est une manifestation évidente de ce processus descendant. Une lettre est reconnue plus facile lorsqu'elle est présentée dans un mot que dans un non-mot. Une connaissance préalable du mot facilite la reconnaissance de ses lettres. Toutefois, les processus visuels précoces, dits de bas-niveaux, conditionnent et initient les traitements ultérieurs.

Le traitement visuel des lettres et des mots est limité par trois différentes notions théoriques, toutes définies en termes d'empan. Premièrement, l'empan perceptif (*perceptual span*) correspond à la région du champ visuel, autour du point de fixation à l'intérieur de laquelle l'information utile est extraite. Cette région est généralement mise en évidence par la technique de la fenêtre mobile (Rayner, 1998). Pour les langues se lisant de gauche à droite (Rayner, 1998), cet empan perceptif s'étend de 3 à 4 caractères à gauche du point de fixation puis d'environ 15 caractères à droite pour des symboles (McConkie & Rayner, 1975; Rayner & McConkie, 1976) ou d'environ 8 caractères à droite pour des lettres (Rayner, Well, Pollatsek, & Bertera, 1982). Deuxièmement, l'empan visuel (*visual span*) correspond quant à lui à la région du champ visuel au sein de laquelle les lettres peuvent être reconnues avec exactitude (O'Regan, Lévy-Schoen, & Jacobs, 1983). Il est mesuré par des tâches de reconnaissance visuelle de trigramme de lettres présenté à droite ou à gauche du point de fixation. Cet empan est contraint et influencé par les primitives visuelles de bas niveaux comme le contraste (Legge, Ahn, Klitz, & Luebker, 1997). Dernièrement, l'empan visuo-attentionnel (*visuo-attentional span*) qualifie la quotité d'informations orthographiques

traitées en une seule fixation (Bosse, Tainturier, & Valdois, 2007). Cet empan est obtenu grâce à des tâches de restitution, globale ou partielle, de suites de lettres présentées brièvement. Cet empan dépend du stimulus (e.g., mot régulier ou irrégulier) et des capacités du lecteur (e.g., lecteur novice ou lecteur expert) et est repris par le modèle « *Multi-Trace Memory* » (MTM d'Ans, Carbonnel, & Valdois, 1998). Ces trois concepts sont proches, bien que distincts, mesurés par des tâches différentes et modélisés par des théories différentes. Ils rendent ainsi compte des limites des traitements visuels durant la lecture.

La majorité des modèles psycholinguistiques de reconnaissance visuelle de mots ne tiennent pas ou très peu compte des traitements visuels à proprement parler. Dans les modèles précédemment abordés, ceux-ci étaient désignés par un niveau unique : le niveau de traits des lettres dans le modèle AI et les unités des caractéristiques visuelles dans le modèle DRC. Il est vrai que le matériel verbal de base, c'est-à-dire les lettres, apparaît d'une complexité limitée par rapport à la complexité des objets, dont la forme, l'orientation et la position varient de façon drastique pour un même objet. Par exemple, l'objet « table » peut être circulaire ou rectangulaire, avoir un ou plusieurs pieds, être de toute taille sur la rétine, de différentes couleurs, et plus ou moins masqué dans une scène alors que le mot « TABLE » peut être écrit en majuscules ou minuscules, et varier de quelques degrés d'angle visuel à peine, mais toujours dans la même séquence et orientation. Il y a plus de mots que d'objets (les concepts), mais ils sont tous composés de quelques formes géométriques extrêmement simples puisque l'alphabet ne comporte qu'un nombre limité de lettres (26), alors que les formes du monde environnant sont particulièrement nombreuses, complexes et variables. De ce fait, le traitement visuel du matériel verbal a longtemps été considéré comme rudimentaire et comme une étape négligeable, en comparaison des traitements de haut niveau d'activation de représentation des mots en mémoire. Pourtant, les mécanismes d'activation des

représentations en mémoire dépendent des tout premiers traitements visuels opérés (e.g., modèle de reconnaissance d'objet de Bar, 2003).

Certains modèles de reconnaissance visuelle des mots ont envisagé deux procédures d'identification du mot écrit distinctes, tout en tentant de prendre en compte les processus visuels précoces. Le modèle « *Multi-Trace Memory* » (MTM de Ans et al., 1998 ; e.g., Bosse & Valdois, 2009) propose deux procédures d'identification du mot mettant en jeu une fenêtre visuo-attentionnelle, aussi appelée empan visuo-attentionnel (EVA). Cet EVA correspond à la fenêtre focale permettant d'extraire les informations sur un mot en une fixation. La première procédure est dite globale. L'EVA correspond ici à la taille du stimulus. La procédure globale est utilisée pour les mots familiers au lecteur. Si le mode global échoue dans la reconnaissance du stimulus, le lecteur passe à la seconde procédure dite analytique. La procédure analytique, requiert un EVA réduit permettant le traitement d'unités de taille inférieure au mot comme la syllabe, le graphème voire la lettre si nécessaire. Cette seconde procédure est sollicitée pour les mots rares ou inconnus du lecteur et les pseudomots. Les capacités d'attention visuelle contribuent ainsi au développement de compétences en lecture en CP, CE2 et CM2 (Bosse & Valdois, 2009), augmentant avec l'expertise en lecture et permettant le traitement parallèle des lettres. Pour résumer, le modèle MTM et les données empiriques disponibles suggèrent que l'acquisition du savoir orthographique lexical repose non seulement sur le décodage, mais aussi sur la capacité de l'enfant à traiter la chaîne de lettre entière du mot en parallèle.

Le modèle « *Hybrid Holistically Biased* » (HHB, Allen & Emerson, 1991; Allen, Madden, & Slane, 1995; Allen, Smith, Lien, Kaut, & Canfield, 2009) considère aussi deux voies en compétition, qu'il met en parallèle des deux voies visuelles. La voie holistique ou « *whole-word channel* » propose qu'une représentation de la forme globale du mot soit stockée en mémoire et sa pré-activation suffise à permettre la reconnaissance du stimulus.

Elle est efficace pour les mots familiers au lecteur et est soutenue par le système M. La seconde est la voie orthographique ou « *letter-level channel* ». Elle fait appel aux processus orthographiques comme décrits dans le modèle AI (McClelland & Rumelhart, 1981). Elle permet la reconnaissance des mots non-familiers ou inconnus pour le lecteur et est soutenue par le système P. Le modèle HHB s'inspire d'une certaine façon du modèle de lecture proposé par Chase (1996), au sein duquel le système M codait directement le matériel langagier. Ce modèle considèrerait que la perception visuelle n'est pas instantanée, mais résulte plutôt d'une intégration asynchrone des informations M et P.

Auparavant, un premier modèle de lecture prenant en compte le système M avait été proposé (Breitmeyer, 1980). Selon ce modèle, le matériel langagier était traité exclusivement par le système M, dont la fonction était de réguler les traitements P en réduisant la persistance rétinienne et le flou entraîné par le chevauchement des informations visuelles provenant de deux saccades successives. Par la suite, ce modèle a été fortement critiqué (Chase, 1996; Skottun, 2000), notamment suite à la mise en évidence d'une suppression des informations M et non P lors d'une saccade (Breitmeyer & Ogmen, 2000; Skottun & Parke, 1999).

Les modèles MTM et HHB sont complémentaires et compatibles avec le modèle de reconnaissance visuelle des objets proposé par (Bar, 2003, 2004). Le modèle HHB comme le modèle MTM considèrent deux voies de traitement pour la reconnaissance d'un matériel verbal. La procédure globale du modèle MTM correspondrait à la voie holistique du modèle HHB, suggérant un traitement global et rapide du mot véhiculé par le système M pour les mots familiers au lecteur. La procédure analytique du modèle MTM correspondrait quant à elle à la voie orthographique du modèle HHB, suggérant ainsi un traitement local et en détail du mot, par graphème ou par lettre par exemple, véhiculé par le système P pour les mots non familiers ou inconnus pour le lecteur.

2.1.3. *Spécificité du pseudomot*

Les tâches psycholinguistiques ont recours à des stimuli verbaux qui peuvent être des lettres, des mots, des pseudomots (une suite de lettres prononçable, régulière, qui n'a pas de sens, e.g., *poupic*) et des non-mots (une suite de lettres non prononçable et irrégulière, e.g., *uptlse*). Dans une tâche de décision lexicale, le participant doit évaluer si la suite de lettre présentée constitue un mot ou un pseudomot. Un pseudomot est une séquence de lettres prononçable et conforme à la structure des mots dont le traitement diffère de celui d'un mot : si un mot doit être reconnu, un pseudomot doit être rejeté. L'activité globale du lexique est prise en compte ici. En 1992, Jacobs et Grainger (1992) ont introduit un mécanisme de décision au modèle AI pour permettre les réponses négatives ainsi que la notion de limite temporelle, limite dépendante de l'activité globale du lexique. Une réponse « oui » (« oui, c'est un mot ») peut être donnée par le participant si un candidat, parmi tous les mots orthographiquement proches, atteint le seuil de reconnaissance avant cette limite temporelle. Si ce n'est pas le cas, une réponse « non » (« non, ce n'est pas un mot ») peut alors être donnée.

Comme vu précédemment, les modèles de reconnaissance visuelle distinguent très souvent deux voies (*dual-route theory* ; Coltheart, Curtis, Atkins, & Haller, 1993; Coltheart et al., 2001 ; voir aussi Marshall & Newcombe, 1973). Les pseudomots et les mots peu familiers ou inconnus du lecteur sont traités par une voie sous-lexicale, telles que la procédure prélexicale phonologique du DRC, la procédure analytique du modèle MTM et la voie orthographique du modèle HHB. Les mots familiers pour le lecteur sont eux traités par une voie lexicale, comme la procédure lexicale du modèle DRC, la procédure globale du modèle MTM et la voie holistique du modèle HHB.

Les études en tomographie par émission de positons (TEP) ont montré que diverses aires corticales étaient activées lors de la présentation visuelle ou auditive d'un mot et d'un

pseudomot (e.g., *poupic*) et non par un non-mot (e.g., *uptlse*, voir aussi Mazoyer et al., 1993). Enfin, des différences montrées en potentiels évoqués suggéraient un traitement différentiel des mots et des pseudomots par rapport aux non-mots ainsi que des mots par rapport aux pseudomots et aux non-mots (Ziegler, Besson, Jacobs, Nazir, & Carr, 1997).

2.2. Lecture

La lecture est une activité qui met en jeu principalement deux groupes d'opérations : d'une part, des opérations d'identification des mots écrits qui assurent la traduction des signes graphiques en langage : d'autre part, des opérations de compréhension qui assurent le traitement du sens des mots, des phrases pour atteindre la signification intégrée du texte.

La reconnaissance visuelle des mots constitue une étape essentielle de la lecture. Son acquisition débute avec l'identification des mots par décodage phonologique dès l'entrée à l'école. L'apprentissage typique de la lecture consiste en la conversion du langage écrit en langage oral grâce à trois niveaux d'encodage : 1/ le code orthographique rassemblant l'identité des lettres composant le mot et leur position relative, 2/ le code phonémique regroupant l'identité des phonèmes et leur correspondance aux graphèmes du mot et 3/ le code sémantique réunissant l'ensemble des connaissances conceptuelles nécessaires à la compréhension du mot. Chez le lecteur expert, l'activation de ces codes est hiérarchisée, avec un avantage du code orthographique sur le code sémantique, et une activation beaucoup plus tardive du code sémantique (Ferrand & Grainger, 1993; Plaut & Booth, 2000). Le déchiffrement correct du code orthographique est donc primordial au processus d'identification du mot, d'où l'importance des traitements visuels précoces.

2.2.1. *Acquisition normale*

L'apprentissage du langage écrit est généralement décrit en deux étapes. Une étape initiale appelée en français « entrée dans l'écrit » (*early literacy*) qui se déroule grossièrement entre 3 et 6 ans. Au cours de cette étape, l'enfant réalise un certain nombre d'acquisitions sur l'écrit : ses fonctions, son fonctionnement graphique et son fonctionnement linguistique (Bouchière, 2011). Ces acquisitions sont réalisées dans le cadre familial et dans le cadre scolaire préélémentaire. La seconde étape est celle de l'apprentissage formel de la lecture et de l'orthographe (Colé & Valdois, 2007). La maîtrise de la lecture est un apprentissage capital car elle conditionne la réussite scolaire et l'avenir social et professionnel des enfants.

Au cours de l'étape d'entrée dans l'écrit, les jeunes enfants commencent par développer leur connaissance des lettres (Foulin, 2007). Dans un grand nombre de pays, les lettres sont d'abord identifiées par leur nom et en capitales d'imprimerie (Bouchière, Ponce, & Foulin, 2010). Les lettres capitales présentent l'avantage d'avoir une forme principalement rectiligne, plus simple et de plus grande taille que les lettres minuscules. Les travaux récents montrent que la connaissance des lettres permet aux enfants de progresser dans leur connaissance de l'écrit. Ainsi, la manipulation du nom des lettres permet aux enfants de comprendre la fonction des lettres et elle facilite l'apprentissage du son des lettres (Foulin, 2005). La connaissance des lettres permet également une première étape de reconnaissance visuelle des mots écrits. Par la procédure de reconnaissance logographique, les enfants reconnaissent les mots à l'aide d'indices visuels, par exemple une ou plusieurs lettres, et ils construisent un lexique visuel initial (Frith, 1985).

Grâce à l'apprentissage du son des lettres et de la conversion des graphèmes en phonèmes, l'enfant abandonne la procédure logographique (où le mot est reconnu comme une image) pour la procédure graphophonologique (ou assemblage). Le mot est alors identifié comme une suite de correspondances graphèmes-phonèmes. La pratique (réussie) du décodage

graphophonologique aboutit à la formation de représentations orthographiques des mots écrits, c'est-à-dire au développement d'un lexique orthographique. Le lecteur procède alors par reconnaissance orthographique (ou visuelle) des mots (ou adressage). Les mots ne sont plus traités comme des symboles ou par analyse et synthèse de correspondances graphèmes-phonèmes, mais comme des séquences de lettres. La reconnaissance orthographique du mot permet de récupérer les différentes informations sur le mot, orthographiques, phonologiques, morphologiques, syntaxiques et sémantiques, stockées en mémoire à long terme sous forme de représentations mentales. Au long de l'apprentissage de l'identification des mots écrits, l'évolution des procédures s'accompagne de phénomènes d'automatisation qui permettent une identification des mots écrits de plus en plus efficace (Colé & Valdois, 2007).

À la suite du modèle proposé par Frith (1985), le modèle DRC (Coltheart et al., 2001) est le principal modèle utilisé pour étudier l'acquisition de la lecture. Dans des tâches de lecture à haute voix, le lecteur débutant utilise davantage la procédure prélexicale, en français (Leybaert & Content, 1995; Sprenger-Charolles & Bonnet, 1996; Sprenger-Charolles, Siegel, Béchenec, & Serniclaes, 2003; Sprenger-Charolles, Siegel, & Bonnet, 1998), comme en anglais (e.g., Backman, Bruck, Hebert, & Seidenberg, 1984; Waters, Seidenberg, & Bruck, 1984), ou en allemand (e.g., Wimmer & Hummer, 1990). Ainsi, en français, le lecteur débutant utilise rapidement les graphèmes (Sprenger-Charolles, 1994; Sprenger-charolles & Casalis, 1995; Sprenger-Charolles et al., 1998) ou les syllabes (Colé, Magnan, & Grainger, 1999; Colé & Sprenger-Charolles, 1999) plutôt que les lettres comme bases d'identification. Dans des tâches en lecture silencieuse, les caractéristiques phonologiques des items affectent davantage les lecteurs débutants (Booth, Perfetti, & MacWhinney, 1999; Bosman & de Groot, 1996; Sprenger-Charolles et al., 1998). Enfin, la transparence de la langue peut affecter l'acquisition de la lecture (pour des revues, voir Sprenger-Charolles, 2003; Ziegler & Goswami, 2005). Dans la majorité des langues européennes, l'acquisition de la lecture s'opère

assez facilement excepté en portugais, en français et en danois, et les difficultés sont encore plus importantes en anglais (Seymour, Aro, Erskine, & collaboration with COST Action A8 network, 2003). Ces langues sont considérées comme opaques, comprenant une forte complexité lexicale et une correspondance graphème-phonème plurivoque.

À termes, l'objectif du lecteur apprenant est de devenir un lecteur expert reconnaissant les mots écrits de façon automatique et capable de consacrer son attention volontairement à d'autres caractéristiques du langage écrit que le code orthographique (pour une revue, voir Wolf & Katzir-Cohen, 2001). Un lecteur expert peut, dans le cadre de conditions visuelles dégradées, se reposer sur les éléments contextuels plutôt que le texte lui-même. Le lecteur débutant débute son apprentissage formel de la lecture dès le CP. Celle-ci est supposée automatisée dès la fin du cycle 2, avant l'entrée en collège. Toutefois, il a été montré que l'apprentissage devait très souvent se prolonger au-delà de ce pallier (e.g., Bonjour & Gombert, 2004). Parmi les élèves de l'échantillon, âgés de 9 à 15 ans (âge moyen = 11.34 ; ET = 0.64) entrant en classe de 6^{ème}, 30% étaient lecteurs experts, 56% présentaient une maîtrise de la lecture toujours en cours d'acquisition et 14% éprouvaient des difficultés importantes.

Ainsi, la lecture est une activité complexe. En premier lieu, l'enfant doit d'abord apprendre à décoder le mot via la conversion graphème-phonème. Au fur et à mesure que ce décodage s'automatise, la lecture évolue et passe d'un traitement sériel à un traitement parallèle des lettres. Cette automatisation rend la lecture plus fluide et permet au lecteur de se concentrer non plus sur le décodage des mots, mais sur leur compréhension.

2.2.2. Trouble développemental de la lecture

La dyslexie développementale est un trouble spécifique de la lecture et de l'identification du mot écrit. Elle est caractérisée par « un déficit durable et significatif du langage écrit qui ne peut s'expliquer par une cause évidente » (Agence Nationale

d'Accréditation et d'Evaluation en Santé, 1997, p. 4). La dyslexie développementale est diagnostiquée chez les enfants qui ne parviennent pas à acquérir des compétences de lecture appropriées en l'absence d'autres dysfonctionnements cognitifs, tels qu'une vision dégradée ou un déficit neurologique (Stanovich, 1988b; Vellutino, 1981). Elle peut persister jusqu'à l'adolescence voire l'âge adulte. Ce trouble n'est pas consécutif d'un accident ou déficit cérébral et renvoient à une minorité de lecteurs sans troubles intellectuels ou de santé. Dans le cas contraire, on parle alors de dyslexie acquise aussi appelée alexie. Un lecteur dyslexique n'est pas un mauvais lecteur tout-venant, bien que l'un et l'autre montrent des déficits de même nature dans les procédures de reconnaissance de mots (Stanovich & Siegel, 1994 ; pour une revue, voir Stuebing et al., 2002). Dans la suite de ce travail de thèse, le terme dyslexie désignera la dyslexie développementale, lorsque le sous-type de celle-ci n'est pas explicitement précisé.

Les causes et les effets de la dyslexie sont encore débattus, et même sa définition demeure controversée (Elliott & Grigorenko, 2014). Néanmoins, on retrouve de manière consensuelle des difficultés de l'apprentissage de la lecture, un déficit phonologique ainsi que des difficultés de lecture à voix haute et d'épellation (Aaron, 1997; Lyon, Shaywitz, & Shaywitz, 2003; Siegel, 2006; Vellutino, Fletcher, Snowling, & Scanlon, 2004). Les enfants lecteurs dyslexiques par exemple ont des difficultés pour lire des non-mots, l'épellation et la compréhension lors de la lecture (Lyon, 1995; Rack, Snowling, & Olson, 1992). Pour certains auteurs, il s'agirait dans le cas de la dyslexie d'un syndrome neurologique touchant des domaines plus larges que la lecture elle-même (Miles & Miles, 1990), avec des caractéristiques biologiques propres, la différenciant des autres troubles de l'apprentissage. Ce trouble dépend fortement de la transparence de la langue et de la consistance orthographique (Ziegler & Goswami, 2005; Ziegler, Perry, Ma-Wyatt, Ladner, & Schulte-Körne, 2003). Enfin, ce trouble serait lié à d'autres aspects du langage, de la mémoire et de la perception

(Adams, 1990; Snowling, 2000; Stanovich, 1988a; Vellutino, 1981; Wagner & Torgesen, 1987).

Un lecteur dyslexique peut donc présenter des atteintes différentes, y compris au sein d'un même sous-type (Joanisse, Manis, Keating, & Seidenberg, 2000). Cependant, environ 5% des normolecteurs et la moitié des enfants lecteurs dyslexiques se plaignent de problèmes visuels lors de la lecture, comme des lettres floues, qui bougent ou se dédoublent, causant ainsi des difficultés et souvent des fatigues oculomotrices et des maux de têtes (Wilkins, 1995).

2.2.2.1. Sous-types de dyslexie

Plusieurs types de dyslexie sont répertoriés, dont les trois principaux sous-types sont la dyslexie phonologique, la dyslexie de surface et la dyslexie mixte. La dyslexie phonologique ou dysphonétique est la forme la plus fréquente chez l'enfant (35% à 60% ; Morais, 1994). Le déficit porte ici sur la voie graphophonologique induisant une faible appréhension de la relation graphème-phonème (Valdois, 1996). Les mots sont donc reconnus par adressage, par comparaison du mot aux représentations orthographiques en mémoire (Campbell & Butterworth, 1985). Ce recours à la voie lexico-sémantique permet donc la reconnaissance des mots familiers, mais le manque de conscience phonologique ne permet pas au lecteur dyslexique phonologique de manipuler correctement les phonèmes, induisant des difficultés notamment dans l'identification de mot inconnu ou peu familier ou de pseudomot. La lecture d'un texte sera ainsi lente et syllabée. Ce trouble peut également entraver l'enfant lecteur dyslexique phonologique dans la construction de son lexique orthographique.

La dyslexie de surface, aussi appelée dyslexie lexicale, est causée par une atteinte de la voie lexicale, et est sous-tendue par un déficit visuo-attentionnel (Castles, 1996; Valdois, 1996). L'identification de mot régulier (e.g., *maman*) et de pseudomot (e.g., *mimon*) est possible, mais de fortes difficultés apparaissent pour les mots irréguliers (e.g., *oignon*) ainsi que pour

les petits mots (e.g., *quoi*, *qui*). Ces troubles sont interprétés en termes de déficits visuels et la difficulté de recourir à une vision holistique du mot, ou en termes de déficit attentionnels.

Enfin, la dyslexie mixte associe les difficultés des dyslexies phonologique et de surface, présentant donc une atteinte des voies phonologiques et lexicales. Ce dernier type de dyslexie est relativement fréquent, puisqu'il est rare de retrouver des « cas purs » de dyslexie phonologique ou de surface, notamment chez l'adulte.

2.2.2.2. Théories explicatives et la théorie du déficit M

Plusieurs théories explicatives de la dyslexie développementale ont vu le jour (Lyon et al., 2003; Pammer & Vidyasagar, 2005 ; pour une revue, voir Ramus, 2003). La plus répandue et la plus consensuelle suggère un déficit phonologique sous-jacent (Blomert, Mitterer, & Paffen, 2004; Frith, 1998; Heiervang, Stevenson, & Hugdahl, 2002). L'expertise en lecture repose sur l'automatisation de la conversion grapho-phonémique. Le phonème désigne la plus petite unité de son, capable de produire une modification par commutation. Le graphème désigne une lettre ou un groupe de lettres codant un son unique, soit un phonème. Si le lecteur débutant ne peut établir un lien entre les représentations mentales des lettres et des phonèmes, ou si ces représentations mentales sont dégradées ou difficilement accessibles, il sera confronté à des difficultés d'apprentissage de la lecture (Elbro, 1996; Snowling, 2000; Stanovich, 1988a; Vellutino, 1981). Toutefois, la nature précise de ce déficit n'est encore à ce jour pas clairement définie (Ramus, 2001). Les études antérieures ont montré que le déficit phonologique n'est pas systématiquement associé à des déficits auditif, visuel ou moteur (Chiappe, Stringer, Siegel, & Stanovich, 2002; Schulte-Körne & Bruder, 2010; Schulte-Körne, Deimel, Bartling, & Remschmidt, 1998; Share, Jorm, Maclean, & Matthews, 2002; Wimmer, Mayringer, & Landerl, 1998; Wimmer, Mayringer, & Raberger, 1999) ; alors que le lecteur dyslexique présentant un trouble visuel aurait également un déficit phonologique associé (Bosse et al., 2007; Cestnick & Coltheart, 1999; Slaghuis & Ryan, 1999). L'hypothèse

du déficit phonologique chez le lecteur dyslexique n'est pas contredite à proprement parlé, mais elle ne serait pas spécifique à la dyslexie : elle serait conjointe à un dysfonctionnement plus général.

D'autres auteurs suggèrent d'autres déficits différents : 1/ un déficit phonologique impactant le domaine auditif en général (Kujala et al., 2000; Tallal, 1980; Tallal, Miller, & Fitch, 1993), induisant des difficultés dans les tâches auditives ; 2/ un déficit cérébelleux impliquant un problème au niveau de l'automatisation des processus centraux mis en jeu dans la lecture (Fawcett, Nicolson, & Dean, 1996; Nicolson, Fawcett, & Dean, 2001) ; 3/ un déficit visuel induisant une instabilité de la fixation oculaire engendrant des distorsions et des superpositions des lettres et des mots (Lovegrove, Bowling, Badcock, & Blackwood, 1980; Stein & Fowler, 1981). Ces troubles explicatifs de la dyslexie, listés ici de façon non exhaustive, sont néanmoins souvent remis en cause car ils n'expliquent qu'en partie les déficits observés chez le lecteur dyslexique.

Une dernière théorie explicative, la théorie d'un déficit M, prend ses origines dans l'idée de troubles visuels sous-tendant la dyslexie. Les troubles visuels seraient en fait une répercussion d'un dysfonctionnement de la voie M (pour une revue, voir Stein, 2001 ; voir aussi Chase, 1996; Cornelissen et al., 1998; Ramus et al., 2003; Stein & Walsh, 1997; Tallal, Merzenich, Miller, & Jenkins, 1998). Les lecteurs dyslexiques présentent ainsi un déficit des traitements visuels de bas-niveaux (Cornelissen, Richardson, Mason, Fowler, & Stein, 1995; Talcott, Hansen, Assoku, & Stein, 2000) qui persiste jusqu'à l'âge adulte (Conlon, Sanders, & Zapart, 2004). Le système M est en effet important pour diriger l'attention visuelle, le contrôle des mouvements oculaires et la recherche visuelle, trois compétences clés dans la lecture (Edwards, Purpura, & Kaplan, 1995). Les implications du système M dans la lecture seront détaillées dans le chapitre suivant.

L'étude de la dyslexie, trouble de l'identification du langage écrit, permet, à l'instar des pathologies, de mettre en lumière les processus sous-jacents de la lecture et de l'identification du mot, notamment lorsque ces traitements sont déficitaires.

2.3. Manipulation du langage écrit

L'étude du langage écrit a donné lieu, de façon générale, à une très riche littérature et haute sophistication des méthodes d'investigations. Deux paradigmes importants seront présentés ici : la décision lexicale et l'amorçage.

2.3.1. *Décision lexicale*

La tâche de décision lexicale (DL) a pour objectif d'évaluer l'efficacité de l'identification des mots écrits et de la richesse du lexique du lecteur. Pour cela, le temps mis et la précision du lecteur sont mesurés alors que le lecteur doit décider le plus rapidement et le plus correctement possible de l'appartenance d'une chaîne de caractères à une langue donnée. Par exemple, la suite de lettres *disun* est présentée au lecteur. Après une lecture silencieuse de l'item, le lecteur doit décider si la suite de lettres *disun* forme un mot de la langue française ou non. L'item présenté est donc traité par le participant afin que celui-ci l'identifie comme un mot ou non, même s'il n'est pas certifié que ce même participant en connaisse la définition exacte, même s'il sait qu'il appartient au lexique.

La tâche de DL a été utilisée pour la première fois par (Rubenstein, Garfield, & Millikan, 1970) et demeure encore aujourd'hui très largement utilisée. L'utilisation d'une tâche de DL permet de se focaliser sur le code orthographique, en réduisant considérablement les effets phonologiques potentiels inhérents à la tâche de dénomination, où le lecteur doit prononcer l'item écrit identifié (Carreiras, Perea, & Grainger, 1997; Pollatsek, Perea, & Carreiras, 2005).

Classiquement, la durée de présentation de la cible est généralement interrompue par la réponse du participant. Néanmoins, Adams (1979) a montré qu'un mot exposé pendant 60 ms peut être identifié, et ce même s'il s'agit de condition de lecture non naturelle. Les études sur la mémoire iconique ont montré qu'une information visuelle présentée même brièvement, pendant 60 ms par exemple, perdure plus longtemps en mémoire, jusqu'à environ 250 ms.

Cette tâche est plus simple et plus rapide qu'une tâche de catégorisation, impliquant un codage sémantique plus poussé, ou qu'une tâche de dénomination, nécessitant le recours à la représentation mentale précise de la cible permettant sa prononciation. La tâche de DL comporte plusieurs avantages, comme la manipulation aisée à mettre en place de nombreux facteurs qu'ils soient visuels, orthographiques, sémantiques, etc. De plus, l'utilisation de mot et de pseudomot ne permet pas au sujet de deviner le mot cible. En effet, le mot cible doit être correctement identifié pour que la tâche soit réussie. Cependant, cette technique restreint la mesure de l'accès au lexique en termes de traitement (e.g., Balota & Chumbley, 1984). Ainsi, les latences de DL ne reflètent pas directement l'accès au lexique mental, mais aussi le temps nécessaire à la décision pour répondre correctement et le temps requis à son exécution.

En résumé, malgré ses inconvénients, la tâche de DL reste simple à mettre en place et demeure fréquemment utilisée en psycholinguistique.

2.3.2. *Amorçage conscient et amorçage inconscient*

Le paradigme d'amorçage est très largement utilisé, tant dans la reconnaissance visuelle d'objets que dans la reconnaissance visuelle du mot. L'effet d'amorçage correspond à l'influence d'une présentation préalable d'un item, appelé amorce, sur le traitement d'un stimulus consécutif, appelé cible. C'est donc cette influence du traitement de l'amorce sur la cible qui est mesurée et relate dans le cas d'un amorçage positif d'un effet facilitateur de l'amorce sur la cible, ou d'un effet inhibiteur le cas échéant. L'effet d'amorçage est donc estimé en comparant la condition d'amorçage à une condition contrôle.

Ce paradigme permet de mettre en évidence les mécanismes sous-tendus par la mémoire à long terme et notamment la mémoire implicite, à travers la récupération non consciente (Graf & Schacter, 1985) et non intentionnelle d'une information (Schacter, Bowers, & Booker, 1989). Le paradigme d'amorçage peut prendre différentes formes (pour une revue, voir Lebreton, 2002). L'amorce et la cible peuvent être identiques dans le cas d'un amorçage par répétition ou associées de différentes façons, comme dans le cas d'un amorçage sémantique (e.g., l'amorce « chien » va influencer positivement le traitement de la cible « chat »). L'amorçage par répétition est aussi appelé amorçage perceptif. Il repose sur des phénomènes perceptifs de bas niveau comme les représentations perceptives ou physiques du matériel (Cave, Bost, & Cobb, 1996; Jacoby & Hayman, 1987; Masson, 1986; Roediger & Blaxton, 1987). L'amorçage sémantique ou conceptuel implique quant à lui les représentations sémantiques ou associatives des stimuli. Ce dernier type d'amorçage ne sera pas commenté ici. Néanmoins, cette dichotomie amorçage perceptif/conceptuel (Tulving & Schacter, 1990) n'est toutefois pas totalement stricte, et les représentations de l'un pouvant tout aussi bien impacter les traitements de l'autre dans des cas particuliers (e.g., Cave & Squire, 1992; Schacter, Cooper, & Delaney, 1990).

Dans l'objectif de rendre compte du phénomène d'amorçage, Tulving et Schacter (1990) ont postulé l'existence d'une forme de mémoire particulière : le système de représentation perceptive (*Perceptual Representation System*, PRS). Ce PRS traduit le percept en représentation compréhensible pour les autres systèmes mnésiques et permet l'amélioration des traitements perceptifs via des représentations perceptives qui lui sont propres. Schacter (1990, 1992, 1994) considère d'ailleurs trois sous-systèmes au PRS traitant des dimensions différentes : 1/ la forme visuelle des mots, 2/ la description structurale des objets, et 3/ la forme auditive des mots. Plus récemment, deux sous-systèmes dédiés au traitement et au stockage des représentations implicites de la forme perceptive des visages (e.g., Henson,

Shallice, Gorno-Tempini, & Dolan, 2002) et des objets sonores (Bergerbest, Ghahremani, & Gabrieli, 2004) ont été ajoutés. Ces sous-systèmes opèrent à un niveau pré-sémantique, ne nécessitant pas d'accès à la signification (Schacter, 1990, 1992, 1994). Au niveau cortical, la région associée au sous-système du PRS traitant la forme visuelle des mots est l'aire cérébrale de la forme visuelle des mots. Cette aire cérébrale sera développée plus loin dans cet écrit.

Un paradigme d'amorçage particulier, le paradigme d'amorçage masqué, développé par (Forster & Davis, 1984), permet l'étude des processus automatiques impliqués dans la reconnaissance des mots écrits (Forster & Davis, 1984; Marcel, 1983). La composante intentionnelle est donc ici supprimée, évitant ainsi la mise en place de stratégie de la part du participant. Dans ce paradigme, l'amorce précédée ou succédée d'un masque est présentée en amont de la cible. L'ensemble des stimuli sont présentés au même endroit pour des durées généralement courtes, généralement moins de 100 ms. De nombreuses études ont montré l'efficacité du paradigme, et un amorçage facilitateur lorsque l'amorce est répétée ou que celle-ci est liée à la cible (e.g., Dehaene et al., 1998, 1998; Ferrand, Grainger, & Segui, 1994; Forster, 1999; Forster & Davis, 1991, 1984; Klinger, Burton, & Pitts, 2000; Segui & Grainger, 1990 ; voir aussi Robert & Mathey, 2012).

Plusieurs facteurs confondus dans ces effets d'amorçage doivent être pris en compte tels que l'intervalle de temps entre l'amorce et la cible et la durée de présentation de l'amorce. Lorsque l'amorce est présentée sans délai après la cible, l'intervalle inter-stimuli est nul, ce qui permet d'assurer une durée d'exposition de l'amorce équivalente au temps séparant le début de la présentation de l'amorce et celle de la cible (*Stimulus-Onset Asynchrony* ou SOA). Ainsi, même si la présentation de l'amorce était brève, lorsque le SOA augmentait jusqu'à environ 60ms par exemple, l'effet d'amorçage augmentait également (Ferrand & Grainger, 1993; Forster, Higgins, & Bianco, 2003; Robert & Mathey, 2012). Cependant, lorsque la

durée de l'amorce et la durée du SOA étaient longues, ici 350ms, l'effet d'amorçage facilitateur disparaissait (Burt, 2009; Segui & Grainger, 1990).

Les effets d'amorçages sont donc robustes dans la littérature. Le paradigme d'amorçage non masqué permet d'étudier les composantes automatique et intentionnelle du traitement et de la récupération des informations en mémoire alors que le paradigme d'amorçage masqué rend compte uniquement de la composante automatique. Enfin, dans le cas d'un amorçage par répétition, l'intérêt premier est de mettre en évidence les processus perceptifs de bas niveaux.

2.3.3. *Précautions à prendre lors de la manipulation des mots écrits*

Plusieurs caractéristiques propres à chaque mot, les informations orthographiques, phonologiques, morphologiques, syntaxiques et sémantiques, sont stockées en mémoire sous forme de représentations mentales. L'ensemble de ces représentations constitue le lexique mental. On considèrera que la reconnaissance de mots écrits s'appuie sur des mécanismes sous-lexicaux (au niveau des lettres) et lexicaux (au niveau des mots) permettant l'accès au lexique mental de l'individu, soit la correspondance adéquate entre un stimulus visuel et la représentation en mémoire d'un mot (pour une revue, voir Mathey, 2001).

Les lettres sous-tendent les caractéristiques orthographiques des mots, qui constituent un objet d'étude important en psycholinguistique. Parmi les effets majeurs étudiés en psychologie cognitive de la lecture, nombre d'entre eux reposent sur des variations de ces caractéristiques orthographiques. De ce fait, lors de l'étude de la reconnaissance visuelle des mots, il est important et nécessaire de contrôler différents facteurs comme la longueur du mot, la fréquence du mot, la transparence orthographique de la langue, la familiarité et la densité du voisinage orthographique (pour une revue, voir Balota, Cortese, Sergent-Marshall, Spieler, & Yap, 2004).

La fréquence du mot correspond au nombre moyen d'occurrences d'un mot dans une langue donnée. C'est l'un des premiers effets décrits et l'un des plus robustes (Cattell, 1886; MacLeod & Kampe, 1996). Un mot de haute fréquence est reconnu plus rapidement qu'un mot de fréquence plus faible (Broadbent, 1967).

La transparence orthographique reflète la difficulté observée lors de la conversion graphème-phonème. Une langue dite transparente, comme l'italien ou l'espagnol, est caractérisée par une association systématique bijective entre un code orthographique et un code phonologique (Jaffré & Fayol, 1997). Ceci permet notamment la réduction d'ambiguïtés et d'imprévisibilité. À l'inverse, une langue opaque, comme le français ou l'anglais, comporte de nombreuses associations plus ou moins complexes entre phonèmes et graphèmes. En français par exemple, le phonème /ɛ/ se traduit par plusieurs graphèmes « ai » comme dans *lait* ou *chantais*, « e » dans *mets* et « ê » dans *tête* (Ferrand, 2007).

La familiarité de la langue renvoie à une facilitation des traitements langagiers pour la langue à laquelle le lecteur a été le plus souvent confronté (pour une revue, voir Thorn, Gathercole, & Frankish, 2002).

Le voisinage orthographique désigne l'ensemble des mots partageant des caractéristiques orthographiques proches avec un autre mot, tel que le mot *chaise* qui a pour voisin les mots *chaire* et *chasse*. La présence et la spécificité du voisinage orthographique induisent des perturbations lors de la reconnaissance visuelle du mot (voir Partie II, chapitre 6).

Enfin la longueur du mot constitue une dimension importante dans la reconnaissance visuelle du mot. Cette dimension et ses implications seront détaillées plus loin (Partie II, chapitre 5, section 1).

Ces variables ont été prises en compte par la suite dans les différentes études menées. Ces variables sont d'ordre lexical ou sous-lexical (Spieler & Balota, 2000). La fréquence du mot désigne une propriété du mot entier et correspond à une dimension lexicale. La longueur

du mot, soit le nombre de lettres séparées présentes, comme le voisinage orthographique, soit le chevauchement d'un certain nombre de lettres, sont des propriétés du niveau de la lettre et correspondent à une dimension sous-lexicale.

Ainsi lorsqu'un mot écrit est identifié, les traits des lettres vont activer des lettres, qui vont elles-mêmes activer plusieurs mots candidats partageant des caractéristiques orthographiques communes. Une compétition lexicale entre ces différents candidats est engendrée et le mot cible est identifié lorsque son niveau d'activation atteint un certain seuil, dépendant de sa fréquence lexicale et de sa familiarité pour le lecteur. Un pseudomot sera quant à lui rejeté lorsqu'aucun des candidats n'a atteint le seuil d'activation. L'objectif de ce travail de thèse était d'investiguer plus précisément les implications des systèmes visuels M et P dans le traitement du langage écrit. Un état de l'art des connaissances actuelles sur le sujet est exposé dans le chapitre suivant.

Chapitre 3 : Les implications des systèmes M et P dans le traitement du langage écrit

Les recherches en psychophysique et en neuropsychologie de la vision ont été menées le plus souvent indépendamment des études psycholinguistiques classiques, qui se concentrent essentiellement sur des traitements plus tardifs. Néanmoins, des travaux récents tentent de concilier ces deux approches.

3.1. Chez le lecteur dyslexique

Historiquement, les premiers arguments en faveur d'une implication du système M dans les processus de lecture étaient issus des études neuropsychologiques des troubles de la lecture chez des patients dyslexiques (pour une revue, voir Stein, 2001). Livingstone, Rosen, Drislane et Galaburda (1991) ont été les premiers à signaler des anomalies au niveau des couches magnocellulaires des corps genouillés latéraux chez le lecteur dyslexique. Les travaux du domaine ont conduit à la théorie du déficit M (pour une revue, voir Stein, 2001), touchant les traitements visuels de bas niveaux (Pellicano & Gibson, 2008), validée par des études en potentiels évoqués visuels (e.g., Galaburda & Livingstone, 1993; Livingstone et al., 1991 ; pour une revue, voir Schulte-Körne & Bruder, 2010), en électrophysiologie (Demb, Boynton, Best, & Heeger, 1998; Demb, Boynton, & Heeger, 1997) ou en neuroimagerie (e.g., Eden, VanMeter, Rumsey, & Zeffiro, 1996).

Depuis, les études chez le lecteur dyslexique ont montré des performances moins bonnes que celles des normolecteurs pour des traitements pris en charge par le système M comme la sensibilité au mouvement visuel (Cornelissen et al., 1995; Talcott et al., 2000), l'attention visuelle ciblée (*cueing visual attention*, Facoetti, Turatto, Lorusso, & Mascetti, 2001; Kinsey,

Rose, Hansen, Richardson, & Stein, 2004), l'attention visuelle distribuée (Edwards et al., 1995; Facoetti, Paganoni, & Lorusso, 2000; Iles, Walsh, & Richardson, 2000), et la mémoire visuelle à court terme stockant et comparant les informations en cours de traitement (e.g., Ben-Yehudah, Sackett, Malchi-Ginzberg, & Ahissar, 2001). Le lecteur dyslexique présente aussi une capacité réduite à détecter les détails grossiers, mais une capacité normale à détecter les détails fins (Livingstone et al., 1991). Enfin, la persistance prolongée de l'image visuelle sur la rétine entraîne un masquage de la vision sur les fixations successives (Slaghuis & Ryan, 1999).

En outre, une forte réduction de la sensibilité au contraste pour les fréquences spatiales basses, véhiculées par le système M, pour les luminances faibles a également été observée chez le lecteur dyslexique (Bednarek & Grabowska, 2002; Cornelissen et al., 1995; Lovegrove et al., 1980; McLean, Stuart, Coltheart, & Castles, 2011), et ce sans déficit pour les fréquences spatiales élevées, véhiculées par le système P. Ce résultat constitue un argument fort d'un déficit sélectif du système M dans la dyslexie. Dans cette perspective, l'étude des fonctions visuelles tributaires du système P, comme l'acuité visuelle et la discrimination de couleur, a montré que les performances des lecteurs dyslexiques étaient similaires, voire meilleures que celles des normolecteurs. Enfin, les performances à des tâches psychophysiques impliquant spécifiquement le système M, comme la détection de mouvement, prédisaient fortement la précision du codage de la position des lettres (Cornelissen et al., 1998; Cornelissen & Hansen, 1998).

Cependant, la théorie du déficit M dans la dyslexie a été controversée (Skottun, 2000, 2005, Skottun & Skoyles, 2006, 2011) et les mécanismes sous-tendant les troubles observés demeurent pour l'heure spéculatifs (Eden et al., 1996; Facoetti, Lorusso, Paganoni, Umiltà, & Mascetti, 2003; Hari, Valta, & Uutela, 1999; Merigan & Maunsell, 1993; Pammer & Vidyasagar, 2005; Stein & Walsh, 1997). Les altérations du système M relevées

précédemment étaient démontrées uniquement de façon indirecte pour les opposants à cette théorie, dans la mesure où les mesures étaient comportementales. Par exemple, un large nombre d'études utilise la sensibilité au contraste, et certaines d'entre elles ont montré que la réduction de cette sensibilité au contraste pouvait être imputée à des lésions du système P et non du système M (e.g., Merigan, Katz, & Maunsell, 1991; Schiller, Logothetis, & Charles, 1990b, 1990a). Les processus dégradés dépendaient donc certes du système M, mais pas uniquement.

Plusieurs études ont échoué à mettre en évidence un déficit magnocellulaire chez le lecteur dyslexique (e.g., Gross-Glenn et al., 1995; Skottun, 2013; Williams, Stuart, Castles, & McAnally, 2003), avec toutefois des conditions expérimentales différentes des études précédentes, auxquelles elles ne peuvent donc pas être comparées. Sperling, Lu, Manis, & Seidenberg (2005) ont suggéré aussi que les résultats observés n'étaient pas dus à un déficit M, mais plutôt à une incapacité du lecteur dyslexique à filtrer les informations critiques du bruit visuel. Pourtant, les traitements visuo-spatiaux sont sous-tendus par le système M (Talcott et al., 2000). Aussi, un déficit M causerait des écarts dans les réponses des cellules M de la rétine, ajoutant alors du bruit dans la réponse au stimulus visuel. En outre, s'il existe une relation directe entre les déficiences visuelles et les difficultés de lecture, le lecteur enfant dyslexique devrait avoir plus de difficulté à lire un texte plutôt qu'un mot isolé (Hulme, 1988) ; or c'est rarement le cas.

Aussi, bien que parfois controversée, la majorité des études sur le déficit M dans la dyslexie a montré un déficit, quelquefois faible certes, mais omniprésent, des fréquences spatiales basses et donc du système M. Il est donc possible de penser que le trouble dyslexique vient du déficit visuel sélectif de type M, et que leurs performances ne s'effondrent pas totalement grâce au système P qui est préservé (Fukushima, Tanaka, Williams, & Fukushima, 2005), et serait la conséquence d'une mauvaise synchronisation entre les deux systèmes visuels (Lawton, 2016).

Le système M permettrait en fait de guider l'attention, d'ajuster la synchronisation neurale visuelle avec le système P, et donc d'améliorer les compétences en lecture et la vitesse de traitement (Lawton, 2011). Enfin, le déficit M pourrait être prégnant pour un sous-groupe de dyslexique en particulier (Borsting et al., 1996), voire associé à un déficit d'attention (Stuart, McAnally, & Castles, 2001). Dans la suite de ce travail de thèse, la dyslexie ne sera pas adressée directement, mais les arguments issus de ces études constituent des connaissances primordiales dans la compréhension des implications des systèmes M et P.

3.2. Chez le normolecteur

L'implication du système M a souvent été invoquée du fait de son caractère mouvant et de la succession rapide des informations (Stein, 2001). Les études en filtrage des fréquences spatiales ont montré que la gamme des fréquences spatiales basse, véhiculée par le système M, était prépondérante pour la lecture (Chase et al., 2003; Legge et al., 1985; Majaj, Pelli, Kurshan, & Palomares, 2002). Les études chez le normolecteur ont tenté de prendre en compte le niveau de la lettre et le niveau du mot. Les traitements visuels opérés au niveau de la lettre correspondraient au traitement local pour la reconnaissance d'objet. Le traitement global pour la reconnaissance d'objet concorderait alors avec le niveau du mot.

3.2.1. *Au niveau de la lettre*

Concernant le traitement de la lettre, les systèmes M et P codent des dimensions différentes de celle-ci. Les études antérieures ont montré que le système P véhicule l'information sur l'identité de la lettre (Breitmeyer, 1993; Vidyasagar, 1999), ce qui a été corroboré par les études sur le filtrage de fréquences spatiales (Majaj et al., 2002; McAnany & Alexander, 2006, 2008; Solomon & Pelli, 1994; Zahabi & Arguin, 2014). En outre, les fréquences spatiales élevées, dépendantes du système P, étaient plus pertinentes que les

fréquences spatiales basses, tributaires du système M, dans l'identification d'une lettre (Grainger, Rey, & Dufau, 2008; Zahabi & Arguin, 2014).

Cependant, le système M serait très important dans l'identification de lettre flanquée, c'est-à-dire une lettre cible comprenant d'autres lettres disposées de part et d'autre de cette lettre cible, en permettant l'allocation de l'attention visuelle sélectivement à la lettre cible (Omtzigt et al., 2002; Zahabi & Arguin, 2014).

3.2.2. *Au niveau du mot*

Les premiers arguments d'une influence différenciée des systèmes M et P au niveau du mot étaient fournis par les études chez le lecteur dyslexique détaillées précédemment. Néanmoins, de fortes divergences subsistent concernant le rôle du système M dans l'identification de mot (Skottun, 2000; Stein & Walsh, 1997).

Parmi les études plus récentes, Boden et Giaschi (2009) ont mis à l'épreuve la pertinence des informations M ou P, et leur interaction, dans une tâche de DL. Pour cela, ils ont directement manipulé le contenu spectral des stimuli présentés selon quatre conditions visuelles de présentation : non filtrée (*Figure 11A*) ; filtrée passe-bande qui isole les fréquences spatiales élevées véhiculées par le système P (*Figure 11D*) ; filtrée passe-bas qui isole les fréquences spatiales basses véhiculée par le système M (*Figure 11C*) ; filtrée double (*Figure 11B*), en laissant passer les deux gammes précédentes de fréquences spatiales par sommation des filtres passe-bande et passe-bas afin de rendre compte des interactions entre les deux systèmes. Ils ont également fait varier le temps d'exposition de la cible avec des temps courts de 105 ms ou des temps longs de 400 ms. L'analyse des résultats a montré que pour des temps d'exposition courts, les fréquences spatiales basses ne permettaient pas de distinction entre mot et pseudomot. Ainsi, les participants avaient une forte tendance à répondre qu'il s'agissait d'un pseudomot, quel que soit l'item présenté. Pour des temps d'exposition longs, une meilleure sensibilité aux fréquences spatiales basses a été obtenue,

mais celle-ci demeurait toujours plus faible que pour les fréquences spatiales élevées. Les performances étaient meilleures lorsque toutes les gammes de fréquences spatiales étaient disponibles, puis inférieures pour les fréquences spatiales élevées et enfin les plus faibles pour les fréquences spatiales basses. Il manquait donc des informations cruciales dans la condition filtrée passe-bande. Les informations véhiculées par les fréquences spatiales élevées étaient donc avantageuses, mais pas optimales. Un argument supplémentaire était la normalisation de la performance en condition filtrée double : l'interaction entre les deux gammes de fréquences spatiales était primordiale au codage optimal du matériel verbal.

Dans une seconde expérience (Boden & Giaschi, 2009), un paradigme d'amorçage avait été ajouté à la tâche de DL. La cible était répétée en amorce et présentée normalement. L'amorce était présentée selon trois conditions visuelles de présentation : non filtrée, filtrée passe-bande ou filtrée passe-bas. L'analyse des résultats a montré que les amorces contenant des fréquences spatiales basses ou des fréquences spatiales élevées engendraient le même amorçage, et donc elles suffisaient à activer les représentations. Cela semble contradictoire avec la première expérience, mais il faut concevoir ici que la situation est différente, car une cible complète est présentée juste après. Les deux gammes de fréquences spatiales peuvent servir d'amorce, mais ne peuvent pas de façon isolée provoquer un traitement optimal. Ainsi, les fréquences spatiales basses, tributaires du système M, ne peuvent pas rendre compte à elles seules de tous les traitements visuels, et les fréquences spatiales élevées, et donc le système P, non plus, même s'ils sont meilleurs que les premières, et semblent ainsi prépondérantes dans la reconnaissance visuelle des mots écrits. Pour Boden et Giaschi (2009), le système M est effectivement mis à contribution lors d'une tâche de DL, bien que son rôle ne soit pas unique et se doit encore d'être précisé.

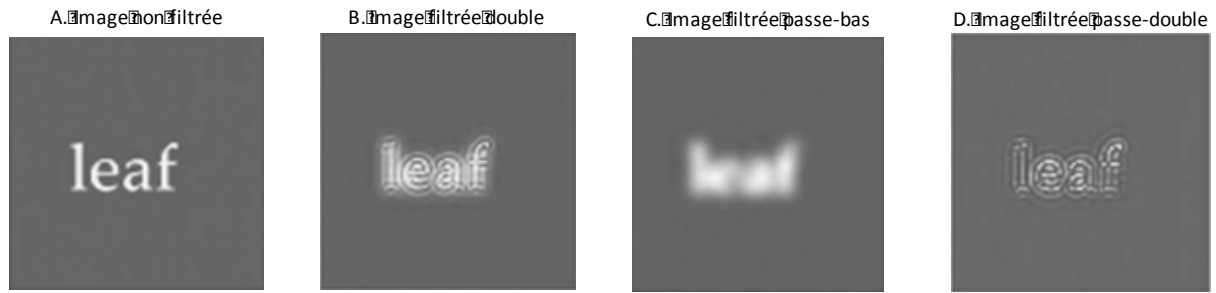


Figure 11. Exemples des filtrages utilisés par Boden & Giaschi (2009), avec une image non filtrée (A), filtrée double (B), filtrée passe-bas (C) et filtrée passe-bande (D).

Des études ont également comparé les effets de contraste de couleur, traité par le système P, ou de luminance, traité par le système M. Un texte présenté en isoluminance avec le fond permettait une lecture aussi rapide que le texte présenté en non-isoluminance (Legge et al., 1990). La reconnaissance visuelle des mots n'était donc pas impactée lorsque les traitements M étaient supprimés. L'information critique pour la lecture serait donc véhiculée par la voie P (Travis et al., 1990). Cependant, d'autres travaux ont montré que les performances en condition isoluminante étaient moins bonnes qu'en condition non isoluminante (Knoblauch et al., 1991) et qu'en condition de contraste de luminance normale, le système M constitue la source dominante d'information pour la perception de texte (Chase et al., 2003). Ces résultats sont donc en faveur d'une importance partagée des informations M et P dans le traitement du langage écrit.

Chouake, Levy, Javitt et Lavidor (2012) ont proposé une méthode indirecte pour dissocier les effets des systèmes M et P en mesurant l'effet de l'expertise visuelle liée à un entraînement intensif des deux systèmes. Ils proposaient ainsi une tâche de DL à des normolecteurs en comparant un groupe contrôle et deux groupes expérimentaux. Ces derniers procédaient à entraînement avant de passer la tâche expérimentale soit du système M (grâce à une tâche de détection de mouvement), soit du système P (à l'aide d'une tâche de détection de lignes parallèles). Après l'entraînement, les items de l'expérience étaient des mots, des pseudomots (par exemple *renus*) ou des pseudomots anagrammes (comme par exemple, le

pseudomot anglais *frist*, anagramme du mot anglais *first*). L'analyse des résultats a montré une amélioration significative des temps de réponses correctes uniquement pour les pseudomots anagrammes dans les deux groupes ayant suivi l'entraînement visuel. Ainsi, l'entraînement visuel, qu'il concerne le système M ou le système P, apparaît comme efficace pour la rapidité et non pour la précision. En psycholinguistique, ce résultat était aussi interprétable en termes de réduction du coût de l'inhibition imposée par le mot anagramme de ce pseudomot, après entraînement.

Afin d'éviter les effets plafonds de performance dans la tâche de DL et de prendre en compte les fausses alarmes, deux valeurs appelées d' ont été calculées pour évaluer la précision des participants. La première valeur, appelée d' mot, prenait en compte les performances pour les mots cibles alors que la seconde valeur, d' anagramme, prenait en compte les pseudomots anagrammes. Ces deux indices permettaient de déterminer s'il y avait eu une amélioration pour la tâche de DL dans son ensemble. L'amélioration de l'entraînement magnocellulaire était significativement corrélée avec les deux indices d' après l'entraînement sur les anagrammes et les mots, alors qu'il n'y avait pas de corrélation significative entre l'amélioration de l'entraînement parvocellulaire et la DL. Ces résultats révélaient bien un avantage du système M sur le système P pour le traitement verbal. Le système M était donc plus efficace pour coder la position des lettres des anagrammes pseudomots.

En résumé, les études antérieures ont montré le rôle également prépondérant du système P, qui véhicule l'identité de la lettre, mais aussi des informations critiques pour l'identification du mot. La revue de la littérature montre également l'importance du système M dans la lecture chez le normolecteur, principalement à travers l'interaction des deux systèmes qui semble primordiale pour le traitement optimal du matériel verbal. Il reste à définir les dimensions précises du mot qui sont prises en charge sélectivement par chaque système.

3.2.3. *Traitement global vs. Traitement local du mot*

Les modèles de reconnaissance d'objets en général, notamment celui proposé par (Bar, 2003, 2004), attribuent un rôle prépondérant à l'information de forme globale dans le traitement visuel, à l'inverse d'autres modèles qui se fondent plus exclusivement sur des caractéristiques locales (e.g., Biederman, 1987). La forme globale, dans la reconnaissance des objets, est définie soit comme la « somme » des parties, ou plus exactement comme une dimension de plus haut niveau dérivée de l'analyse locale, soit comme une primitive extraite très précocement, comme suggérée par l'approche *coarse-to-fine*. Dans ce dernier cas, cette information est traitée plus rapidement et parallèlement à l'information locale. Dans cette perspective et dans le cas de la reconnaissance visuelle de mots, les informations locales sont considérées comme prépondérantes. De ce fait, la forme globale du mot est rarement étudiée comme une primitive visuelle à part entière, mais surtout comme la somme des informations locales portées par les lettres (Bouma, 1971).

D'une manière générale, les modèles de reconnaissance des mots considèrent de toute façon que la faible variabilité visuelle du matériel lexical rend l'étape visuelle précoce quasi négligeable en comparaison des traitements lexicaux qui sont dominants. Pourtant, les traitements visuels sont considérés comme influents dans la reconnaissance visuelle des mots dans les premiers temps d'acquisition de la lecture (Frith, 1985). Ainsi, tant que l'identification des mots n'est pas automatisée, comme chez le jeune enfant par exemple, le lecteur débutant se repose au départ sur une analyse coûteuse de ces indices visuels. L'expertise en lecture se traduit d'ailleurs par le passage d'un recours unique aux processus visuo-orthographiques à celui de traitements plus élaborés comme la coopération entre processus visuo-orthographiques et phonologiques (Ehri & Wilce, 1985; Frith, 1985). Toutefois, les modèles de reconnaissance visuelle du mot isolé MTM (Ans et al., 1998) et HHB (Allen, Madden, Weber, & Groth, 1993) défendent l'importance de la forme globale du

mot dans la reconnaissance visuelle, comme cela a été détaillé dans la partie théorique. Deux arguments peuvent être apportés en faveur de cette hypothèse. D'une part, l'exploration oculaire pendant la lecture repose sur cette dimension puisque une analyse précise de cette information en parafovéa doit être réalisée pour programmer la localisation des saccades successives (O'Regan & Lévy-Schoen, 1978). De même, certains types de dyslexies visuo-attentionnelles ont été démontrés comme résultant du dysfonctionnement de l'analyse de la forme globale parafovéale, et des prises en charge supprimant ces informations aidaient à l'acquisition de la lecture chez ces patients (voir Stein, 2001).

En outre, Boden et Giaschi (2009) ont été parmi les premiers à montrer un amorçage efficace par la forme globale du mot comme une information isolée (i.e., une forme floue du mot ne présentant pas les lettres du mot de façon détaillée, véhiculée par les fréquences spatiales basses ; *Figure 11C*) portée par le système M. Ainsi, bien que méconnue et parfois négligée, la forme globale jouerait un rôle important dans la reconnaissance visuelle de mots. L'apport privilégié de cette information sur la forme globale du mot sera investigué dans le chapitre 5.

3.3. L'aire cérébrale de la forme visuelle des mots

Au niveau cortical, une région propre à l'identification des lettres et des mots a été mise en évidence : l'aire cérébrale de la forme visuelle des mots (i.e., *visual word form area*, notée VWFA par la suite). La VWFA est localisée dans le gyrus fusiforme gauche, région impliquée dans l'identification et l'analyse de la forme, processus soutenu par la voie ventrale et donc le système P (Cohen et al., 2002). Cette région permet le codage de l'identité de la lettre, mais pas de la position des lettres au sein du mot, qui est codée au sein des gyri angulaire et supramarginal (Vidyasagar & Pammer, 2010). Ces deux gyri sont situés dans la voie dorsale et donc le système M.

Ainsi lorsqu'un mot est identifié, le système M, le plus rapide, envoie des informations depuis les gyri angulaire et supramarginal vers V1 et la VWFA aidant ainsi le système P à procéder à l'identification des lettres tout en lui spécifiant leurs positions respectives dans le mot. Ensuite, ces informations sont envoyées à l'aire de Wernicke, à l'arrière du gyrus temporal supérieur, où sont stockés les sons des mots (Dehaene, 2009). Lors de l'apprentissage de la lecture, le système M aiderait donc le système P à se focaliser sur un traitement lettre à lettre. Avec l'expertise et lorsque le mot est connu du lecteur et présent dans son lexique visuel, la signification du mot est récupérée grâce à une connexion directe entre le VWFA et l'aire de Broca, située au niveau du gyrus frontal inférieur, qui fournit la signification du mot même si celui-ci n'est pas prononcé (Hagoort, 2005). L'expertise en lecture s'expliquerait ainsi par une exposition, intense et précoce au matériel verbal écrit au cours du développement de l'enfant, qui engendrerait l'ajustement des zones cérébrales temporo-occipitales, mises à l'œuvre dans le traitement efficace des lettres et des combinaisons de lettres (cf., l'hypothèse du recyclage neural ; Dehaene, 2009), alors qu'elles pourraient être utilisées pour tout autre expertise visuelle.

Les données empiriques suggèrent ainsi que la VWFA est impliquée dans le traitement des stimuli écrits comme les chaînes de lettres (Hasson, Levy, Behrmann, Hendler, & Malach, 2002; Polk et al., 2002; Puce, Allison, Asgari, Gore, & McCarthy, 1996; Tagamets, Novick, Chalmers, & Friedman, 2000), les mots et les pseudomots (Cohen et al., 2000) et sûrement les lettres isolées (Joseph, Gathers, & Piper, 2003; Longcamp, Anton, Roth, & Velay, 2003).

Comme les adultes, les enfants montrent une activité neurale différenciée entre les systèmes M et P lors de la reconnaissance de mot (Martin, Schurz, Kronbichler, & Richlan, 2015), et notamment l'implication des régions du courant dorsal dans les compétences de lecture phonologique des enfants (McNorgan, Alvarez, Bhullar, Gayda, & Booth, 2011). Les modèles computationnels suggéraient que pour devenir lecteur expert, les enfants, qui se

reposaient au départ sur le système M, se reposaient de plus en plus sur le système P (Pugh et al., 2000; Rueckl & Seidenberg, 2009; Sandack et al., 2012). Des données longitudinales chez l'enfant corroboraient cette conception, et montraient une sensibilité croissante de l'activité neurale du système P pour les mots écrits, associée spécifiquement à l'automatisation de l'identification des mots (Ben-Shachar, Dougherty, Deutsch, & Wandell, 2011).

Dans l'ensemble, bien que limitées, les données empiriques chez l'enfant vont dans le sens des études chez l'adulte. Elles relient également l'automatisation de l'identification du mot écrit, et donc le passage d'une conversion grapho-phonémique à des processus plus élaborés, au passage d'un recours plus prononcé de la voie M à un recours plus important de la voie P. Ainsi, les régions activées pendant la lecture chez l'adulte sont déjà restreintes et latéralisées chez l'enfant (Booth et al., 2001, 2003; Brem et al., 2010; Church, Coalson, Lugar, Petersen, & Schlaggar, 2008; Gaillard, Balsamo, Ibrahim, Sachs, & Xu, 2003).

En conclusion, les données empiriques sur les bases neurales viennent conforter la complémentarité des systèmes M et P dans le traitement du langage écrit, ainsi que les attributs de chacun. Les études comportementales corroboraient les études sur la VWFA. Le système M code ainsi bien la position des lettres, au niveau des gyri angulaire et supramarginal ; alors que le système P permet le codage de l'identité de la lettre, au niveau de la VWFA.

PROBLEMATIQUE

Les systèmes visuels M et P ont été largement étudiés dans la reconnaissance d'objet. Leurs spécificités anatomiques impliquent des caractéristiques fonctionnelles différenciées (pour une revue, voir Hubel & Wiesel, 1979; Yoonessi & Yoonessi, 2011). Dans le cadre de l'approche *coarse-to-fine*, lors de la reconnaissance visuelle d'un objet, le système M, au travers des fréquences spatiales basses (e.g., Tobimatsu et al., 1995), transmet une représentation grossière très rapide, reprenant la forme globale de l'objet (Kaplan & Shapley, 1986; Macé et al., 2005), permettant une présélection de candidats potentiels ainsi qu'une extraction d'information sur le contexte dans le cas de scènes visuelles (Kveraga, Boshyan, et al., 2007; Kveraga, Ghuman, & Bar, 2007). Le système P, au travers des fréquences spatiales moyennes et élevées, véhicule quant à lui, une représentation plus détaillée, plus lente, venant sélectionner le candidat adéquat parmi le lot de candidats présélectionnés.

La revue de la littérature sur la reconnaissance visuelle de mot, chez le normolecteur et le lecteur dyslexique, montre que certains traitements visuels du mot dépendent sélectivement du système M ou du système P. À notre connaissance, l'un des rares modèles de reconnaissance visuelle du mot rendant compte de l'influence du système M est le modèle HHB (Allen et al., 2009). Aussi, pour ce qui concerne le matériel verbal, le système M, le plus rapide, projette les premières informations sur la forme globale et sur la position des lettres (Cornelissen et al., 1998; Cornelissen & Hansen, 1998), alors que le système P, plus lent, transmet les informations sur l'identité des lettres (Breitmeyer, 1993; Majaj et al., 2002; Solomon & Pelli, 1994; Vidyasagar, 1999). La rétroaction des informations M sur le système P permet, quant à elle, le codage de la position de la lettre relative au sein du mot. *In fine*,

l'identification du mot écrit serait donc possible par l'un ou l'autre de ces systèmes, bien que ce soit leur interaction qui engendrerait une identification optimale (Boden & Giaschi, 2009; Chouake et al., 2012). La mise en œuvre des systèmes M et P dans le traitement du langage écrit n'est donc plus à démontrer. Cependant, leur rôle respectif est encore à définir et des arguments expérimentaux chez le normolecteur, ainsi que sur le développement de ces processus doivent être apportés.

À cette fin, la méthode expérimentale la plus répandue est le filtrage des fréquences spatiales. Toutefois, cette technique étant controversée, une alternative a été utilisée en complément : le paradigme d'isoluminance et de contraste. Ces deux manipulations reposent sur des caractéristiques fonctionnelles de chacun des deux systèmes : sur leur sensibilité aux fréquences spatiales, le système M véhiculant spécifiquement les fréquences spatiales basses, et le système P les fréquences spatiales moyennes et élevées ; ainsi que leur sensibilité aux différents contrastes, une meilleure sensibilité pour le contraste de luminance pour le système M et une meilleure sensibilité pour le contraste chromatique pour le système P. L'utilisation complémentaire de ces deux techniques devrait permettre de conforter les résultats obtenus.

L'objectif principal de ce travail de thèse était ainsi d'étudier plus en détail les rôles respectifs des systèmes M et P dans la reconnaissance visuelle du langage écrit. Des caractéristiques de plus en plus élaborées du mot, qui nécessitaient un niveau de traitement de plus en plus profond de l'item, ont été explorées afin d'étudier les différents rôles des deux systèmes visuels : 1/ la lettre, unité du mot, 2/ la forme globale au travers de la longueur et de l'enveloppe de mot, 3/ une caractéristique lexicale, à savoir le voisinage orthographique.

Le second objectif était d'évaluer les aspects développementaux influant sur les processus visuels précoces et les processus langagiers. Deux populations de lecteurs ont été étudiées : des normolecteurs adultes jeunes et des lecteurs novices, soit des enfants de 10/11 ans scolarisés en classe de CM1. Les mesures obtenues aux deux âges avaient pour objectif de

rendre compte des processus visuels et langagiers en place chez le normolecteur adulte et comparativement chez l'enfant lecteur novice, dont la maturation des systèmes visuels se poursuivait, en même temps que son apprentissage de la lecture. De ce fait, il est possible que les mécanismes mis à l'œuvre chez l'enfant diffèrent de ceux en place chez l'adulte, et un développement différentiel des deux sous-systèmes apporterait un argument supplémentaire à la démonstration de leur dissociation.

Nous postulons ainsi que les systèmes M et P sont tous deux impliqués dans la reconnaissance de mot (e.g., Boden & Giaschi, 2007, 2009; Chouake et al., 2012), et chacun pour des rôles différents. En outre, les performances observées chez l'adulte jeune devraient alors être encore en maturation chez l'enfant.

Une première étude a été proposée au niveau de la lettre (Etude 1), qui constitue l'unité visuelle élémentaire du mot. L'objectif général de l'étude était de mettre en évidence un traitement privilégié de cette information locale du mot par le système P. Les traitements visuels M et P étaient dissociés grâce au filtrage des fréquences spatiales et au paradigme d'isoluminance et de contraste. Une tâche de jugement d'identité était proposée à des adultes jeunes normolecteurs. Si comme le suggèrent les études antérieures, l'identité de la lettre est une information de type P, les performances à la tâche de jugement devraient être meilleures lorsque le système P est privilégié plutôt que le système M.

Ensuite, une deuxième série d'expériences a été conduite afin d'investiguer l'influence de la forme globale du mot lors de son identification. Selon la littérature sur la reconnaissance d'objet, la forme globale est une primitive visuelle inhérente aux traitements M. Notre intention était de vérifier si cette dimension de la forme globale, telle qu'elle est envisagée pour l'objet, était transposable au mot. Dans cette optique, la longueur du mot (Etude 2) et l'enveloppe du mot (Etude 3) étaient manipulées chez le normolecteur adulte jeune ainsi que chez l'enfant, lecteur en apprentissage, et les traitements M et P étaient isolés grâce au

paradigme d'isoluminance et de contraste. Les performances de l'enfant lecteur novice, étant plus à même de se reposer davantage sur des informations visuo-spatiales que le normolecteur adulte jeune, devraient être plus influencées par ces manipulations de la forme physique du mot.

Enfin, une dernière étude a été menée au niveau lexical du mot, en manipulant le voisinage orthographique chez le normolecteur adulte jeune (Etude 4). Les deux paradigmes expérimentaux ont servi à dissocier les implications M et P. Nous avons eu recours à deux types de voisinage orthographique afin de privilégier, pour chacun d'eux, un des deux systèmes visuels en particulier. Le voisinage par substitution de lettre mettait l'accent sur le codage de l'identité de la lettre substituée, information de type P, alors que le voisinage par transposition de lettre mettait l'accent sur le codage de la position des lettres, une information tributaire du système M.

PARTIE 2 : PARTIE EMPIRIQUE

La deuxième partie détaille les différentes études expérimentales menées dans le cadre de la thèse. Pour commencer, nous avons souhaité présenter plusieurs points communs à nos différentes études.

Prérogatives expérimentales

Informations relatives aux participants

Étant donné nos populations, l'enfant et l'adulte jeune, l'automatisme du processus de lecture a été pris en compte. À cet effet, le test de l'Alouette-R (Lefavrais, 2005) a été administré aux différents participants. L'indice de vitesse, noté CTL et prenant en compte la rapidité et la précision de la lecture à voix haute du participant, était utilisé comme indice du niveau de lecture du participant. Le test de l'Alouette-R est détaillé dans l'Annexe 5 et les scores moyens des participants pour chaque étude sont disponibles dans l'Annexe 1. L'indice obtenu était ensuite utilisé comme covariable afin d'évaluer si les effets de nos variables indépendantes persistaient lorsque le niveau de lecture des participants était pris en considération.

En outre, les participants n'ont rapporté aucun trouble de la lecture, ni de handicaps neurologiques, ni de problèmes de l'audition, de la vision ou de l'attention. Les participants adultes jeunes étaient recrutés à l'université de Bordeaux, s'agissant en majorité d'étudiants ou de personnes volontaires présentes dans l'enceinte du site. Les participants enfants étaient,

quant à eux, tous volontaires, scolarisés en classe de CM1, et issus de trois écoles primaires situées dans la métropole bordelaise. L'autorisation des parents et de l'école avaient été obtenues au préalable pour tous les enfants. Les passations avaient alors lieu dans une salle de classe non occupée au sein même de l'école.

Informations relatives aux protocoles expérimentaux

Concernant le paradigme d'isoluminance et de contraste, le seuil d'isoluminance était mesuré pour chaque participant. L'ajustement individuel de la luminance rouge suivait la procédure décrite ci-dessous reprenant une variation de la technique des bords minimalement-distincts (Wagner & Boynton, 1972 ; voir aussi Devinck, Delahunt, Hardy, Spillmann, & Werner, 2005). Deux teintes étaient juxtaposées : une teinte vert étalon (1.23 cd/m^2) et une teinte rouge expérimentale, variant en luminance. Les participants devaient ajuster la luminance expérimentale rouge en l'augmentant ou en la diminuant de telle sorte qu'elle corresponde perceptivement à celle de la teinte verte étalon. Huit seuils étaient déterminés pour chaque participant et leur résultat moyen était utilisé dans l'expérience principale. Ces huit seuils étaient déterminés par la méthode des limites, avec huit niveaux de départs différents, sur une série ascendante ou descendante, avec un pas large au départ puis restreint. Les résultats pour l'ensemble des participants et pour chaque expérience sont détaillés dans le Tableau 4, Annexe 1.

Informations relatives aux traitements statistiques

Concernant l'analyse statistique des données, un traitement préalable était opéré pour chaque participant. Les temps de réponse erronés étaient enlevés ainsi que les temps de réponses correctes plus longs que la somme du temps de réponse moyen du participant et de deux fois l'ET.

Chapitre 4 : La lettre (Etude 1)

4.1. Introduction

La lettre constitue l'unité de base du mot et forme donc le matériel verbal le plus simple et le premier niveau de traitement lexical. Environ 10ms sont nécessaires à la reconnaissance d'une lettre. Contrairement à la situation de l'adulte jeune, le matériel verbal écrit chez l'enfant est au départ très peu varié. Le lexique mental est alors en pleine construction. Au cours des étapes initiales de l'apprentissage de l'écrit, le matériel écrit auquel l'enfant est souvent confronté est l'alphabet (Bouchière et al., 2010; Foulin, 2007). Au début de l'apprentissage initial de la lecture, les lettres restent prépondérantes. L'étude de la reconnaissance visuelle des lettres, chez le jeune enfant comme chez l'adulte jeune, est donc une piste adaptée pour examiner l'influence des sous-systèmes M et P dans la lecture, et étudier les interactions entre les processus perceptifs visuels et langagiers au cours du développement.

Le traitement des lettres était très souvent observé de manière comportementale en comparant les performances sur les tâches manipulant des lettres et des symboles visuellement similaires à des lettres, désignés comme des non-lettres. Ces comparaisons de performances montraient des performances améliorées chez le lecteur adulte pour le traitement d'une lettre par rapport au traitement d'une non-lettre (e.g., Leeuwen & Lachmann, 2004). Le lecteur adulte a donc développé une perception spécifique pour la lettre puisque celle-ci est traitée plus efficacement que d'autres formes visuelles similaires. Les études chez l'enfant ont montré quant à elles que ces derniers deviennent plus rapides et plus précis dans le traitement des lettres (Henderson & Henderson, 1975; Reitsma, 1978) comme des non-lettres (Gibson, Gibson, Pick, & Osser, 1962) avec l'âge. En outre, une certaine préférence de traitement de la lettre par rapport à une non-lettre s'observait dès l'âge de 6 ans (Turkeltaub, Gareau, Flowers, Zeffiro, & Eden, 2003) et cet avantage augmentait au cours de la scolarité jusqu'à l'âge de 10

ans (Schubert, Badcock, & Kohnen, 2017). Cependant, cette comparaison de performances entre le traitement de la lettre et de la non-lettre n'a pas été faite à d'autres âges. Les enfants d'âge différents présentent-ils le même avantage pour les lettres sur les non-lettres que les adultes, ou cette spécificité perceptive émerge-t-elle avec le développement ?

Concernant la reconnaissance de lettres, une première théorie postule que les caractéristiques visuo-spatiales de la forme de la lettre ou du chiffre sont élaborées en fonction des représentations visuo-spatiales stockées en mémoire. La lettre est ensuite identifiée par comparaison entre ces représentations mentales et l'identité abstraite de la lettre (Caramazza & Hillis, 1990; McCloskey & Schubert, 2014; Schubert & McCloskey, 2013). Une autre théorie postule, quant à elle, une première étape précoce de détection de lettre, conduisant à deux types de représentations correspond respectivement à un codage grossier (*coarse code*) et à un codage plus fin (*fine code*) du stimulus (Grainger, Dufau, & Ziegler, 2016). Ces deux théories s'accordent sur le fait que la lettre peut être traitée indépendamment de son emplacement dans le champ visuel.

Un traitement spécifique à la lettre émergerait avec le développement pour plusieurs raisons. D'une part, le traitement spécifique de la lettre serait lié à au développement de l'expertise en lecture plutôt qu'à l'âge en soi (McCandliss, Cohen, & Dehaene, 2003). D'autre part, l'exposition aux lettres augmente avec l'âge, au moins dans les pays ayant recours à l'alphabet latin. En considérant l'expertise perceptive, la simple exposition aux lettres ne suffit pas à produire un traitement spécifique, celles-ci doivent être traitées de manière active, amenant du sens et en contexte (Gauthier et al., 2000; Tanaka & Curran, 2001; Tarr & Gauthier, 2000). Un lecteur adulte aux capacités de lecture importante présenterait ainsi un traitement spécifique des lettres plus élaboré qu'un lecteur débutant. Afin d'être performant, un lecteur doit être capable de récupérer efficacement l'identité abstraite des lettres (Morais, 1994), et de discriminer des stimuli semblables, comme par exemple les lettres « b » et « d ».

La tâche de jugement d'identité de deux lettres permet de mettre en évidence l'activation des codes abstraits de la lettre, et elle est issue du logiciel ECCLA (Evaluation diagnostique des Capacités Cognitives du Lecteur Adulte ; Zagar, Jourdain, & Lété, 1993). L'identité et la typographie de deux lettres sont manipulées : les paires de lettres pouvaient être identiques (e.g., AA) ou différentes (e.g., AB), et étaient présentées toutes deux soit en majuscules, soit en minuscules (e.g., aa) ou alors l'une en minuscules et l'autre en majuscule (e.g., Ab). Le participant devait alors décider si la paire de lettres était la même (les deux lettres présentées portaient-elles le même nom ?). Pour répondre correctement, le lecteur peut comparer les formes ou les codes internes des deux lettres. La comparaison de forme est requise lorsque les deux lettres partagent la même casse, alors que la comparaison des codes internes l'est pour des casses différentes. En outre, l'écart observé pour la paire de lettres identiques entre les conditions de typographies différentes (par exemple « Aa ») ou identiques (« AA », « aa ») informe sur la vitesse d'activation des codes abstraits des lettres. Deux mesures peuvent être obtenues dans cette tâche : le taux de réponses correctes, attestant du caractère fonctionnel de la compétence d'identification de lettre, et le temps de réponse reflétant son degré d'automatisation (Mathey, Rativeau, Jourdain, & Zagar, 2000).

Les études chez les enfants normolecteurs d'âge scolaire ont montré que l'activation de la représentation abstraite de la lettre était effective dès le CP, et que l'interférence causée par les casses différentes diminue avec l'âge et drastiquement du CE1 au CE2 (Mathey et al., 2000). La catégorisation était meilleure pour une paire de lettres lorsque celles-ci partageaient la même casse (e.g., AA ou aa) plutôt que deux casses différentes (e.g., Aa).

Chez le lecteur adulte, cette compétence de traitement de l'identité abstraite de la lettre était maîtrisée, que le lecteur soit normolecteur ou en difficulté (Weisser & Gavens, 2012). En outre, aucun effet de la typographique ou effet d'interaction entre la typographie et le type de la paire de lettres ne s'étaient révélés significatifs. Le normolecteur adulte n'était pas gêné par

la variation de la typographie. Par contre, pour les paires identiques, le temps de réponse était le plus rapide pour une paire écrite en minuscules, intermédiaire lorsqu'elle était en majuscules et le plus lent lorsqu'elle comprenait une majuscule et une minuscule. Comparativement, le lecteur en difficulté était aussi plus lent pour dire que les lettres étaient différentes plutôt qu'identiques. Les auteurs ont conclu que le lecteur en difficulté traitait toutes les différences perceptives de la même façon, indépendamment de la variation de l'identité des lettres (type de paire) ou de la typographie (majuscule vs. minuscule). Enfin, la vitesse d'activation du code abstrait de la lettre augmentait aussi chez l'adulte normolecteur en fonction du niveau d'étude (Zagar, Jourdain, & Lete, 1995) : un faible niveau d'études induisait un plus faible niveau d'activation qu'un haut niveau d'études.

Le traitement efficace de l'identité abstraite de la lettre constitue une étape essentielle de la lecture. Il correspond au premier niveau de traitements visuels de nombreux modèles. Une fois automatisé, il participe donc activement à l'identification des mots écrits. Lorsque cette étape n'est pas automatisée, le lecteur est contraint de recourir au transcodage grapho-phonémique, plus coûteux.

Les informations relatives à l'identité de la lettre sont considérées comme médiées par le système visuel P (Breitmeyer, 1993; Vidyasagar, 1999). L'autre système visuel, la voie M, sous-tend quant à lui l'allocation de l'attention par rapport à la lettre (Omtzigt et al., 2002) et au codage de sa position (e.g., Chouake et al., 2012). Parallèlement, si l'on considère la lettre comme un objet visuel particulier, le système M véhicule alors également des informations sur sa forme globale (e.g., Bar, 2003, 2004; Bar et al., 2006). Une information sur la forme globale de la lettre correspondrait à la forme de la lettre, un codage grossier (*coarse code*, proposé par (Grainger et al., 2016), alors que l'information locale, ou codes internes de la lettre, un codage plus fin (*fine code*), correspondrait aux détails de la lettre véhiculés par la voie P.

L'objectif de cette première étude était de mettre en évidence l'implication des voies M et P dans le traitement de l'identité abstraite de la lettre. Deux paradigmes ont été utilisés pour dissocier les traitements respectifs de chaque système visuel : le filtrage des fréquences spatiales et le paradigme d'isoluminance et de contraste. Ces techniques psychophysiques permettent de sélectionner des dimensions M, telle la forme globale véhiculée par les fréquences spatiales basses et la sensibilité au contraste, ou P, tels les détails véhiculés par les fréquences spatiales moyennes et élevées et la sensibilité au contraste chromatique.

Une tâche de jugement d'identité de deux lettres était ainsi proposée à des normolecteurs adulte. Une paire de lettres, pouvant être identique (e.g., BB) ou différente (e.g., BD), était présentée au participant. Celui-ci devait juger si les deux lettres présentées portaient le même nom (Bb ou bb) ou non (bd ou bD), et ce indépendamment de la casse. Les variables expérimentales étaient le type de paire de lettres (identique ou différente), la casse (identique ou différente) ainsi que la condition visuelle de présentation (permettant de dissocier M et P). Les modalités expérimentales étaient les suivantes (voir *Figure 12*) : a/ paire de lettres identiques présentées en minuscules, b/ paire de lettres identiques présentées en majuscules, c/ paire de lettres identiques avec une lettre en minuscules et l'autre en majuscule, d/ paire de lettres différentes présentées en minuscules, e/ paire de lettres différentes présentées en majuscules, et f/ paire de lettres différentes avec une lettre en minuscules et l'autre en majuscule. L'utilisation de majuscules et minuscules permettait ainsi de manipuler la casse avec des casses identiques pour les modalités a, b, d et e, ainsi que des casses différentes pour les modalités c et f.

Selon le cadre théorique énoncé en amont chez le lecteur adulte (Weisser & Gavens, 2012), le traitement d'une paire de lettres identiques était espéré globalement plus efficace que celui d'une paire de lettres différentes, avec un effet de la casse absent chez l'adulte. Parallèlement, si l'identification de lettres est effectivement médiée par le système P, l'effet de la paire

devrait être retrouvé spécifiquement lorsque seules les informations P sont disponibles puisque le lecteur doit procéder à la comparaison des codes internes/abstraites. Néanmoins, si le système M véhicule les informations sur la forme globale de la lettre, l'effet de la casse devrait être favorisé lorsque les informations M sont disponibles puisqu'il s'agit là d'une comparaison de formes. Enfin, dans le cas d'une paire de lettres différentes présentées selon deux casses différentes (modalité expérimentale f), les deux systèmes visuels devraient être nécessaires pour accomplir la tâche avec succès puisque cette dernière repose sur la comparaison d'identité et de forme de la lettre.

4.2. Filtrage de fréquences spatiales (Expérience 1.1.)

Dans cette première expérience, la manipulation du contenu fréquentiel était utilisée pour discriminer les implications des systèmes M et P. Un filtre passe-bande isolait les gammes de fréquences spatiales moyennes et élevées, véhiculées par le système P et portant les informations sur la lettre et les détails (Bar, 2003, 2004). Un filtre passe-bas sélectionnait les fréquences spatiales basses, véhiculées par le système M et isolant les informations sur la forme globale de la lettre. Le filtre passe-bas minimisait les informations P en supprimant les informations sur le détail. Un filtre double a également été créé. Celui-ci combinait les deux filtres précédents isolant ainsi les informations sur la forme globale et les informations sur les détails de la lettre. Il permettait de rendre compte de la rétroaction des informations de la forme globale sur les détails et devrait augmenter, voire normaliser les effets.

Cette première expérience était menée chez le lecteur adulte jeune et plusieurs effets étaient attendus : 1/ un effet de la paire, avec de meilleures performances pour les paires identiques que pour les paires différentes, 2/ un effet de la casse, avec de meilleures performances lorsque la casse était identique plutôt que différente, 3/ une interaction de ces effets avec les conditions sélectives de présentation visuelle. L'effet de la paire, reposant sur la comparaison

des identités abstraites des lettres, devait être tributaire des informations P. Les performances devaient ainsi être meilleures en condition filtrée double, intermédiaires en condition filtrée passe-bande et le plus dégradées en condition filtrée passe-bas. L'effet de la casse, nécessitant la comparaison des formes visuelles, était quant à lui supposé dépendre de la voie M. Les performances devaient être meilleures en condition filtrée double, moins bonnes en condition filtrée passe-bas et les plus dégradées en condition filtrée passe-bande. Enfin, lorsque les lettres d'une paire étaient différentes et présentées avec des casses différentes, l'interaction nécessaire des deux systèmes visuels présageait des performances meilleures en condition filtrée double et dégradées pour les conditions filtrée passe-bas et filtrée passe-bande sans distinction.

Méthode

Participants

Cinquante-quatre adultes de langue maternelle française, âgés de 19 à 26 ans ($M = 21.2$ ans ; $ET = 2.1$) ont participé à cette expérience (voir Annexe 1). Les trois-quarts (76%) d'entre eux étaient étudiants, majoritairement en 1^{ère} et 2^{ème} année de Licence. Tous étaient volontaires et naïfs quant aux objectifs et hypothèses de l'expérience. Leur vue était normale ou corrigée à la normale. Enfin, le niveau de lecture des participants était obtenu par le score au test de l'Alouette-R (Lefavrais, 2005).

Matériel

Les stimuli correspondaient à 96 paires de lettres dont 32 identiques et 64 différentes. Les paires de lettres identiques étaient répétées afin d'équilibrer le nombre de paires de lettres identiques et différentes, permettant 128 essais au total dans une passation. Les paires ont été créées à partir des lettres B, D, M, N, V, W, G et Q.

Paires identiques	Casses identiques	Modalité a	bb	dd	mm	nn	vv	ww	gg	qq
		Modalité b	BB	DD	MM	NN	VV	WW	GG	QQ
	Casses différentes	Modalité c	Bb	Dd	Mm	Nn	Vv	Ww	Gg	Qq
		Modalité d	bB	dD	mM	nN	vV	wW	gG	qQ
Paires différentes	Casses identiques	Modalité e	bm	dg	nv	qw	bd	mn	vw	gq
		Modalité f	BM	DG	NV	QW	BD	MN	VW	GQ
	Casses différentes	Modalité g	Bm	Dg	Nv	Qw	Bd	Mn	vW	Gq
		Modalité h	bM	dG	nV	qW	bD	mN	Vw	gQ

Figure 12. Listes des paires de lettres de l'étude 1.

Chaque paire était présentée selon quatre types de configurations possibles (voir Figure 12) : majuscule/majuscule (modalités expérimentales b et e, par exemple BB ou BM), majuscule/minuscule (modalités c et f, par exemple Bb ou Bm), minuscule/majuscule (modalités c et f, par exemple bB ou bM) et minuscule/minuscule (modalités a et d, par exemple bb ou bm). Les paires étaient présentées de façon randomisée.

Les images des paires de lettres ont été créées sur Adobe Photoshop CS5. La taille des images était de 128*128 pixels, soit 2.3° d'angle visuel, et la taille d'une lettre était de 0.47° x 0.36° à 70 cm de l'écran. Les paires de lettres étaient écrites avec une police Courier New, taille 30, au centre en noir (0.77 cd/m²) sur un fond gris moyen (L = 16.8 cd/m²). Pour les besoins de l'expérience, les images étaient enregistrées au format TIFF (.tif).

Les paires étaient présentées selon quatre conditions : non filtrés, filtrés passe-bas, filtrés passe-bande et filtrés double (aussi appelés filtrés « notch »). Chacune des images filtrées

comprenait une sélection de 120 niveaux de gris linéaires par l'utilisation d'un tableau LUT (voir Annexe 4). Les images filtrées passe-bas étaient constituées uniquement des fréquences spatiales basses de la version originale alors que les images filtrées passe-bande n'étaient formées que des fréquences spatiales moyennes et élevées. Les images filtrées double comprenaient les fréquences spatiales basses du filtre passe-bas ainsi que les fréquences spatiales moyennes et élevées du filtre passe-bande. Ces images filtrées ont été obtenues par l'application d'un filtre à deux dimensions, créé sous MATLAB, sur l'image originale (voir *Figure 13*). Une transformée de Fourier rapide (FFT) a été mise en œuvre afin de convertir les données d'un domaine spatial à un domaine fréquentiel. Le filtre passe-bas avait une largeur de 5 cycles par images, soit 2.2 cpd (cycles par degrés), correspondant à 2.5 degrés par image. Le filtre passe-bande était centré sur une fréquence spatiale de 17.5 cpd, et laissait passer une fenêtre allant de 8.3 cpd à 27.5 cpd.

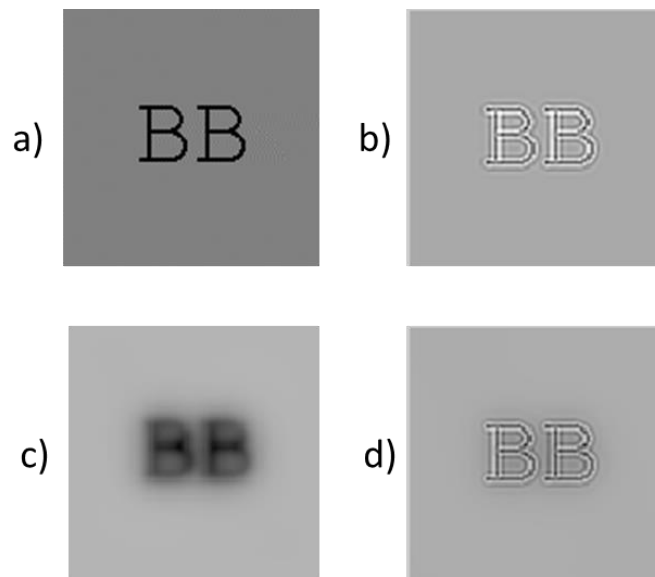


Figure 13. Exemples de stimuli pour l'expérience 1.1. avec la paire "BB" dans les différentes conditions, a) non filtrée, b) filtrée passe-bande avec un filtre d'une largeur de 19.2 cpd centré sur 17.5 cpd, c) filtrée passe-bas avec un filtre d'une largeur de 2.2 cpd et d) filtrée double avec un filtre comprenant les deux filtres précédents.

Les images étaient traitées avec le logiciel Matlab R2006a en utilisant les outils Traitement du signal et Traitement des images. Les stimuli étaient présentés sur un écran CRT de 21 pouces (avec une fréquence de rafraîchissement de 60 Hz). La tâche était générée et exécutée à l'aide

du logiciel Matlab R2006a et de l'extension Matlab Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997; Kleiner, Brainard, & Pelli, 2007; Pelli, 1997). Les luminances ont été mesurées avec un photomètre Minolta G100.

Passation expérimentale et procédure

Toutes les passations ont eu lieu dans un box. Elles étaient individuelles et duraient environ 30 minutes. Il était demandé à tous les participants de remplir et signer un consentement éclairé dès le début de la passation puis de passer le test de l'Alouette. Ensuite, les participants prenaient place et se positionnaient sur la mentonnière, assurant ainsi une distance face l'écran de l'ordinateur de 70 cm.

La tâche principale était une tâche de jugement de l'identité de deux lettres. Chaque essai se déroulait de la façon suivante (voir *Figure 14*) : une croix de fixation était présentée pendant 500 ms, simultanément un son « bip » était émis, et la cible apparaissait durant 200 ms, puis le fond d'écran était à nouveau présenté jusqu'à la réponse du participant. Il était demandé au participant d'estimer, le plus rapidement et le plus correctement possible, si la paire de lettres présentée en cible était constituée des deux mêmes lettres (partageant la même identité, comme BB et Bb) ou de deux lettres différentes (comme BM ou bM).

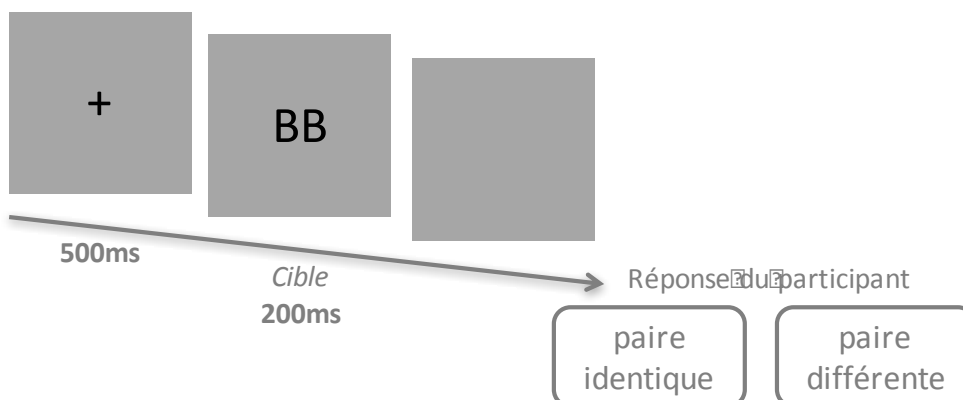


Figure 14. Séquence de trois évènements pour un essai avec pour exemple la paire BB ici présenté en condition non filtrée pour l'étude 1.

Pour répondre, il devait appuyer sur la touche M (main droite³) s'il s'agissait d'une paire identique, et sur la touche Q (main gauche) dans le cas contraire.

Un entraînement préalable comprenant 12 stimuli était proposé pour chaque participant. Dans la tâche principale, les 128 stimuli étaient présentés quatre fois en quatre blocs, selon les quatre conditions de filtrage ; et de façon randomisée au sein de chacun des blocs. Le bloc non filtré était toujours présenté en premier, puis l'ordre de passation des trois blocs filtrés était contrebalancé tous les six participants. Enfin, un débriefing post-expérimental était proposé au participant permettant le recueil de ses impressions, de ses questions et de l'informer sur les objectifs de l'étude.

Résultats

L'analyse des données a été menée en deux étapes avec le logiciel Statistica 10.0. Des ANOVAs à mesures répétées ont été faites sur le temps de réponses correctes (TRC)⁴, en prenant pour facteur aléatoire le participant (F_1) puis l'item (F_2). Tout d'abord, les ANOVAs pour les stimuli non filtrés comprenaient le type de paire de lettres (identique ou différente) et la casse (identique ou différente) comme facteurs intra-sujets. Dans un second temps, les ANOVAs pour les stimuli filtrés prenaient, en plus des facteurs cités précédemment, le facteur filtre (passe-bande, passe-bas ou double) comme facteur intra-sujet. Des comparaisons planifiées deux à deux (ou contrastes) ont été calculées lorsque cela s'est avéré nécessaire.

³ Le clavier était retourné pour les gauchers (20% de l'effectif), de telle sorte que la réponse « oui » était toujours donnée avec la main préférée du participant, quelle que soit sa latéralité.

⁴ Les données sur le pourcentage d'erreur n'ont pas été analysées du fait d'un très faible taux d'erreur chez nos participants (<10% en moyenne). De plus, les résultats étaient globalement identiques à ceux sur le TRC.

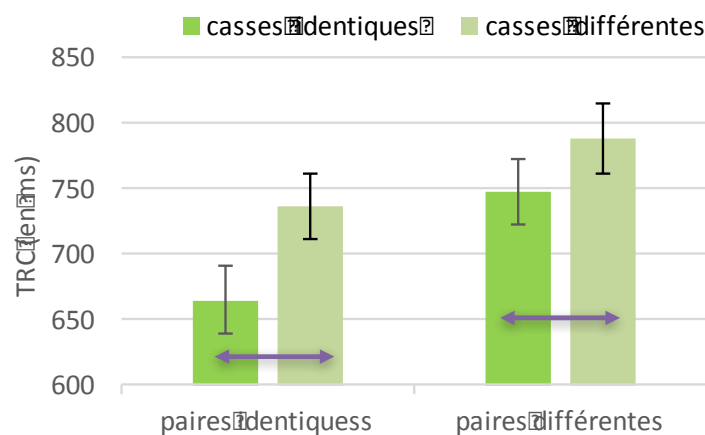
Aucun participant et aucun item n'ont été retirés de l'analyse des données. Ainsi, les données de 54 participants et de 96 items ont été analysées. Pour l'ensemble des participants, dans la condition contrôle, la précision moyenne était de 6% (ET = 6%) et la rapidité moyenne était de 735 ms (ET = 193) ; alors que pour les conditions visuelles filtrées, la précision moyenne était de 7% (ET = 6%) et la rapidité moyenne était de 764 ms (ET = 189).

Condition contrôle

L'analyse a montré un effet principal significatif du type de paire sur le TRC, $F_1(1, 53) = 65.3, p < .001, \eta^2 = .55$ et $F_2(1, 92) = 10.6, p = .002, \eta^2 = .10$. Le TRC était plus court pour les paires identiques (701 ms) que pour les paires différentes (768 ms).

Un effet principal significatif de la casse a été observé sur le TRC, $F_1(1, 53) = 72.9, p < .001, \eta^2 = .58$ et $F_2(1, 92) = 23.2, p < .001, \eta^2 = .20$. Le TRC était plus court pour les casses identiques (706 ms) que pour les casses différentes (763 ms).

Un effet d'interaction entre le type de paire et la casse s'est révélé significatif sur le %E, $F_1(1, 53) = 22.7, p < .001, \eta^2 = .30$ et $F_2(1, 92) = 5.4; p = .022, \eta^2 = .06$; et sur le TRC, $F_1(1, 53) = 8.3, p = .006, \eta^2 = .13$; $F_2 = n.s.$ (voir *Figure 15*). L'effet de la casse était plus important pour les paires identiques que pour les paires différentes.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

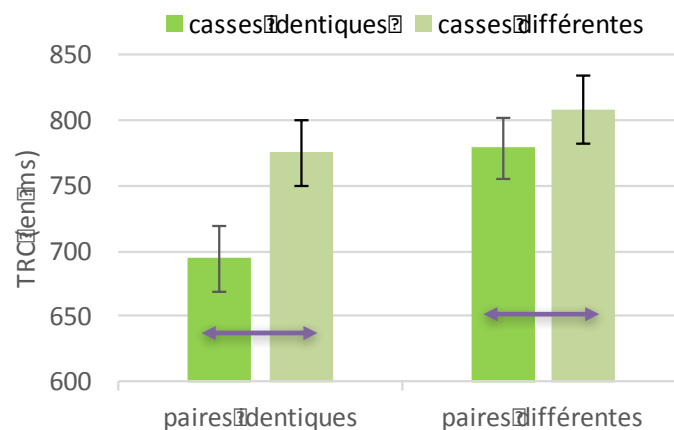
Figure 15. Effet d'interaction entre le type de paire et la casse sur le TRC (Expérience 1.1.)

Conditions visuelles filtrées

L'analyse a montré un effet principal significatif du type de paire sur le TRC a été observé, $F_1(1, 53) = 130.5, p < .001, \eta^2 = .71$ et $F_2(1, 92) = 37.8, p < .001, \eta^2 = .29$. Le TRC était plus court pour les paires identiques (735 ms) que pour les paires différentes (793 ms).

Un effet principal significatif de la casse a été observé sur le TRC, $F_1(1, 53) = 115.7, p < .001, \eta^2 = .69$ et $F_2(1, 92) = 28.0, p < .001, \eta^2 = .23$. Le TRC était plus court pour les casses identiques (737 ms) que pour les casses différentes (792 ms).

Un effet d'interaction significatif entre le type de paire et la casse a été observé sur le TRC, $F_1(1, 53) = 47.2, p < .001, \eta^2 = .47$ et $F_2(1, 92) = 5.4, p = .022, \eta^2 = .06$ (voir *Figure 16*). L'effet de la casse était présent uniquement pour les paires identiques. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.

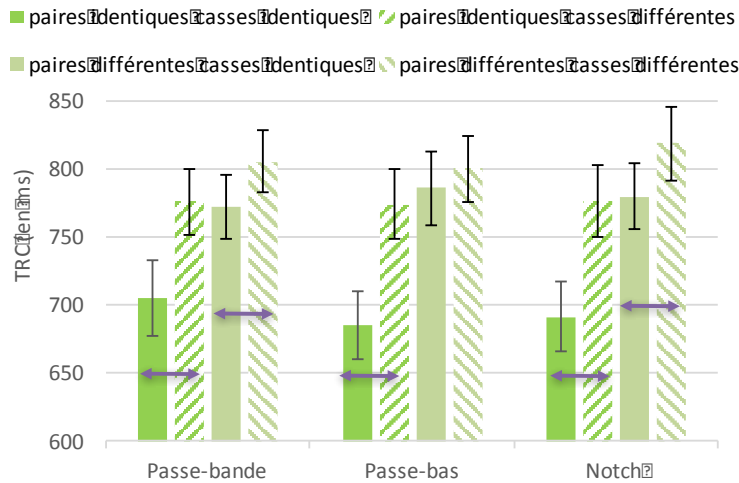


Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 16. Effet d'interaction entre le type de paire et la casse pour les stimuli filtrés sur le TRC (Expérience 1.1).

Un effet d'interaction significatif entre le type de paire et le filtre a été observé sur le TRC, $F_1(2,106) = 3.3, p = .041, \eta^2 = .06$ et $F_2(2, 184) = 159.9, p < .001, \eta^2 = .63$. De plus, un effet d'interaction significatif entre le type de paire, la casse et le filtre a été observé sur le TRC, $F_1(2, 106) = 3.7, p = .028, \eta^2 = .07$ et $F_2(2, 184) = 3.2, p = .042, \eta^2 = .03$ (voir *Figure 17*). Pour les paires identiques, l'effet de la casse était le plus faible en condition filtrée passe-

bande, intermédiaire en condition filtrée double et le plus important en condition filtrée passe-bas. Pour les paires différentes, l'effet de la casse disparaissait en condition filtrée passe-bas, et il était plus important en condition filtrée passe-bande et en condition filtrée double. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 17. Effet d'interaction entre le type de paire, la casse et le filtre sur le TRC (Expérience 1.1.).

ANCOVA

Deux ANCOVAs ont été réalisées afin de déterminer si les effets précédents continuaient à s'observer lorsque le niveau de lecture était contrôlé. En condition contrôle et en conditions filtrées, l'analyse a montré que des effets précédents ne s'observaient plus, et dépendaient donc du niveau de lecture.

Discussion

L'objectif de cette première expérience était de mettre en évidence l'implication des voies M et P dans le traitement de l'identité abstraite de la lettre. Dans une perspective, une tâche de jugement de l'identité de deux lettres était proposée à des normolecteurs adultes

jeunes, d'abord en condition visuelle normale (condition contrôle) puis en conditions visuelles dégradées (conditions visuelles filtrées). L'ensemble des effets observés sur la rapidité des participants dépendait de leur niveau de lecture dans cette étude.

Dans la première partie de l'expérience, l'analyse des résultats a montré trois effets importants : 1/ un effet principal du type de paire, avec une paire de lettres identiques traitée plus rapidement qu'une paire de lettres différentes, 2/ un effet principal de la casse, avec une meilleure catégorisation lorsque les casses étaient identiques plutôt que différentes, 3/ un effet de la casse modulé par le type de paire de lettres, avec un effet de la casse plus fort pour les paires identiques que pour les paires différentes.

L'effet du type de paire de lettres confirmait la présence de cette compétence de traitement de l'identité de la lettre et son fort degré d'automatisation chez le normolecteur adulte jeune. Ces résultats corroboraient ceux de Weisser et Gavens (2012). La comparaison de l'identité des lettres est exécutée efficacement lorsque l'identité abstraite de la lettre est disponible pour le participant, et que sa récupération en mémoire est automatisée.

L'effet de la casse était quant à lui inattendu. Weisser et Gavens (2012) n'avaient pas obtenu d'effet ni de la typographie, ni d'interaction entre la typographie et le niveau de lecture chez le lecteur adulte. Dans leur expérience, les adultes avec des difficultés de lecture avaient été diagnostiqués et pris en charge. Néanmoins, Zagar et al. (1995) avaient montré que la vitesse d'activation du code abstrait de la lettre, correspondant à cet effet de la casse, soit la différence de performance entre casses différentes et casses identiques, augmentait avec le niveau d'étude. Les participants de notre étude étaient des étudiants majoritairement en première année de Licence. La présence de cet effet de la casse suggérerait une activation du code abstrait de la lettre présente, mais plus faible chez nos participants que celle des normolecteurs adultes testés par Weisser et Gavens (2012).

Enfin, l'effet d'interaction obtenu entre le type de paire et la casse montrait que l'effet de la casse était plus important pour les paires identiques que pour les paires différentes. De ce fait, lorsque les modalités étaient congruentes (paire identique avec des casses identiques ou paire différente avec des casses différentes), le traitement des lettres était optimisé alors que dans la situation inverse (paire identique avec des casses différentes et paire différente avec des casses identiques), celui-ci était ralenti. De plus, cet effet était significatif pour les items (F_2) et donc possiblement généralisable à tout type de paire de lettres.

Ces effets ne reproduisaient pas la littérature, puisque le traitement de l'identité des lettres est attendu comme très automatisé chez le normolecteur adulte jeune. Ainsi, les temps de réponse n'auraient pas dû être impactés par la variation de l'identité des lettres ou de la casse. Nos effets dépendaient néanmoins du niveau de lecture des participants. Pourtant, leur niveau de lecture ne différait pas de celui-ci des participants de nos autres études (voir Annexe 1). Des analyses complémentaires ont ensuite été menées. Lorsque des groupes de lecture étaient constitués a posteriori en fonction du niveau de lecture (bons vs. moins bons lecteurs), l'effet de la casse pour les paires identiques était le plus fort pour les bons lecteurs que pour les moins bons lecteurs. Les bons et les moins bons lecteurs montraient des performances équivalentes pour identifier des paires de lettres identiques présentées avec des casses différentes (e.g., Bb ou bB). Par contre, les bons lecteurs étaient beaucoup plus rapides que les moins bons lecteurs pour identifier des paires de lettres identiques présentées avec des casses identiques (e.g., BB ou bb). La vitesse d'activation du code abstrait de la lettre dépendait donc de la vitesse de lecture des participants, plus la vitesse de lecture est des participants était élevée, plus l'activation du code abstrait de la lettre était rapide et efficace.

Enfin, les disparités entre les effets obtenus ici et ceux montrés dans la littérature pourraient également s'expliquer par des différences au niveau du matériel, de la procédure et de la consigne. Par exemple, les études sur la similarité (pour une revue, voir Mueller &

Weidemann, 2012) et sur la confusabilité de lettre (pour une revue, voir Starrfelt, Lindegaard, & Bundesen, 2015) ont montré que certaines lettres étaient plus difficiles à discriminer que d'autres. Parmi les huit lettres utilisées ici (B, D, M, N, V, W, G et Q), six d'entre elles font partie de la moitié de lettres de l'alphabet dite hautement confusable (B, D, M, N, W et Q, selon la matrice de confusabilité proposée par Arguin, Fiset et Bub (2002)). Les paires de lettres dans cette étude étaient donc peut-être plus difficiles à discriminer que les paires de lettres présentées dans les études antérieures, ce qui pourrait expliquer l'effet de la casse chez le normolecteur adulte jeune, et notamment que la différence de casse continue d'être gênante pour les bons comme pour les moins bons lecteurs dans notre expérience.

Dans la seconde partie de l'expérience, en conditions visuelles dégradées, l'analyse des résultats a tout d'abord répliqué les effets principaux du type de paire, de la casse ainsi que l'effet d'interaction entre le type de paire et la casse obtenus en condition de vision normale. Ils ont parallèlement montré deux effets importants : 1/ une interaction entre le type de paire et le filtre, et 2/ une interaction entre la casse et le type de paire et le filtre, selon laquelle ce que l'on observe dans la condition non filtrée se retrouve pour les conditions notch et passe-bande, alors que la condition passe-bas devient facilitatrice et supprimait la gêne que la différence de casse provoquait pour les paires différentes.

Tout d'abord, le filtre double, réunissant les filtres passe-bande et passe-bas, isolait de façon spécifique les deux gammes de fréquences spatiales, basses et moyennes-élevées. Un tel filtre devait rendre compte des implications respectives de chaque sous-système M et P, et surtout de la rétroaction des informations M sur les informations P. Ce filtre double devait donc provoquer des performances sensiblement similaires à celles observées en condition contrôle. Néanmoins, les résultats n'ont pas montré d'avantage du filtre double par rapport aux deux autres filtres. Au contraire, le filtre double engendrait des performances plus faibles, voire les plus faibles. Ces résultats pouvaient être attribués aux limites trop restrictives données aux

deux filtres simples, pour garantir qu'ils activent seulement le système P ou M. En effet, par rapport aux conditions de vision normale, le filtre double exclut une gamme de fréquences moyennes basses qui semblait donc indispensable pour une reconnaissance optimale, et qui manque certainement au filtre passe-bande. De ce fait, les résultats vont être discutés essentiellement par rapport aux filtres passe-bande et passe-bas, strictement relatifs aux systèmes M et P.

L'interaction entre le type de paire et le filtre rendait compte d'un effet de la paire plus important lorsque les informations M étaient isolées que lorsque les informations P étaient isolées. Lorsque l'information critique pour la tâche est l'identité de la lettre, les informations P étaient ainsi plus déterminantes que les informations M : lorsque les informations P sont absentes, la tâche de jugement de l'identité de lettre devient plus difficile. Ce résultat renforçait l'hypothèse d'un traitement d'identité de la lettre transitant par la voie P, ce qui était compatible avec les études antérieures manipulant le filtrage de fréquences spatiales (Majaj et al., 2002; McAnany & Alexander, 2006, 2008; Solomon & Pelli, 1994; Zahabi & Arguin, 2014) et le codage précis (*fine code*) suggéré par (Grainger et al., 2016).

Enfin, l'effet d'interaction entre le type de paire et la casse variait selon le filtre utilisé. Lorsque les paires étaient identiques, l'effet de la casse était réduit lorsque les informations P étaient isolées, et il était plus important lorsque les informations M étaient isolées ou que les informations M et P étaient isolées. Les informations M, qui ne permettent pas de véhiculer les détails fins des traits nécessaires à l'identification de la casse, se révélaient donc bénéfiques ici quand la casse était différente, mais que la paire était identique. L'information de l'identité abstraite de la lettre (l'identité de la lettre et ses allographes) était cruciale ici et celle-ci apparaissait comme préférentiellement véhiculée par la voie P, mais les dimensions M véhiculant la forme globale de la lettre étaient également efficaces pour réaliser la tâche avec succès. Pour une paire identique, la comparaison de l'identité abstraite (P) et la comparaison

de forme (M) étaient toutes deux performantes, avec un avantage néanmoins du système P sur le système M.

Lorsque les paires étaient différentes, l'effet de la casse disparaissait lorsque les informations M étaient isolées, mais pas lorsque les informations M et P étaient isolées. Les informations M facilitaient donc le traitement des paires, comparativement aux informations P ou à leur combinaison, en véhiculant un codage grossier de la lettre (*coarse code*, Grainger et al., 2016). Ce résultat pouvait être interprété en termes d'allocation de l'attention visuelle destinée à conforter la comparaison d'identité abstraite, comme dans le cas des lettres flanquées (Omtzigt et al., 2002; Zahabi & Arguin, 2014). Les informations P étaient donc particulièrement efficaces pour discriminer les différents allographes d'une lettre entre eux, alors que les informations M aidaient à distinguer les différentes formes de lettres entre elles.

En résumé, les résultats ont montré que dans notre tâche de jugement de l'identité de lettre utilisant des paires très confusables, l'effet de la casse continuait de s'avérer délétère sur le temps de réponse pour les lecteurs adultes. Ainsi, les modalités identiques étaient catégorisées plus efficacement que les modalités différentes, qu'il s'agisse des paires ou des casses. En outre, le traitement des casses différentes était plus coûteux pour dire que la paire de lettres était identique, puisque le lecteur devait faire appel à l'identité abstraite des lettres. Néanmoins, le traitement des casses différentes aidait d'autant plus pour dire que les paires de lettres étaient différentes, puisqu'une seule comparaison de formes suffisait. Enfin, une dissociation entre les traitements P et M a été observée : il semble que les dimensions P étaient les plus pertinentes pour réaliser la tâche de jugement avec succès, en véhiculant l'identité abstraite des lettres (Breitmeyer, 1993; Vidyasagar, 1999), et les détails (Grainger et al., 2016) ; permettant la comparaison des allographes d'une même lettre. Toutefois, dans le cas de paire de lettres différentes, la dimension M qui impliquait un codage grossier de la

forme globale devenait facilitatrice. Cette expérience a ensuite été répliquée avec un paradigme d'isoluminance et de contraste dans le but de conforter ces premiers résultats.

4.3. Paradigme d'isoluminance et contraste (Expérience 1.2.)

Dans cette seconde expérience, l'objectif était de répliquer les précédents résultants avec un paradigme de dissociation des systèmes M et P différent du filtrage des fréquences spatiales. L'opérationnalisation de la dissociation M et P par le filtrage de fréquences spatiales a en effet été critiquée (Skottun, 2013b, 2015; Skottun & Skoyles, 2011) car une bonne partie des fréquences spatiales moyennes activent les deux systèmes, et le filtrage de ces gammes est particulièrement nuisible à la visibilité des items, comme d'ailleurs notre tentative précédente l'a montré pour les résultats obtenus la condition notch. Dans cette perspective, une autre opérationnalisation basée sur les contrastes de luminance et de chromaticité a été utilisée. Achromatique et sensible au contraste de luminance, les traitements visuels ont été biaisés vers le système M en utilisant un très faible contraste. Sensible aux différences de longueurs d'ondes, les traitements visuels ont été biaisés vers le système P en utilisant des stimuli isoluminants : le stimulus et le fond étaient fixés à la même luminance et ne se différenciaient que par leurs propriétés colorimétriques. Des stimuli isoluminants se caractérisent par une absence de contraste (si on passe l'image en noir et blanc, il n'y a plus rien qu'un fond gris), les items ne diffèrent du fond d'écran que par la couleur. Des stimuli à faible contraste sont très proches des conditions de présentation classique des expériences de psycholinguistique, avec des items écrits en blanc sur un fond noir, sauf que le contraste est très réduit : le texte est gris à peine plus clair que le fond gris moyen.

La même tâche de jugement de l'identité de lettre a été couplée au paradigme d'isoluminance et de contraste, et proposée à un autre ensemble de normolecteurs adultes jeunes. Suite à nos précédents résultats, plusieurs effets étaient attendus : 1/ un effet du type

de paire, avec de meilleures performances pour les paires identiques que pour les paires différentes ; 2/ un effet de la casse avec de meilleures performances pour les casses identiques que pour les casses différentes ; 3/ une interaction entre le type de paire et la casse, avec un effet de la casse plus important pour les paires identiques que pour les paires différentes ; et 4/ un effet d'interaction modulé par les conditions sélectives de présentation visuelle. Pour les paires identiques, l'effet de la casse était attendu moindre en condition stimuli isoluminants favorisant le système P qu'en condition faible contraste favorisant la voie M. Pour les paires différentes, l'effet de la casse était attendu moindre en condition stimuli isoluminants qu'en condition faible contraste en termes de précision alors que celui-ci était attendu moindre en condition faible contraste qu'en condition stimuli isoluminants en termes de rapidité.

Méthode

Participants

Quarante-six adultes de langue maternelle française, âgés de 17 à 39 ans ($M = 23.9$ ans ; $ET = 5.3$) ont participé à cette étude (voir Annexe 1). Tous étaient étudiants, majoritairement en 1ère et 2ème années de Licence. Ils étaient volontaires naïfs quant aux objectifs et hypothèses de l'expérience. Leur vue était normale ou corrigée à la normale. Enfin, le niveau de lecture des participants était obtenu par le score au test de l'Alouette-R (Lefavrais, 2005).

Matériel

Les stimuli et le matériel utilisés étaient ceux utilisés dans la précédente expérience. Les items étaient écrits en noir sur un fond blanc avec une police Courier New, taille 30. Ils étaient présentés en deux blocs selon deux conditions de présentation (voir *Figure 18*) : soit écrits en rouge ($L = 10.34$; $a^* = 25.37$; $b^* = 16.01$; avec une luminance ajustée pour chaque

participant) sur un fond en en vert ($L = 10.70$; $a^* = -21.79$; $b^* = 14.58$; soit une luminance en cd/m^2 de 1.23) pour la condition stimuli isoluminants ; soit écrits en gris ($L = 6.09 \text{ cd/m}^2$) sur un fond gris plus foncé ($L = 5.37 \text{ cd/m}^2$) pour la condition faible contraste (ici 6.3% de contraste de Michelson). L'ordre de passation des conditions de présentations visuelles était contrebalancé entre les participants.

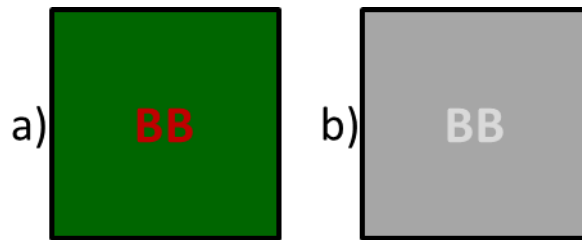


Figure 18. Exemples du stimulus *BB* selon les deux conditions visuelles de présentation pour l'expérience 1.2. : a) en condition stimuli isoluminants, écrit en rouge sur fond vert (1.23 cd/m^2) ; b) condition faible contraste, écrit en gris clair sur gris foncé avec un contraste de Michelson de 6.3%. La qualité de l'impression ne permet pas de rendre compte de façon fidèle des valeurs et des couleurs utilisées dans l'expérience.

Concernant l'ajustement individuel de la luminance rouge, les résultats de l'ensemble des participants montraient un seuil de luminance moyen de 1.18 cd/m^2 ($ET = 0.02$; étendue = $[0.78-1.94]$).

Passation expérimentale et procédure

Les passations ont eu lieu dans les mêmes conditions que pour l'expérience 1.1. Cependant, les participants procédaient à l'ajustement du seuil de luminance. La tâche de jugement de l'identité de lettre comprenait la même séquence d'évènements que dans l'expérience 1.1., excepté que la cible était présentée pendant 500ms pour compenser la diminution de visibilité, notamment en condition faible contraste (6.3% de contraste de Michelson vs. 91.2% dans l'expérience précédente).

Résultats

L'analyse des données a été faite avec le logiciel Statistica 10.0. Des ANOVAs à mesures répétées ont été menées sur le temps de réponses correctes (TRC)⁵, en prenant pour facteur aléatoire le participant (F_1) puis l'item (F_2). Les facteurs intra-sujets étaient le type de paire (identique ou différente), la casse (identique ou différente) et la condition visuelle de présentation (stimuli isoluminants ou faible contraste). Des comparaisons planifiées deux à deux (ou contrastes) ont été calculées lorsque cela s'est avéré nécessaire.

Six participants (13%) et 13 items (10%), pour lesquels le taux moyen d'erreurs était supérieur à 20%, ont été retirés de l'analyse des données. Ainsi, seules les données de 40 participants, et de 83 items ont été analysées. Pour l'ensemble des participants, la rapidité moyenne était de 691 ms (ET = 110).

L'analyse a montré un effet principal significatif du type de paire sur le TRC, $F_1(1, 38) = 105.4, p < .001, \eta^2 = .73$ et $F_2(1, 79) = 56.6, p < .001, \eta^2 = .42$. Le TRC était plus court pour les paires identiques que pour les paires différentes (649 ms < 733 ms).

Un effet principal significatif de la casse a été observé sur le TRC, $F_1(1, 38) = 47.5, p < .001, \eta^2 = .56$ et $F_2(1, 79) = 16.7, p < .001, \eta^2 = .17$. Le TRC était plus court pour les casses identiques que pour les casses différentes (670 ms < 712 ms).

Un effet d'interaction entre le type de paire et la casse s'est révélé significatif sur le TRC, $F_1(1, 38) = 19.4, p < .001, \eta^2 = .34$ et $F_2(1, 79) = 3.7, p = .060, \eta^2 = .04$ (voir *Figure 19*). L'effet de la casse était plus important pour les paires identiques que pour les paires différentes.

⁵ Les données sur le pourcentage d'erreur n'ont pas été analysées du fait d'un très faible taux d'erreur chez nos participants (>10% en moyenne). De plus, les résultats étaient globalement identiques à ceux sur le TRC.

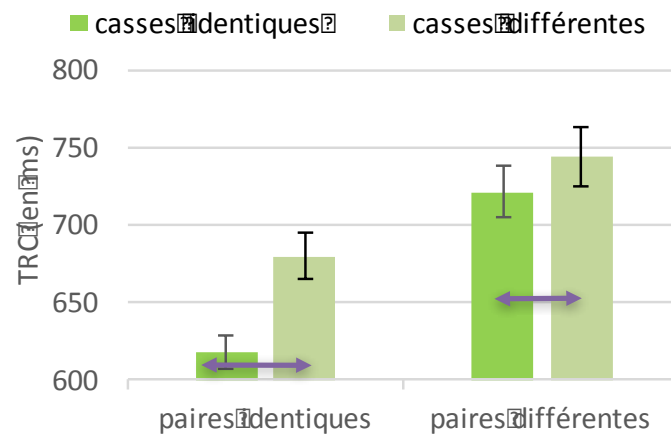


Figure 19. Effet d'interaction entre le type de paire et la casse sur le TRC (Expérience 1.2.)

ANCOVA

Deux ANCOVAs ont été réalisées afin de déterminer si les effets se maintenaient lorsque le niveau de lecture des participants était contrôlé. Les résultats ont montré que les trois effets précédents continuaient de s'observer : un effet significatif de la casse, $F(1,38) = 7.4$, $p = .010$, $\eta^2 = .16$, un effet significatif du type de paire, $F(1,38) = 8.8$, $p = .005$, $\eta^2 = .19$, et un effet d'interaction significatif entre le type de paire et la casse, $F(1,38) = 12.8$, $p = .001$, $\eta^2 = .25$. Ces effets étaient donc indépendants du niveau de lecture des participants.

Discussion

L'objectif de cette seconde étude était de répliquer les résultats obtenus avec le filtrage de fréquences spatiales, en utilisant cette fois les propriétés des systèmes M et P en termes de sensibilité au contraste de luminance et de chromaticité. Une tâche de jugement de l'identité de deux lettres était donc proposée à des normolecteurs adultes jeunes, en condition stimuli isoluminants favorisant la voie P, et en condition faible contraste favorisant la voie M.

L'analyse des résultats a montré trois effets importants, répliquant les résultats de l'expérience 1.1. bien que les conditions visuelles aient été dégradées : 1/ un effet principal du type de paire, avec une paire de lettres identiques traitée plus rapidement qu'une paire de

lettres différentes, 2/ un effet principal de la casse, avec une meilleure catégorisation lorsque les casses étaient identiques plutôt que différentes, 3/ un effet de la casse modulé par le type de paire de lettres, avec un effet plus important pour les paires identiques que pour les paires différentes. Cependant, la condition de présentation visuelle n'interagissait pas avec les facteurs précédents, suggérant aucun traitement préférentiel des systèmes M ou P. Ainsi, cette nouvelle opérationnalisation ne permet de conforter le privilège de l'information P sur l'information M obtenu avec l'opérationnalisation par le contenu en fréquences spatiales. Il semble au contraire ici que les deux gammes puissent être utilisées de façon flexible pour véhiculer les informations sur la lettre et sur la casse. Ce paradigme est censé permettre de mieux isoler les deux informations M et P que celui basé sur la fréquence spatiale. Il est certes assez convaincant d'isoler le système P par la condition d'isoluminance, mais l'argument est moins évident pour l'isolement du système M par la diminution de contraste. L'hypothèse selon laquelle les contrastes inférieurs à 8% (6.3% ici) activent sélectivement le système M est fondée sur les caractéristiques de gain de contraste de décharge cellulaire (Kaplan, 2004, 2008) très différente bien sûr de nos conditions expérimentales. Cela a pourtant été conforté dans d'autres études comportementales chez l'Homme (e.g., Lenoble et al., 2013; Macé et al., 2005), nous n'avons pas réussi ici à dissocier l'implication particulière des deux voies visuelles sur la base de leur sensibilité spécifique respective au contraste de luminance et à la chromaticité.

4.4. Conclusion

L'objectif de cette première série d'expériences était de mettre en évidence l'implication des voies M et P dans le traitement de l'identité abstraite de la lettre. Une tâche de jugement d'identité de lettres était proposée à des normolecteurs adultes jeunes. Ces derniers devaient juger si les deux lettres d'une paire étaient la même (e.g., BB ou Bb), ou

non, (e.g., BM ou bM). La casse (majuscule vs. minuscule) était manipulée ce qui faisait varier les caractéristiques physiques de la lettre. Le lecteur était donc amené à comparer l'identité abstraite des lettres en cas de variation du type de paire de lettres (identique vs. différente), ou à comparer la forme visuelle en cas de variation de la casse.

Les expériences menées ont toutes deux montré des effets principaux sur la rapidité du type de paire, et de la casse ainsi qu'un effet d'interaction entre le type de paire et la casse. Le traitement des casses différentes était donc coûteux lorsque la paire de lettres était identique, puisque le lecteur devait faire appel à l'identité abstraite des lettres et comparer les allographes, alors que des casses différentes aidaient d'autant plus les paires de lettres différentes, puisqu'une simple comparaison de forme suffisait.

Successivement, deux paradigmes ont été utilisés pour dissocier les traitements respectifs des deux systèmes visuels : le filtrage des fréquences spatiales et le paradigme d'isoluminance et de contraste. Ces techniques psychophysiques permettaient de sélectionner des dimensions typiquement M (la forme globale véhiculée par les fréquences spatiales basses et la sensibilité au contraste de luminance), ou P (les détails véhiculés par les fréquences spatiales moyennes et élevées, et la sensibilité au contraste chromatique).

Le filtrage des fréquences spatiales, contrairement au paradigme d'isoluminance et de contraste, avait mis en évidence un traitement préférentiel du système P. La dimension P était la plus pertinente pour véhiculer l'identité abstraite de la lettre, lorsque celle-ci constituait l'information critique permettant de discriminer le type de paire de lettres (identique vs. différente). Cependant, il faut noter que l'information M devenait avantageuse quand la situation était difficile : lorsque l'effet de la casse était pris en compte, et ce pour les paires de lettres différentes uniquement, puisqu'elle supprimait la difficulté. Les informations sur la forme globale des lettres suffisaient donc à catégoriser efficacement les paires de lettres lorsque celles-ci différaient de par leur identité et de par leurs formes visuelles (e.g., Bm ou

bM). Pour les paires de lettres identiques, lorsque la comparaison devait s'opérer entre les différents allographes de la lettre, les informations P demeuraient les plus critiques. Néanmoins, ces derniers effets n'ont pas été corroborés par l'opérationnalisation par le contraste coloré vs. contraste de luminance, ce qui reste problématique. Il est possible que la diminution de contraste de luminance à 6.3% n'ait pas suffi à isoler le système M.

Les résultats de la première étude étaient néanmoins en faveur d'un traitement local de la lettre porté par le système P, au travers des informations de détails et d'identité abstraite de la lettre, conformément à notre hypothèse de départ. Ces informations étaient critiques pour évaluer l'identité des deux lettres de la paire et pour identifier les différents allographes d'une même lettre. Un traitement global de la lettre, opéré par le système M, n'était efficace que dans la mesure où il permettait de supprimer les informations incongruentes dans les situations difficiles, lorsque toutes les informations mises en jeu étaient incongruentes (paire et casse différentes), et qu'une seule comparaison de formes suffisait.

Afin d'étayer nos résultats, il serait intéressant de reproduire cette série d'étude chez le normolecteur adulte jeune (en variant le type de lettres ?), pour vérifier si les effets obtenus dans nos expériences étaient imputables à la haute confusabilité des lettres utilisées, le fait que les différences de casse continuent d'être inhibitrices pour ces lecteurs adultes est en effet difficile à réconcilier avec la littérature (Mathey et al., 2000; Weisser & Gavens, 2012). De plus, à la vue des effets disparates, quant à la dissociation des systèmes visuels, les résultats de l'expérience 1.1. devront être répliqués, en reprenant le filtrage de fréquences spatiales, et dans l'idéal en utilisant une autre technique de dissociation expérimentale, par exemple en utilisant un piédestal de luminance (Delord et al., 2006; Pokorny, 2011). Parallèlement, une tâche de catégorisation basée sur la forme visuelle, et non plus sur l'identité de la lettre, permettrait de vérifier si les dimensions imputées ici à chaque système, persistaient lorsque l'objectif de la tâche différait. Une paire de lettres est présentée, et le participant doit répondre

le plus rapidement et le plus précisément possible si les deux lettres sont pareilles ou différentes (e.g., Krueger, 1983). La consigne demandait aux participants de catégoriser la forme visuelle des lettres (Chen & Proctor, 2012; Lupyan, Thompson-Schill, & Swingley, 2010), et non plus l'identité des lettres. De ce fait, les paires BB et bb sont considérées comme identiques alors que les paires Bb, BM et bM sont différentes. Les informations P devraient alors être prépondérantes pour répondre que les lettres étaient identiques (e.g., BB ou bb), mais aussi pour répondre qu'elles étaient différentes et présentaient des allographes d'une même lettre (e.g., Bb ou bB). Enfin, les dimensions M devraient favoriser uniquement les réponses différentes lorsque les lettres sont différentes (e.g., BM, bM et Bm).

En définitive, l'étude 1 a mis en évidence un traitement préférentiel de la lettre, l'unité visuelle fondamentale du mot, par le système P, corroborant ainsi les études antérieures, l'information sur la forme des lettres peut également être véhiculée par le système M, mais pas les informations fines sur la casse. Ce premier chapitre s'est centré sur l'unité élémentaire du langage écrit, la lettre, qui forme donc une information très locale. Pour justifier d'une double dissociation P/M pour ce matériel verbal, il fallait ensuite trouver des dimensions plus globales, qui soient sélectivement traitées par le système M. C'est ce qui a été tenté dans le chapitre suivant qui utilisait des cibles plus complexes, des mots. L'objectif des études 2 et 3 était ainsi d'explorer le traitement de la forme globale du mot.

Chapitre 5 : La forme globale du mot écrit

La forme globale, des objets ou des mots, informe sur les caractéristiques physiques du stimulus. À l'instar de l'objet, la forme globale du mot peut se définir de deux façons : comme une dérivée de la « somme » des lettres (Sears, Campbell, & Lupker, 2006), ou au contraire, comme une forme prépondérante, parallèle aux lettres (e.g., Bouma, 1971), qui intègre seulement comme une forme floue du mot (i.e. le filtrage passe-bas, comme détaillé dans le chapitre 1) sans les lettres du mot. Cela reviendrait à dire, que pour le mot, il y a une forme globale du mot qui doit être transmise rapidement et qui guide secondairement le traitement des lettres. L'objectif de ce chapitre expérimental était donc d'investiguer l'influence de la forme globale du mot dans l'identification des mots écrits isolés en analysant deux types d'information globale : la longueur du mot et l'enveloppe du mot.

5.1. La longueur du mot (Etude 2)

5.1.1. *Introduction*

Classiquement, l'effet de longueur de mot correspond à un traitement plus rapide et plus précis d'une cible courte par rapport à une cible plus longue. L'un des articles princeps a ainsi montré des latences de dénomination plus longues pour un mot long que pour un mot court (Frederiksen & Kroll, 1976).

Par la suite, l'effet de longueur a été massivement étudié en psycholinguistique, notamment dans la reconnaissance visuelle de mots isolés. Les premières études sur l'effet de longueur du mot, chez l'adulte, enregistraient les seuils de durée perceptifs (e.g., McGinnies, Comer, & Lacey, 1952). D'ores et déjà, les résultats obtenus étaient partagés, certaines études échouant à montrer une influence de la longueur du mot sur le traitement (e.g., Bijeljac-Babic, Millogo, Farioli, & Grainger, 2004; Howes & Solomon, 1951). Puis, d'autres auteurs ont répliqué cet

effet chez l'adulte dans d'autres tâches : dans une épreuve d'identification perceptive (Pelli et al. 2003), dans une épreuve de dénomination de mot (Balota et al., 2004; New, Ferrand, Pallier, & Brysbaert, 2006) ou de pseudomot (Ans et al., 1998; Baciú et al., 2002; Ferrand, 2000; Ferrand & New, 2003; Juphard, Carbonnel, Ans, & Valdois, 2006; Juphard, Carbonnel, & Valdois, 2004; New et al., 2006; Weekes, 1997), dans une tâche de rappel dans laquelle les mots monosyllabiques étaient plus faciles à rappeler que des mots polysyllabiques (Baddeley, Thomson, & Buchanan, 1975) ainsi qu'en DL (Balota et al., 2004; Chumbley & Balota, 1984; Fiset, Arguin, & Fiset, 2006; Hudson & Bergman, 1985; O'Regan & Jacobs, 1992; Whaley, 1978). Pourtant, cet effet de longueur du mot restait controversé puisque d'autres études ont mis en évidence l'absence d'un tel effet pour des tâches similaires : en identification perceptive (Bijeljac-Babic et al., 2004; Howes & Solomon, 1951; Richards & Heller, 1976), en dénomination (Bijeljac-Babic et al., 2004; Hudson & Bergman, 1985; Weekes, 1997), ainsi qu'en DL (Frederiksen & Kroll, 1976). Plus particulièrement, dans une tâche de dénomination, Weekes (1997) a montré que la longueur du mot influait peu sur le traitement lorsque d'autres variables étaient contrôlées, suggérant que cette dimension pouvait être une variable confondue. Ainsi, l'effet de longueur du mot est tributaire de la fréquence du mot, du nombre de syllabe et du nombre de voisin orthographique, résultats confirmés plus tard par New et al. (2006), ce qui explique la divergence des résultats de la littérature. En égalisant ces paramètres, ces auteurs ont montré que le temps d'identification était sensiblement le même pour les mots anglais de cinq à huit lettres, alors qu'ils étaient plus longs pour les mots « très courts » et les mots « très longs », pouvant être représentés par une courbe en U. Les mots très courts, de trois et quatre lettres, étaient les plus susceptibles d'être évités et non fixés pendant la lecture alors que les mots longs, de plus de huit lettres, nécessitaient une refixation (Brysbaert, Drieghe, & Vitu, 2005).

Les études en psycholinguistique se sont aussi intéressées à l'unité élémentaire de l'effet de longueur du mot écrit, celui-ci dépend-il du nombre de lettres, de phonèmes ou de syllabes ? Ces mesures orthographiques (nombre de lettres) ou phonologiques (nombre de phonèmes et de syllabes) sont en fin de compte fortement corrélées (New et al., 2006), et sont à utiliser en fonction du cadre de référence choisi. Dans ce contexte, Bijeljac-Babic et al. (2004) ont toutefois montré qu'en français l'effet de longueur du mot reposait davantage sur le nombre de lettres que sur le nombre de phonème composant le mot.

Les études d'enregistrement de l'exploration oculaire en lecture ont montré que les mots les plus longs étaient fixés plus longtemps que les mots courts, et ce, du fait de la tendance du lecteur à fixer de nouveau les mots longs (Hyönä & Olson, 1995; Rayner, Sereno, & Raney, 1996). Pendant la lecture classique, les mots sont fixés en moyenne pendant 218 ms, cette durée allant de 66 à 416 ms (Rayner, Pollatsek, Ashby, & Clifton, 2012). Les temps de décision lexicale et d'identification sont plus courts quand l'œil se pose près du centre du mot (Brysbart & d'Ydewalle, 1988; O'Regan & Jacobs, 1992; O'Regan, Lévy-Schoen, Pynte, & Brugailière, 1984). La probabilité d'une décision lexicale et d'une identification correctes, lorsqu'une seule fixation est permise, est meilleure lorsque la fixation se fait au milieu du mot plutôt que vers le début ou la fin de celui-ci (e.g., Brysbart, Vitu, & Schroyens, 1996; Farid & Grainger, 1996; Nazir, 1991; Nazir, Heller, & Sussmann, 1992). Si toutes les lettres du mot ne rentrent pas en fovéa, soit environ 1° d'angle visuel de part et d'autre du point de fixation, soit environ six à huit lettres au total, une « refixation » est nécessaire pour compenser les limites de l'acuité visuelle (Vergilino-Perez, Collins, & Doré-Mazars, 2004). La lisibilité d'une lettre décroît au fur et à mesure qu'elle s'éloigne de l'OVP (*Optimal Viewing Position*, Anstis, 1974; Bouma, 1970; Nazir et al., 1992; Nazir, O'Regan, & Jacobs, 1991), mais en général, une lettre reste bien lisible jusqu'à cinq caractères du point de fixation (Townsend, Taylor, & Brown, 1971). Un mot court est traité en fovéa, et est donc

moins susceptible d'être refixé (Kennedy, Pynte, & Ducrot, 2002). Enfin, une seconde fixation est nécessaire quand la fixation initiale est éloignée de l'OVP (O'Regan, 1992). Le système visuel est capable d'évaluer en amont la longueur du mot (Morris, Rayner, & Pollatsek, 1990) sur la base de l'analyse périphérique de la forme globale de telle sorte que lors de la seconde fixation, l'information soit placée à un endroit optimal pour compléter la première fixation (Clark & O'Regan, 1999).

À ce jour, il est considéré que chez les normolecteurs adultes, l'effet de longueur disparaît pour les mots très fréquents et ne persiste que pour les pseudomots et les mots rares (De Luca, Di Pace, Judica, Spinelli, & Zoccolotti, 1999; Juphard et al., 2004; Weekes, 1997). Cette absence d'effet chez le normolecteur adulte suppose un traitement lexical du mot (*whole-word processing*) où toutes les lettres du mot sont traitées en parallèle simultanément, annulant un quelconque impact du nombre de lettres. A contrario, l'existence de l'effet de longueur du mot suggère le recours par le lecteur à des traitements sous-lexicaux lettre à lettre pour identifier les mots méconnus ou inconnus et les pseudomots. Le traitement des lettres est alors fait de façon sérielle, et stagne au niveau des lettres et des graphèmes, sans passer au traitement lexical. De même, le lecteur adulte présentant une dyslexie développementale de surface manifestait l'effet de longueur quelle que soit la fréquence lexicale des mots (De Luca et al., 1999) et pour les pseudomots car il utilise les procédures sous-lexicales.

Deux modes principaux d'identification des mots écrits, issus des modèles hybrides s'inspirant des modèles interactionnistes comme le modèle AI (e.g., le modèle HHB ; Allen et al., 2009), sont ainsi distingués: un mode lexical et holistique (« *whole-word processing* » supporté par la voie M) auquel les normolecteurs ont recours pour les mots familiers, et un mode sous-lexical et séquentiel (« *letter-level processing* » dépendant de la voie P) auquel ont recours les lecteurs novices, les lecteurs dyslexiques ainsi que les normolecteurs pour les mots non familiers et les pseudomots (pour une revue, voir Barton, Hanif, Eklinder Björnström, &

Hills, 2014). Dans ce contexte, l'existence d'une influence de la longueur du mot suggère donc que l'identification du mot est au moins basée sur des stratégies de lecture sous-lexicale. La longueur du mot est donc une dimension codée en parallèle à l'information des lettres. Si l'on considère la longueur du mot comme une dimension de la forme globale, ce dernier argument serait donc en faveur de la forme globale du mot comme une information dérivée des informations locales. En définitive, l'effet de longueur en lui-même ne permet pas de se prononcer formellement sur l'existence et l'influence de la forme globale pour le matériel langagier. L'effet de longueur du mot (mot court vs. mot long) implique que l'information globale du mot doit être extraite en parallèle et ne dépend pas du nombre de lettres dans le mot, et non qu'il s'agisse d'une dimension codée en parallèle à l'information des lettres.

Dans les études précédentes qui visent à mettre en évidence l'effet de longueur de mot, les paradigmes utilisés, qui consistaient en la présentation d'un item unique sur lequel un traitement est à réaliser (en général une DL), ne permettaient pas de se prononcer sur un effet éventuel de la forme globale. En effet, l'absence de modulation des latences de réponse lorsque le nombre de lettres variait, ne signifie pas que les lettres ne sont pas codées, mais au contraire qu'elles sont toutes codées en parallèle. De même, cette absence de modulation des latences de réponse ne signifie pas que la forme globale du mot n'est pas extraite, mais simplement que, si elle l'est, son traitement est indépendant de la longueur du mot, et que vraisemblablement, comme c'est le cas pour les objets, ce traitement est rapide et automatique.

De même, à ce jour, peu d'études ont cherché à isoler la dimension visuelle des informations linguistiques dans un mot. Pourtant, même si la longueur du mot n'influence pas systématiquement la reconnaissance visuelle, cette dimension doit être encodée, voire même aider les traitements visuels pré-lexicaux, voire l'accès lexical. Un indice visuel de longueur pourrait alors être bénéfique pour la reconnaissance visuelle en limitant la sélection des

candidats potentiels par exemple (cf. modèle AI de McClelland & Rumelhart, 1981) et/ou en ajustant la taille de l'empan des informations à traiter.

Pour évaluer l'influence de la longueur du mot comme une dimension de la forme globale et une caractéristique visuelle, un paradigme d'amorçage semblait plus approprié : l'amorce consistant en une forme globale dissociée des lettres et la cible étant le mot dans son entier. Ainsi, l'amorce était constituée d'une série de X, une séquence de lettres non signifiante, de longueur variable de façon à être plus courte, de même longueur ou plus longue que le mot cible. Par exemple, pour le mot cible *table* (cinq lettres), les amorces, plus courte, de même longueur et plus longue, étaient respectivement « XXX » (trois lettres), « XXXXX » (cinq lettres) et « XXXXXXX » (sept lettres). Parallèlement, une approche psychophysique, nous permettait de définir l'information de longueur du mot autrement que par la somme d'informations locales (i.e., le nombre de lettres). Dans ce cadre conceptuel, la forme globale d'un objet peut être représentée par le contenu en fréquence spatiale basse de l'image, véhiculé par le système M, en parallèle des informations de détails codées par les fréquences spatiales élevées véhiculées par le système P.

Dans cette étude, l'objectif premier était d'investiguer la part du facteur visuel dans l'effet de longueur du mot. Pour cela, l'influence de la longueur du mot, soit le nombre de lettres le composant, a été manipulée de deux façons : en présentant une amorce isolant cette caractéristique visuelle, puis en manipulant de façon croisée la longueur de la cible. La manipulation de la longueur de l'amorce était destinée à mettre à l'épreuve l'hypothèse que la longueur comme une information de la forme globale du mot et la manipulation de la longueur du mot permettrait de confirmer l'utilisation de stratégies sous-lexicales précoces.

L'utilisation couplée d'un paradigme d'amorçage masqué et d'une tâche de DL permettait d'examiner l'influence d'une amorce physique sur l'accès lexical de la cible, un mot avec une représentation en mémoire ou le rejet d'un pseudomot sans représentation en mémoire ; et de

mettre en lumière les processus automatiques impliqués. Si la longueur du mot est une information importante au traitement visuel d'un mot, cette information présentée en amorce devrait être bénéfique au traitement des mots et des pseudomots, avec de meilleures performances lorsque l'amorce est congruente plutôt qu'incongruente avec la longueur de la cible. Si cette information est déterminante pour l'accès lexical, seuls les mots devraient être influencés par l'amorce.

Le second objectif était de déterminer quel était le sous-système visuel responsable du traitement de la forme globale et donc de ces effets d'amorçage, en recourant dans une seconde expérience à une présentation psychophysique visuelle permettant de dissocier le fonctionnement du système M et du système P : la manipulation du contraste et de l'isoluminance. Ainsi, si les informations sur la forme globale de l'objet sont effectivement véhiculées par le système M comme le prédit la littérature sur les objets (Bar, 2003, 2004) et le modèle HHB de reconnaissance des mots (Allen et al., 2009), l'effet d'amorçage devrait être plus prononcé en condition de faible contraste (où les traitements visuels sont biaisés vers le système M) qu'en condition d'isoluminance (où les traitements visuels sont biaisés vers le système P). Afin de répondre à ces différentes questions, deux expériences manipulant la longueur d'une amorce non signifiante ont été mises en place chez le jeune adulte dans un premier temps, d'abord en condition visuelle normale puis avec le paradigme d'isoluminance et de contraste.

Conjointement, cet effet de longueur a également été largement investigué chez l'enfant. Les études ont montré une disparition de l'effet de longueur du mot chez l'adulte. Dans cette conception, l'effet de longueur caractérise la capacité de passer d'un traitement sériel à un traitement simultané et parallèle des lettres dans la reconnaissance du mot (Acha & Perea, 2008; Alario, De Cara, & Ziegler, 2007; Cohen, Dehaene, Vinckier, Jobert, & Montavont, 2008; Martens & de Jong, 2006). Une étude a examiné cet effet chez des enfants français âgés

de 7 à 11 ans (Aghababian & Nazir, 2000). Elle a montré une augmentation linéaire des latences de lecture en fonction du nombre de lettres dès 7 ans. Cependant, cet effet disparaissait après quelques années d'apprentissage, comme par exemple chez le lecteur novice âgé de 11 ans, ou lorsque celui passe de lecteur débutant à lecteur expert (Martens & de Jong, 2006). Qu'en est-il donc des implications des systèmes M et P chez ce lecteur novice ? Dans cette perspective, les mêmes paradigmes expérimentaux ont été proposés chez l'enfant de 10 ans, lecteur novice scolarisé en classe de CM1. La littérature chez l'enfant sera développée dans la section 5.1.3. qui suit.

5.1.2. *Vision normale chez l'adulte (Expérience 2.1.)*

À notre connaissance, peu d'études d'amorçage ont cherché à isoler expérimentalement l'information de longueur. Deux travaux ont toutefois manipulé la longueur de l'amorce, mot ou non-mot. Tout d'abord, l'influence d'une amorce mot a été étudiée dans une tâche de DL couplée à un paradigme d'amorçage masqué, en allemand, et en variant la longueur et le voisinage orthographique de l'amorce (De Moor & Brysbaert, 2000). Les cibles étaient des mots de quatre ou cinq lettres avec au moins un voisin orthographique (e.g., le mot allemand « *buil* », bosse en français). Les amorces, présentées durant 57 ms, étaient soit des mots ne partageant aucune lettre avec la cible (e.g., « *maan* », lune en français), soit un voisin orthographique plus fréquent que la cible (e.g., « *buik* », ventre en français). L'amorce était de même longueur que la cible dans la moitié des essais, et de longueur différente dans l'autre moitié (e.g., la cible « *folie* » (papier aluminium), le voisin « *olie* » (huile) et l'amorce neutre « *wand* » (mur)). Indépendamment des effets de voisinage, les auteurs ont montré que les décisions lexicales étaient plus rapides et plus précises lorsque l'amorce était de même longueur que la cible plutôt que de longueurs différentes. Bien que l'objectif premier de leur étude ne concernât pas directement l'influence de la longueur de

l'amorce, leurs résultats constituaient néanmoins un argument de l'importance de cette caractéristique visuelle.

L'influence d'une amorce non-mot partageant des lettres communes avec la cible a également été étudiée en anglais dans une tâche de recherche visuelle (Humphreys, Evett, & Quinlan, 1990). L'amorce non-mot présentée en minuscules était de même longueur (cinq lettres) ou plus courte (trois lettres), et partageait ou non des lettres en commun avec un mot cible de cinq lettres majuscules, comme par exemple l'amorce reliée de trois lettres « *bvk* » et l'amorce non reliée de cinq lettres « *tvfds* » à la cible « *BLACK* » (Expérience 6). Un masque précédait l'amorce et succédait la cible. Les durées de présentation de chaque événement étaient ajustées pour chaque participant, suite à une série de mesure de seuils⁶. Les participants devaient identifier et rappeler un maximum de lettre en respectant la casse. La précision était meilleure lorsque l'amorce était de longueur différente plutôt que de même longueur, et elle était encore meilleure lorsqu'en plus elle partageait des lettres avec la cible. Ce résultat suggérait une forte concurrence entre les amorces et les cibles non reliées, où chaque lettre de l'amorce concourait pour l'identification de chaque lettre de la cible. L'information de longueur présentée en amorce avait donc une influence (quoique délétère dans cette tâche de recherche visuo-attentionnelle) sur du traitement de la cible, étant donné que des différences étaient observées entre les amorces plus courtes et de même longueur, mais seulement en complément des caractéristiques orthographiques.

Ces deux études montraient une influence de l'information de longueur présentée en amorce sur le traitement de la cible. Cependant, ces effets d'amorçage par la longueur étaient

⁶ Les seuils étaient obtenus après une série de mesure, où les durées de présentations des événements de la séquence variaient selon la méthode des limites descendantes, et ce jusqu'à ce que le participant parvienne à un taux de 40% d'identification de la cible correcte. Les amorces étaient des pseudomots ne partageant aucune lettre en commun avec les mots cibles.

confondus avec des effets orthographiques robustes, la répétition de certaines lettres communes entre l'amorce et la cible (Humphreys et al., 1990) ou le voisinage orthographique (De Moor & Brysbaert, 2000), et il n'était donc pas possible d'attribuer les effets observés spécifiquement à l'information de longueur, puisqu'elle n'était pas isolée.

Plus récemment, Inhoff et Eiter (2003) ont investigué l'influence de la longueur par une amorce physique (Expérience 1), dans une tâche de DL, opérationnalisant ainsi l'hypothèse de contrainte par la longueur selon leurs propres termes (*length constraint hypothesis*). Pour cela, ils ont utilisé des cibles mots courtes (quatre lettres) ou longues (sept lettres), précédées d'une amorce visuelle de même longueur ou de longueur différente dans une tâche de dénomination. Les amorces, présentées pendant 350 ms, étaient constituées de signe égal, par exemple « = = = = ». Les amorces de même longueur que la cible n'étaient pas plus avantageuses pour le traitement de la cible que les amorces de longueurs différentes, ce qui ne corroborait pas l'hypothèse que la longueur soit une information critique pour la reconnaissance visuelle des mots, contrairement aux résultats précédents. Cette absence d'effet peut avoir plusieurs origines. La durée de présentation de l'amorce longue était de 350 ms ce qui a pu autoriser certaines stratégies conscientes, induisant une situation expérimentale inadaptée pour cibler les premiers traitements visuels automatiques. En outre, le symbole « = » utilisé en amorce n'est pas une lettre, ce qui a pu nuire à la mise en œuvre des effets lexicaux.

Les études sur l'amorçage par la longueur ont ainsi montré des résultats contradictoires. L'objectif de cette première expérience était d'étudier l'influence de la longueur d'une amorce visuelle brève sur la reconnaissance visuelle des mots chez des normolecteurs adultes jeunes. L'amorce était une suite de X, donc l'unité de la forme restait une lettre, et pas un symbole comme pour Inhoff et Eiter (2003). De plus, notre amorce était présentée brièvement, (50 ms) et masquée, ce qui était proche des conditions de De Moor et Brysbaert (2000), pour qui la longueur de l'amorce s'était avérée facilitatrice pour le traitement du mot.

Des mots moyennement rares de cinq lettres et de neuf lettres ont été choisis comme cibles pour nos lecteurs experts. Nos listes devraient potentiellement engendrer un effet de longueur. Les cibles étaient présentées brièvement et en fovéa pour les mots courts, alors qu'une partie du mot est également en parafovéa pour les mots longs. Pour les cibles courtes, le point de fixation situé au niveau de la 3^{ème} lettre correspondait à l'OVP alors que pour les cibles longues, le point de fixation était situé au niveau de la 5^{ème} lettre et était donc éloigné de l'OVP.

Cette étude avait pour objectif, de mettre à l'épreuve l'hypothèse d'un apport bénéfique d'une information visuelle sur la longueur du mot cible, avec de meilleures performances lorsque l'amorce était de longueur identique à celle de la cible, et donc congruente, plutôt que lorsque l'amorce était incongruente, plus courte ou plus longue. Si cet effet est de nature visuelle, il devrait se produire pour les mots et pour les pseudomots, ne pas dépendre du niveau de lecture du participant, et s'observer aussi bien pour les mots courts que pour les mots longs, c'est-à-dire ne pas interagir avec la longueur de la cible.

Méthode

Participants

Cinquante-quatre adultes de langue maternelle française, âgés de 19 à 30 ans ($M = 21.9$ ans ; $ET = 2.3$) ont participé à cette étude (voir Annexe 1). La plupart d'entre eux étaient étudiants (78%), majoritairement en 1^{ère} et 2^{ème} année de Licence. Ils étaient volontaires, et naïfs quant aux objectifs et hypothèses de l'expérience. Leur vue était normale ou corrigée à la normale. Enfin, le niveau de lecture des participants a été obtenu par le score au test de l'Alouette-R (Lefavrais, 2005).

Matériel

Les stimuli-cibles étaient 120 mots moyennement rares de la langue française (fréquence objective « livre » moyenne en millions d'occurrences : $m = 9.86$; $ET = 6.18$; étendue = [2.64-24.9]), issus de la base informatisée Lexique 3.8 (New, Pallier, Ferrand, & Matos, 2001), et 120 pseudomots (voir Annexe 3). Les mots étaient des noms communs de cinq ou neuf lettres, comme par exemple *chien* et *historien*. Les deux types de mots ont été appariés en fonction de leur nombre (singulier ou pluriel), de la fréquence objective de chaque mot (qui correspond ici à la « fréquence livres » de la base Lexique 3.8), et aucun ne comportait de voisin orthographique par substitution de lettre.

Les pseudomots étaient également formés de cinq ou neuf lettres. Ils ont été créés librement et de telle sorte qu'ils ne possèdent aucun voisin orthographique, vérification faite grâce au Générateur de voisins orthographiques proposé par Lexique Toolbox (New et al., 2001). Mots et pseudomots ont enfin été appariés en fonction de leur nombre et du nombre de syllabes.

Cinq types d'amorces (une suite de « X » de longueur variable) ont été utilisés, comportant respectivement 3, 5, 7, 9 et 11 « X ». Ainsi, l'amorce était de même longueur, plus courte ou plus longue que la cible.

La taille d'une lettre était de $0.47^\circ \times 0.36^\circ$ à 70 cm de l'écran, ce qui produisait des items de 1.08° , 1.80° , 2.52° , 3.24° et 3.96° , respectivement pour les tailles de 3 à 11 lettres. Les stimuli étaient écrits en minuscules au centre de l'écran et en noir ($L = 0.77 \text{ cd/m}^2$) sur un fond gris moyen ($L = 16.8 \text{ cd/m}^2$) avec une police Courier New, taille 30 (voir *Figure 20*), soit un contraste de Michelson de 91.2%. Enfin, un masque a été créé sur fond gris moyen et était constitué d'une suite de 11 dièses (#####).



*Figure 20. Exemples de stimuli : le mot *chien* et le pseudomot *dondetier* dans l'étude 2.*

Les stimuli étaient présentés sur un écran CRT de 21 pouces (avec une carte graphique ATI Radeon HD 2400 Pro, avec une fréquence de rafraîchissement de 60 Hz et une résolution de 1280*1024 pixels). Les différentes tâches ont été générées et exécutées à l'aide du logiciel Matlab R2006a, des outils Traitement du signal et Traitement des images ainsi que l'extension Matlab Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997; Kleiner, Brainard, & Pelli, 2007; Pelli, 1997). Les luminances ont été mesurées avec un photomètre Minolta G100.

Passation expérimentale et procédure

Toutes les passations ont eu lieu dans un box. Elles étaient individuelles et duraient entre 20 et 30 minutes. Il était demandé à tous les participants de remplir et signer un consentement éclairé dès le début de la passation. Les participants passaient le test de l'Alouette, au début ou à la fin de la passation de façon randomisée. Enfin, ils prenaient place devant l'écran et se positionnaient sur la mentonnière, assurant ainsi une distance face l'écran de l'ordinateur de 70 cm.

La tâche principale était une DL couplée à un paradigme d'amorçage masqué. Chaque essai se déroulait de la façon suivante (voir *Figure 21*) : une croix de fixation était présentée pendant 500 ms et simultanément un son « bip » était émis, un pré-masque était affiché pendant 200 ms, suivi de l'amorce durant 50 ms, du post-masque pendant 17 ms et enfin la cible apparaissait durant 100 ms, puis le fond d'écran était à nouveau présenté jusqu'à la réponse du participant. Le participant devait estimer, le plus rapidement et le plus correctement possible, si la suite de lettres présentée à l'écran constituait un mot de la langue

française ou non. Pour répondre, il devait appuyer sur la touche M (main droite⁷) s'il s'agissait d'un mot de la langue française, et sur la touche Q (main gauche) dans le cas contraire.

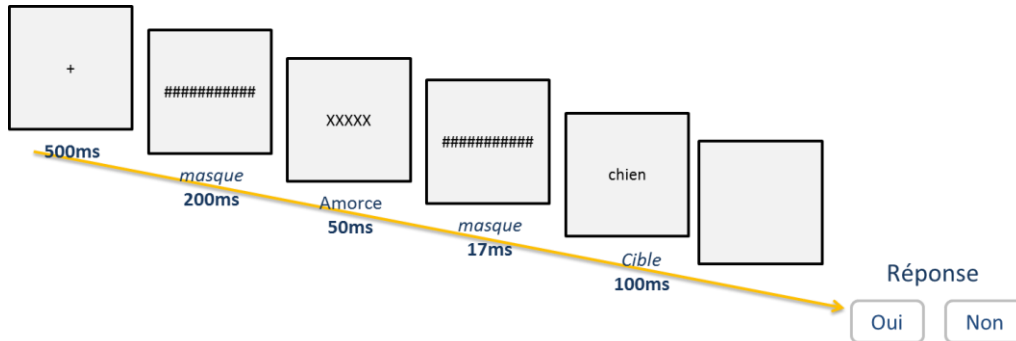


Figure 21. Exemple d'une séquence d'évènements pour un essai avec le mot *chien* comme exemple pour l'étude 2.

Un entraînement préalable comprenant 12 stimuli était proposé au départ pour chaque participant. Les 240 stimuli étaient ensuite présentés de façon randomisée entre les participants. Chaque item était associé avec un type d'amorce, contrebalancé tous les 3 participants. Enfin, un débriefing post-expérimental était proposé au participant permettant le recueil de ses impressions, de ses questions et de l'informer sur les objectifs de l'étude. La présence de l'amorce est passée inaperçue. Un seul participant a relaté avoir vu « quelque chose » avant la cible et en dehors du masque, sans toutefois pouvoir définir clairement ce qu'il a perçu.

⁷ Le clavier était retourné pour les gauchers (20% de l'effectif) et les touches réponses étaient alors inversées, de telle sorte que la réponse « oui » était toujours donnée avec la main préférée du participant, quelle que soit sa latéralité.

Résultats

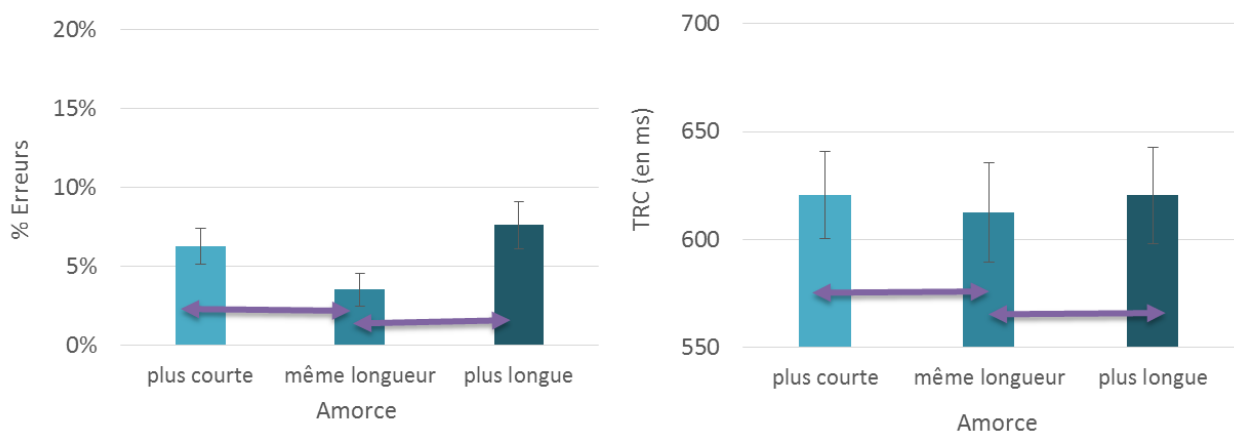
L'analyse des données a été faite en deux étapes avec le logiciel Statistica 10.0. Tout d'abord, des ANOVAs à mesures répétées ont été menées sur le pourcentage d'erreurs (%E) et le temps de réponses correctes (TRC), en traitant séparément les mots et les pseudomots, et en prenant pour facteur aléatoire le participant (F_1) puis l'item (F_2). Les ANOVAs par participant comprenaient la longueur de la cible (soit des stimuli de cinq ou neuf lettres pour les mots d'une part et pour les pseudomots d'autre part, notés 5L ou 9L) et la longueur de l'amorce (une amorce de même longueur, plus courte ou plus longue que la cible) comme facteurs intra-sujets. Des comparaisons planifiées deux à deux (ou contrastes) ont été calculées lorsque cela s'est avéré nécessaire. Dans un second temps, des analyses de Covariance (ANCOVA) ont été réalisées en ajoutant le niveau de lecture du participant en covariable aux précédentes ANOVAs.

Quatre participants (7%), 9 mots (7.5%) et 18 pseudomots (15%), dont le taux moyen d'erreurs était supérieur à 20%, ont été retirés de l'analyse des données. Ainsi, seules les données de 50 participants, 111 mots et 102 pseudomots ont été analysées. Pour l'ensemble des participants, le taux moyen d'erreurs était de 9% (ET = 8%) et la rapidité moyenne était de 653 ms (ET = 191).

Mots

L'analyse a montré un effet principal significatif de la longueur de la cible sur le %E, $F_1(1, 49) = 4.9, p = .032, \eta^2 = .09$ et $F_2 = ns$, et le TRC, $F_1(1, 49) = 10.5, p = .002, \eta^2 = .18$ et $F_2 = ns$. Les performances étaient meilleures pour les mots de 9L (5% et 611 ms) que pour les mots de 5L (7% et 625 ms).

Un effet principal de la longueur de l'amorce significatif sur le %E, $F_1(2, 98) = 13.6$, $p < .001$, $\eta^2 = .22$ et $F_2 = ns$, et tendanciel sur le TRC a été observé, $F_1(2, 98) = 2.6$, $p = .082$, $\eta^2 = .05$ et $F_2(2, 218) = 4.3$, $p = .015$, $\eta^2 = .04$ (voir *Figure 22*). Les performances étaient meilleures lorsque l'amorce était de même longueur que la cible plutôt que plus longue ou plus courte. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.

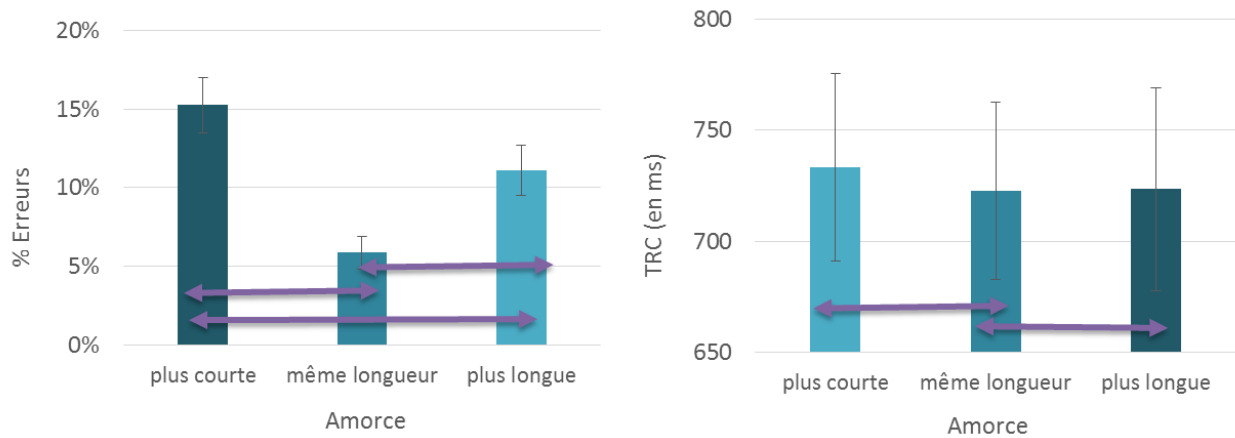


Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 22. Effet principal de la longueur de l'amorce sur le %E et le TRC pour les mots (Expérience 2.1.)

Pseudomots

L'analyse a montré un effet principal de la longueur de l'amorce significatif sur le %E, $F_1(2, 98) = 56.7$, $p < .001$, $\eta^2 = .54$ et $F_2(2, 200) = 6.7$, $p = .001$, $\eta^2 = .07$, et tendanciel sur le TRC, $F_1(2, 98) = 2.5$, $p = .085$, $\eta^2 = .05$ et $F_2(2, 200) = 4.1$, $p = .018$, $\eta^2 = .04$ (voir *Figure 23*). Le %E était plus haut lorsque l'amorce était plus courte que la cible plutôt que de même longueur, et il était encore plus haut lorsque l'amorce était plus longue que la cible. Le TRC était plus long lorsque l'amorce plus courte que la cible plutôt que lorsqu'elle était de même longueur ou plus longue. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 23. Effet principal de la longueur de l'amorce sur le %E et le TRC pour les pseudomots (Expérience 2.1.)

ANCOVA

Deux ANCOVAs ont été réalisées afin de déterminer si les effets précédents continuaient à s'observer lorsque le niveau de lecture était contrôlé. Les résultats pour les mots ont montré que trois des effets précédents continuaient de s'observer. Ont été obtenu un effet significatif de la longueur de la cible sur le %E, $F(1, 48) = 7.6$, $p = .008$, $\eta^2 = .14$, un effet significatif de la longueur de l'amorce sur le %E, $F(2, 96) = 6.5$, $p = .002$, $\eta^2 = .12$, et un effet d'interaction significatif entre la longueur de la cible et la longueur de l'amorce sur le TRC, $F(2, 96) = 3.2$, $p = .046$, $\eta^2 = .06$. Par contre, l'effet de la longueur de la cible sur le TRC et l'effet de la longueur de l'amorce sur le TRC disparaissaient. Les résultats pour les pseudomots ont montré un effet significatif de la longueur de l'amorce sur le %E, $F(2, 96) = 4.0$, $p = .021$, $\eta^2 = .08$, mais l'effet de la longueur de l'amorce sur le TRC n'était pas reproduit.

Discussion

Dans cette expérience, l'effet de longueur était testé en présentant une information visuelle de longueur en amorce dans une tâche de DL de façon croisée avec la manipulation de la longueur de la cible. L'analyse des résultats a montré : 1/ un effet principal de la longueur de la cible facilitateur, inverse à celui retrouvé dans la littérature ; 2/ un amorçage significatif par l'information de longueur de l'amorce pour les cibles mots et les pseudomots, avec de meilleures performances lorsque l'amorce était de même longueur que la cible plutôt que plus courte ou plus longue. Enfin, les résultats ont aussi montré que lorsque le niveau de lecture des participants était contrôlé, les effets observés sur la précision de la réponse restaient significatifs et ne dépendaient pas du niveau de lecture des participants.

Les résultats sur l'effet principal de longueur du mot contrastaient avec l'effet classique de longueur. Dans le cas présent, les mots longs étaient traités plus rapidement et plus précisément que les mots courts, même si ces différences étaient faibles (+1% et +14 ms). Les travaux antérieurs suggéraient au contraire une absence de l'effet de longueur (avec un temps de traitement stable pour les mots de 5 à 8 lettres en anglais, New et al., 2006) ou au moins un effet inhibiteur, avec des cibles courtes traitées plus rapidement et plus précisément que des cibles longues (e.g. Balota et al., 2004; New et al., 2006). Les contraintes de choix du matériel (notamment le contrôle du nombre de voisins, la fréquence et le type de mots) n'avaient pas permis de sélectionner deux modalités plus contrastées dans notre étude, comme des mots de 3 vs. 5 ou bien 5 vs. 12 lettres. Aucun effet de longueur n'était donc attendu. L'effet de longueur inverse obtenu ici était significatif pour les mots seulement et sur les participants uniquement, et n'était pas généralisable aux items. Les mots des deux différentes listes étaient donc sans doute hétérogènes les uns par rapport aux autres. Une inspection détaillée a posteriori des deux listes a en effet révélé un biais possible : même si le nombre de

voisins orthographiques avait été apparié entre les deux listes, le type de voisin ne l'était pas complètement : les mots courts (33%) étaient plus nombreux à posséder au moins un voisin orthographique plus fréquent *par suppression* de lettre, comparativement aux mots longs (15%). En outre, pour les mots longs, une bonne partie de ces voisins par suppression était des voisins sémantiques, qui ne sont pas inhibiteurs, mais facilitateurs. Le voisin orthographique plus fréquent par suppression de lettre était donc plus compétiteur pour les mots courts, comme par exemple la cible *abord* et son voisin *bord*, ce qui a pu provoquer une diminution des performances pour les mots courts par rapport aux mots longs (e.g., Davis, Perea, & Acha, 2009; Davis & Taft, 2005). A contrario pour les mots longs, les nombreux voisins sémantiques aidaient à l'identification de la cible (Chen & Mirman, 2012).

De plus, les résultats révélèrent que l'amorce visuelle non-signifiante brève avait eu une influence significative sur le traitement de la cible, et cet effet ne variait pas selon la longueur de la cible. La tâche de DL sur la cible était plus efficace et plus rapide lorsqu'une chaîne de X de même longueur que la cible était présentée comme amorce par rapport aux conditions dans lesquelles l'amorce était plus courte ou plus longue d'un caractère en début et en fin de mot. Cet effet s'observait pour les mots et pour les pseudomots, même si l'effet pour les pseudomots montrait de surcroît que l'amorce plus courte était encore plus délétère que l'amorce plus longue. La nature de l'amorce (une suite non signifiante d'un même caractère), le SOA bref (50 ms), le fait que l'amorçage ait été obtenu à la fois pour la réponse mot et la réponse pseudomot de la tâche de DL, ainsi que le fait que cet effet ne dépendait pas du niveau de lecture du participant indiquaient que cet effet était de nature visuelle et était de bas niveau.

Il est important de noter qu'il ne s'agissait pas d'un simple effet de superposition visuelle de l'amorce et de la cible puisque, dans ce cas, l'amorçage aurait dû être équivalent pour l'amorce de longueur identique et plus longue relativement à l'amorce plus courte. Il ne

s'agissait pas non plus d'une compétition entre les lettres de la cible et de l'amorce, puisque l'amorçage aurait dû décroître à mesure que le nombre de lettres de l'amorce augmentait. Pour les mots, les amorces plus courtes et plus longues que la cible étaient autant gênantes l'une que l'autre pour le traitement de la cible. En revanche, pour la réponse de rejet du pseudomot, les amorces plus courtes avaient un effet plus délétère que les amorces plus longues. Il était moins coûteux d'avoir plus d'informations disponibles, que peu d'informations. Ceci allait dans le sens de l'empan perceptif (*perceptual span*, Rayner, 1998), celui-ci doit être suffisamment large pour permettre l'extraction de l'information utile. Enfin, l'utilisation d'un paradigme d'amorçage masqué prévenait d'une interprétation par des mécanismes stratégiques et favorisait l'interprétation de l'amorçage physique de la longueur par un mécanisme automatique.

Nos résultats étaient ainsi compatibles avec ceux de (De Moor & Brysbaert, 2000; Humphreys et al., 1990), mais pas avec ceux d'Inhoff et Eiter (2003), qui utilisaient une amorce visuelle formelle composée de signes égal, n'avaient pas pu mettre en évidence d'influence de l'amorce. Notre amorce était présentée plus brièvement (50 ms au lieu de 350 ms) et il est possible que les effets stratégiques possiblement mis en œuvre par le participant face à ce type d'amorce aillent dans le sens inverse des processus automatiques. Nos conditions de présentation étaient proches des conditions de De Moor et Brysbaert (2000), pour qui la longueur de l'amorce s'était avérée facilitatrice pour le traitement du mot. Notre amorce était efficace et les participants étaient donc capables d'extraire l'information critique de longueur. Des études antérieures avaient d'ailleurs montré des résultats similaires montrant que des informations sur la longueur de la cible étaient extraites du masque (Jordan, 1990; Smith, Jordan, & Sharma, 1991).

De plus, l'utilisation de X pour la composition de l'amorce, comme nous l'avons fait, au lieu du signe égal, est peut-être plus favorable, car ce symbole est également une lettre, et pas

seulement un symbole. Dans le cadre du modèle SOLAR (Davis, 2006), la chaîne de X de l'amorce permettait donc d'activer des traits des lettres précocement et de démarrer l'identification visuelle du mot, du moins au niveau perceptif, et de coder l'information de longueur. Le signe égal, quant à lui, ne permettait pas une activation efficace des traits des lettres. Il semble donc que l'information visuelle de longueur permet d'amorcer la reconnaissance visuelle des mots (e.g., De Moor & Brysbaert, 2000; Humphreys et al., 1990; Skarratt, McDonald, & Lavidor, 2008), à condition toutefois que cette information soit une information orthographique, plutôt qu'un simple symbole. Un mécanisme explicatif possible est que l'information de longueur du mot permettrait de réduire le nombre de mots candidats à la compétition lexicale en sélectionnant ceux de même longueur et en éliminant ceux de longueur différente (e.g., Clark & O'Regan, 1999). L'information de longueur est une information visuelle ascendante, agissant en amont de l'identification du mot, et compatible avec l'information critique préalable décrite dans le modèle de Bar pour la reconnaissance visuelle des objets, et permettant notamment de définir la position de la fixation dans la lecture (Morris et al., 1990).

Cette première expérience a donc mis en évidence avec succès l'efficacité d'une amorce physique brève indiquant la longueur de la cible, chez le normolecteur adulte jeune. La longueur, comme forme globale dépendant du nombre de lettres, semble bien être une caractéristique visuelle de bas-niveau, influençant la reconnaissance visuelle des mots écrits. Cette information visuelle était efficace pour les traitements visuels ascendants puisque l'effet était observé pour les mots et pour les pseudomots. Enfin, l'information de longueur présentée en amorce était tout à fait conciliable avec l'idée d'une information critique préalable pour la reconnaissance visuelle. Une seconde expérience a été réalisée afin d'évaluer si cet effet d'amorçage par la longueur dépendait effectivement du système M, grâce au paradigme d'isoluminance et de contraste.

5.1.3. *Paradigme d'isoluminance et de contraste chez l'adulte* (*Expérience 2.2.*)

De nouveaux participants normolecteurs adultes jeunes ont passé une nouvelle tâche de DL avec amorçage masqué formé de la même séquence d'évènements que la précédente. L'ensemble des items était présenté selon deux nouvelles conditions de présentation visuelle : soit la condition stimuli isoluminants, biaisant ainsi les traitements visuels vers le système P, soit dans la condition faible contraste biaisant les traitements visuels vers le système M.

Dans ces conditions de présentation, lorsque tous les items de la séquence (point de fixation, pré-masque, amorce, post-masque et cible) sont isoluminants ou en faible contraste, l'ensemble des processus visuels sont biaisés vers le système M ou vers le système P. Les effets de masquage changent de nature (Breitmeyer & Ogmen, 2000; Delord, 1998) et la visibilité de la cible diminue. Pour cette raison, le temps de présentation de la cible a été allongé (500ms) par rapport à l'étude 3.1, des pré-tests ayant fait état d'une quasi-impossibilité de traiter la cible en conditions visuelles dégradées avec seulement 100 ms de temps de présentation. Cet allongement du temps de présentation égalisait la performance sur la cible comparativement à la première expérience.

Cette étude avait donc pour objectifs : 1/ de répliquer l'effet de longueur classique, avec de meilleures performances pour les cibles courtes que longues ; 2/ de répliquer l'effet d'amorçage visuel par une information de longueur, avec de meilleures performances lorsque l'amorce était de même longueur plutôt que plus courte ou plus longue ; 3/ de déterminer quel système visuel véhicule l'information de longueur : si l'information de longueur qui dépend de la forme globale du mot est, comme pour les objets véhiculés, par le système M (Bar, 2003, 2004), l'effet d'amorçage par la longueur ne devrait s'observer seulement ou davantage dans la condition de faible contraste plutôt qu'en condition stimuli isoluminants.

*Méthode**Participants*

Soixante-dix-huit adultes de langue maternelle française, âgés de 18 à 40 ans ($M = 19.5$; $ET = 2.8$) ont participé à cette étude (voir Annexe 1). Tous étaient étudiants, majoritairement en 1^{ère} et 2^{ème} années de Licence, et 20% d'entre eux y ont participé dans le cadre de leur cursus à l'université. Ils étaient volontaires et naïfs quant aux objectifs et hypothèses de l'expérience. Leur vue était normale ou corrigée à la normale. Enfin, le niveau de lecture des participants était obtenu grâce au score au test de l'Alouette-R (Lefavrais, 2005).

Matériel

Les stimuli et le matériel utilisés étaient identiques à ceux de l'expérience contrôle. Les items étaient écrits au centre de l'écran en noir sur un fond blanc avec une police Courier New, taille 30. Ils étaient présentés en deux blocs selon deux conditions de présentation (voir *Figure 24*) : soit écrits en rouge ($L = 10.34$; $a^* = 25.37$; $b^* = 16.01$; avec une luminance ajustée pour chaque participant) sur un fond vert ($L = 10.70$; $a^* = -21.79$; $b^* = 14.58$; soit une luminance en cd/m^2 de 1.23) pour la condition stimuli isoluminants, soit écrits en gris ($L = 6.09$ cd/m^2) sur un fond gris plus foncé ($L = 5.37$ cd/m^2) pour la condition faible contraste (ici 6.3% de contraste de Michelson). L'ordre de passation des conditions visuelles était contrebalancé entre les participants.

Concernant l'ajustement individuel de la luminance rouge, les résultats de l'ensemble des participants montraient un seuil de luminance moyen de 1.18 cd/m^2 ($ET = 0.02$; étendue = [0.78-1.94]).

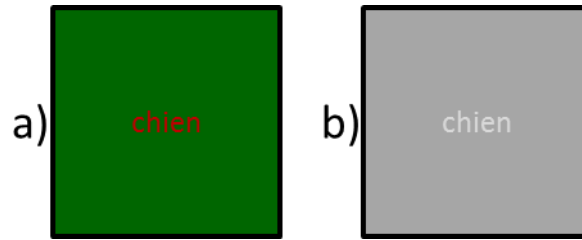


Figure 24. Exemples du stimulus *chien* selon les deux conditions visuelles de présentation pour l'expérience 2.2. : a) en condition stimuli isoluminants, écrit en rouge sur fond vert (1.23 cd/m²) ; b) condition faible contraste, écrit en gris clair sur gris foncé avec un contraste de Michelson de 6.3%. À noter que la qualité de l'impression ne permet de rendre compte de façon fidèle des valeurs et des couleurs utilisées dans l'expérience.

Passation expérimentale et procédure

Les passations avaient lieu dans les mêmes conditions que pour l'expérience 3.1. Les participants procédaient à la tâche de calibration de luminance, puis à la tâche principale qui était la même que précédemment, avec un niveau de luminance qui est bien plus faible ici, comparativement aux stimuli en contraste maximal habituellement utilisés (ici 6.3% vs. 91.2% dans l'expérience précédente). La séquence d'évènements était également similaire excepté le fait que la cible était présentée 500 ms au lieu de 100 ms. Enfin, comme pour l'expérience précédente, dans le débriefing post-expérimental, aucun participant n'a rapporté avoir perçu l'amorce.

Résultats

Des ANOVAs à mesures répétées ont été conduites avec le logiciel Statistica 10.0 sur le pourcentage d'erreurs (%E) et le temps de réponses correctes (TRC), en traitant séparément les mots et les pseudomots, et en prenant pour facteur aléatoire le participant (F_1) puis l'item (F_2). Les ANOVAs par participant comprenaient la longueur de la cible (soit des stimuli de 5 ou 9 lettres pour les mots d'une part et pour les pseudomots d'autre part, notés 5L et 9L), la longueur de l'amorce (une amorce de même longueur, plus courte ou plus longue que la cible) et la condition de présentation (stimuli isoluminants ou faible contraste) comme facteurs intra-

sujets. Des comparaisons planifiées deux à deux (ou contrastes) ont été calculées lorsque cela s'est avéré nécessaire.

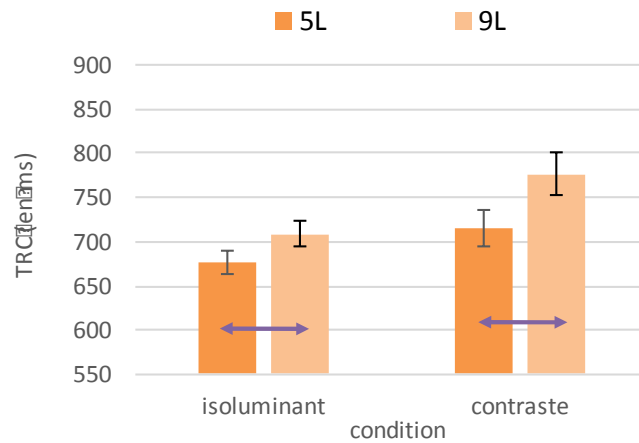
Neuf mots (7.5%) et 14 pseudomots (12%), dont le taux moyen d'erreurs était supérieur à 20%, ont été retirés de l'analyse des données. Ainsi, les données de 78 participants, 111 mots et 106 pseudomots ont été analysées. Pour l'ensemble des participants, le taux moyen d'erreurs était de 6% (ET = 9%) et la rapidité moyenne était de 789 ms (ET = 153).

Mots

L'analyse a montré un effet principal significatif de la longueur de la cible sur le TRC, $F_1(1, 77) = 65.7, p < .001, \eta^2 = .46$ et $F_2(1, 109) = 7.3, p = .008, \eta^2 = .06$. Le TRC était plus court pour les mots de 5L (696 ms) que pour les mots de 9L (743 ms).

Un effet principal de la condition de présentation s'est révélé significatif sur le %E, $F_1(1, 77) = 4.6, p = .036, \eta^2 = .06$ et $F_2(1, 109) = 4.0, p = .047, \eta^2 = .04$, et sur le TRC, $F_1(1, 77) = 19.7, p < .001, \eta^2 = .20$ et $F_2(1, 109) = 40.9, p < .001, \eta^2 = .27$. Les performances étaient meilleures en condition stimuli isoluminants (3% et 693 ms) qu'en condition faible contraste (4% et 746 ms).

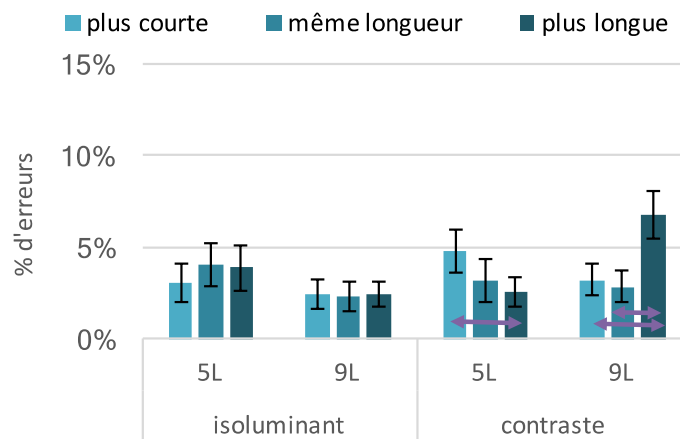
Un effet d'interaction entre la longueur de la cible et la condition de présentation s'est révélé significatif sur le TRC, $F_1(1, 77) = 9.1, p = .004, \eta^2 = .11$ et $F_2(1, 109) = 9.4, p = .003, \eta^2 = .08$ (voir *Figure 25*). L'effet de longueur du mot était plus fort en condition faible contraste qu'en condition stimuli isoluminants.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 25. Effet d'interaction entre la longueur de la cible et la condition visuelle sur le TRC pour les mots (Expérience 2.2.)

Un effet d'interaction entre la longueur de l'amorce et la longueur de la cible s'est révélé significatif sur le %E, $F_1(2, 154) = 4.8, p = .010, \eta^2 = .06$ et $F_2 = ns$, et sur le TRC, $F_1(1, 154) = 7.0, p = .001, \eta^2 = .08$ et $F_2 = ns$. De plus, un effet d'interaction entre la longueur de l'amorce, la longueur de la cible et la condition visuelle s'est révélé significatif sur le %E, $F_1(2, 154) = 7.2, p = .001, \eta^2 = .09$ et $F_2 = ns$ (voir Figure 26). En condition faible contraste, le %E était plus bas pour les mots de 5L lorsque l'amorce était plus longue que la cible plutôt que plus courte, alors que pour les mots de 9L, le %E était plus bas lorsque l'amorce était plus courte ou de même longueur que la cible plutôt que plus longue. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

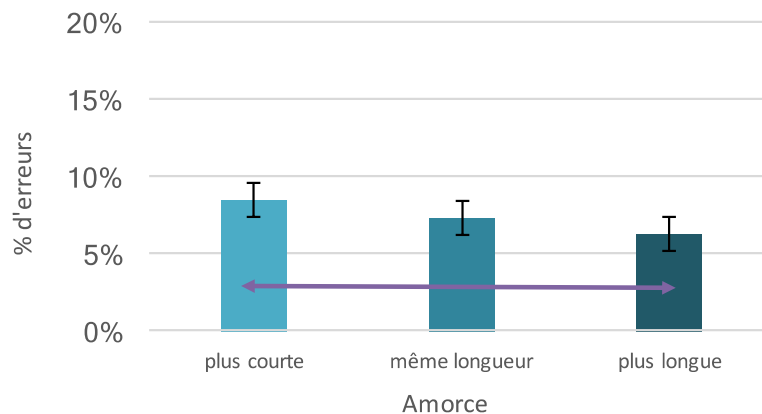
Figure 26. Effet d'interaction entre la longueur de l'amorce, la longueur de la cible et la condition visuelle sur le %E et le TRC sur le %E et le TRC pour les mots (Expérience 2.2.)

Pseudomots

L'analyse a montré un effet principal significatif de la longueur de la cible sur le %E, $F_1(1, 77) = 15.1, p < .001, \eta^2 = .16$ et $F_2(1, 104) = 10.9, p = .001, \eta^2 = .10$, et sur le TRC, $F_1(1, 77) = 112.4, p < .001, \eta^2 = .59$ et $F_2(1, 104) = 96.6, p < .001, \eta^2 = .48$. Les performances étaient meilleures pour les pseudomots de 5L (6% et 851 ms) que pour les pseudomots de 9L (9% et 1003 ms).

Un effet principal significatif de la condition visuelle a été observé sur le TRC, $F_1(1, 77) = 10.6, p = .002, \eta^2 = .12$ et $F_2(1, 104) = 17.3, p < .001, \eta^2 = .14$. Le TRC était plus court en condition stimuli isoluminants (896 ms) qu'en condition faible contraste (958 ms).

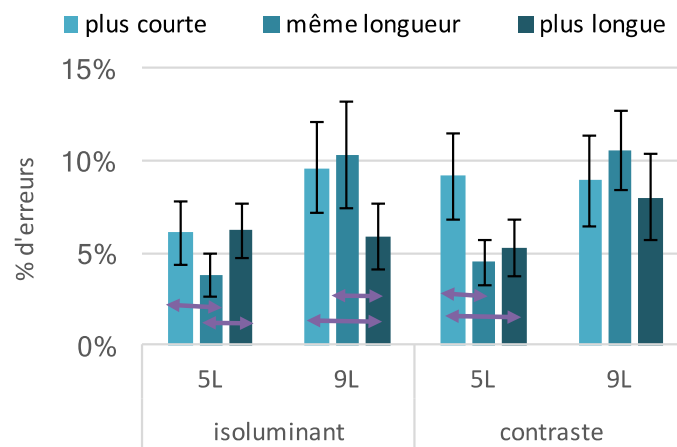
Un effet principal significatif de la longueur de l'amorce a été observé sur le %E, $F_1(2, 154) = 4.8, p = .009, \eta^2 = .06$ et $F_2(2, 208) = 40.7, p < .001, \eta^2 = .28$ (voir Figure 27). Le %E était plus élevé lorsque l'amorce était plus courte que la cible plutôt que plus longue. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 27. Effet principal de la longueur de l'amorce sur le %E pour les pseudomots (Expérience 2.2.)

Un effet d'interaction significatif entre la longueur de l'amorce et la longueur de la cible a été montré sur le %E, $F_1(2, 154) = 7.7, p = .001, \eta^2 = .09$ et $F_2(2, 208) = 3.5, p = .032, \eta^2 = .03$, et sur le TRC, $F_1(2, 154) = 6.6, p = .002, \eta^2 = .08$ et $F_2 = ns$. Enfin, un effet d'interaction significatif entre la longueur de l'amorce, la longueur de la cible et la condition visuelle a été obtenu sur le %E, $F_1(2, 154) = 5.0, p = .008, \eta^2 = .06$ et $F_2 = ns$. (voir *Figure 28*). En condition stimuli isoluminants, le %E était plus bas pour les pseudomots de 5L lorsque l'amorce était de même longueur que la cible plutôt que plus courte ou plus longue, alors que pour les pseudomots de 9L, le %E était plus bas lorsque l'amorce était plus longue que la cible plutôt que de même longueur ou plus courte. En condition faible contraste, pour les pseudomots de 5L, le %E était plus bas lorsque l'amorce était de même longueur ou plus longue que la cible plutôt que plus courte. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 28. Effet d'interaction entre la longueur de l'amorce, la longueur de la cible et la condition visuelle sur le %E et le TRC pour les pseudomots (Expérience 2.2.)

ANCOVA

Deux ANCOVAs ont été réalisées afin de déterminer si les effets précédents continuaient à s'observer lorsque le niveau de lecture était contrôlé. Les résultats pour les mots ont montré que trois des effets précédents continuaient de s'observer. Ont été obtenu un

effet significatif de la longueur de la cible sur le TRC, $F(1, 76) = 15.2$, $p < .001$, $\eta^2 = .17$, un effet significatif de la condition de présentation sur le %E, $F(1, 76) = 3.6$, $p = .063$, $\eta^2 = .04$, un effet d'interaction significatif entre la longueur de la cible et la longueur de l'amorce sur le %E, $F(2, 152) = 2.4$, $p = .096$, $\eta^2 = .06$. Par contre, l'effet de la condition de présentation sur le TRC et l'effet de l'interaction entre la longueur de l'amorce et la longueur de la cible sur le TRC ne s'observaient plus.

Les résultats pour les pseudomots ont montré un effet significatif de la longueur de la cible sur le %E, $F(1, 76) = 18.6$, $p < .001$, $\eta^2 = .20$, et sur le TRC, $F(1, 76) = 26.1$, $p < .001$, $\eta^2 = .26$, un effet tendanciel de la longueur de l'amorce sur le %E, $F(2, 152) = 2.6$, $p = .079$, $\eta^2 = .03$, un effet d'interaction tendanciel entre la longueur de la cible et la longueur de l'amorce sur le %E, $F(2, 152) = 2.7$, $p = .069$, $\eta^2 = .03$, et un effet d'interaction significatif entre la longueur de la cible, la longueur de l'amorce et la condition de présentation sur le %E, $F(2, 152) = 4.1$, $p = .019$, $\eta^2 = .05$. En revanche, l'effet d'interaction entre la longueur de l'amorce et la longueur de la cible sur le TRC n'était pas reproduit.

Discussion

Cette deuxième expérience avait pour objectif de dissocier les implications de chaque système M et P, dans le phénomène d'amorçage par la longueur qui avait été observé dans l'expérience précédente dans des conditions visuelles classiques. Pour cela, une condition visuelle à très faible contraste, favorisant les traitements M, était comparée à une condition stimuli isoluminants, sans contraste et avec seulement une distinction chromatique favorisant les traitements P. En résumé, les résultats ont montré : 1/ un important ralentissement global des réponses par rapport à l'expérience précédente dans ces conditions visuelles dégradées ; 2/ un effet principal de la longueur de la cible classique pour les mots et les pseudomots avec de meilleures performances de DL sur les items courts que sur les items longs ; 3/ des effets

d'amorçage par la longueur partiellement répliqués pour les mots, uniquement sur la précision de la réponse et dans la condition isolant le système M, indépendamment du niveau de lecture du participant ; et 4/ que l'amorçage des pseudomots était différent que celui observé pour les mots, inverse à celui de l'expérience précédente, et impliquant les deux systèmes visuels.

Tout d'abord, les manipulations des contrastes de luminance et de chromaticité induisaient des conditions visuelles très dégradées, engendrant des temps de réponse rallongés, soit une augmentation moyenne de 136ms, soit un ralentissement du temps de réponse d'environ 20%. Toutefois, le taux moyen d'erreurs était réduit de 3%, soit une amélioration de la précision d'environ 30%. Ces atteintes des performances entraînaient des effets plus marqués sur la précision que sur la rapidité, ce qui pouvaient s'expliquer par la mise en place de stratégie de la part du participant, en prenant plus de temps pour réaliser la DL et limiter les erreurs et les incertitudes étant donné les conditions visuelles inhabituelles et difficiles.

Aussi, l'effet de la longueur de la cible, indépendant du niveau de lecture du participant, répliquait l'effet classiquement observé dans la littérature, et était donc inverse à ce qui avait été obtenu dans la précédente expérience. Cet effet était significatif pour les participants et pour les items, et donc généralisable à l'ensemble des lecteurs et à l'ensemble des mots (e.g., Balota et al., 2004; Hudson & Bergman, 1985; O'Regan & Jacobs, 1992; Vergilino-Perez et al., 2004) et des pseudomots. De plus, l'effet de longueur était ici de plus grande ampleur que dans l'expérience 2.1. (environ 47 ms pour les mots et 152 ms pour les pseudomots, $\eta^2 = .18$ vs $\eta^2 = .46$). L'effet de longueur pour les mots était inattendu. Les conditions visuelles dégradées ont pu mettre en exergue les facteurs visuels de bas niveau, et accentuer l'impact de l'information de longueur du mot. Concernant les pseudomots, l'effet observé répliquait la littérature et suggérait donc un traitement sériel, et non parallèle, des lettres (Barton et al., 2014; De Luca et al., 1999).

De plus, l'effet de longueur de la cible était modulé par la condition de présentation pour les mots en termes de rapidité, avec un effet de longueur du mot plus important en condition faible contraste privilégiant les informations M, qu'en condition stimuli isoluminants, où les informations P étaient isolées. Ce résultat confortait l'hypothèse de la longueur du mot comme une primitive visuelle, véhiculée préférentiellement par les informations M, et correspondant ainsi à la forme globale du mot. Cependant, cette information peut aussi être recodée, mais moins facilement, par le système P qui prend en charge les informations locales, comme la lettre. Dans ce dernier cas, l'information de longueur peut être recalculée à partir d'un assemblage des informations locales.

Enfin, l'interaction observée sur la précision de la réponse aux cibles-mot entre la longueur de la cible la condition visuelle et la longueur de l'amorce montrait que la facilitation engendrée par l'amorce ne s'observait qu'en condition privilégiant les informations M, et que cet amorçage était de nature un peu différente. En effet, dans l'expérience précédente, les amorces, plus longue et plus courte que la cible, diminuaient toutes deux la précision de la réponse par rapport à l'amorce de même longueur que la cible, et ceci, quelle que soit la longueur de la cible. Ici, lorsque le système M était isolé, la gêne de l'amorce longue disparaissait pour les cibles courtes alors que l'inverse se produisait pour les cibles longues, pour lesquelles c'était la gêne engendrée par l'amorce courte qui disparaissait. Il faut toutefois remarquer que ces deux conditions (l'amorce plus longue pour les cibles courtes et l'amorce plus brève pour les cibles longues) qui cessent d'être délétères pour le traitement de la cible correspondent en fait toutes deux à la même amorce : une suite de sept X (plus longue que la cible de cinq lettres et plus courte que la cible de neuf lettres). Ainsi, cette amorce de sept lettres est devenue aussi facilitatrice que les deux amorces de taille identique à la cible (des suites de cinq et neuf X, respectivement pour les cibles courtes et longues).

Deux interprétations sont possibles. La première est que les effets d'amorçage changent de nature dans ces conditions visuelles ne préservant que le système M : les amorces très courtes et très longues sont les seules délétères, par exemple car elles sont très différentes de l'empan perceptif (*perceptual span*, Rayner, 1998). Cet empan est d'environ 10 lettres dans des conditions visuelles normales, et serait donc plus court dans des conditions dégradées (Legge et al., 1997), ce qui pourrait correspondre aux amorces de cinq à neuf lettres de longueur dans notre expérience. Il est aussi possible que l'influence de ce paramètre interagisse avec un autre paramètre, l'OVP, qui dans notre paradigme, correspond au point de fixation pour les cibles courtes, mais qui est décalé sur la gauche du point de fixation pour les mots longs (Legge et al., 1997). De plus, l'allongement de la durée de présentation de la cible dans cette expérience par rapport à l'expérience précédente (500 ms au lieu de 100 ms dans les conditions visuelles normales précédentes), utilisée pour compenser la diminution de visibilité de la cible engendrée par la diminution de contraste de l'ensemble des stimuli, autorisait en effet la programmation d'une saccade supplémentaire pour les cibles de neuf lettres de longueur. Ainsi, dans le cadre du modèle MTM (Ans et al., 1998), l'amorce influençait la taille de l'EVA (empan visuo-attentionnel). Pour les mots courts traités en une saccade et avec l'OVP attendu correspondant au point de fixation, l'amorce longue était la plus efficace car elle permettait à l'EVA de prendre en compte l'ensemble du stimulus, alors que pour les mots longs, pouvant être traités en deux saccades et avec un OVP décalé du point de fixation, l'amorce courte ou de même longueur étaient alors plus efficaces et évitaient ainsi le surplus d'information à traiter. Avec nos manipulations expérimentales, l'identification des mots courts était sans le vouloir favorisé relativement à l'identification des mots longs.

En définitive, ce résultat venait confirmer notre hypothèse de la longueur du mot comme une primitive visuelle véhiculée par le système M et que son influence dépend de la longueur des items. Cette dimension est sûrement basée sur les contenus en fréquences spatiales basses du

stimulus, comme c'est le cas pour le traitement des photographies d'objets (Bordaberry et al., 2012). Ce résultat montre donc que des mécanismes visuels similaires sont utilisés pour le codage des images, et est en adéquation avec le modèle HHB (Allen et al., 2009), et notamment le traitement holistique du mot, qui est supposé par ces auteurs être codé par le système M. Des résultats récents montrent en effet comment une atteinte sélective du traitement visuo-attentionnel permet d'expliquer des troubles du traitement des mots dans la dyslexie (Boros et al., 2016) ou comment la rééducation perceptive permet de réhabiliter la lecture chez ces enfants (Gori & Facoetti, 2014). Nos résultats apportent donc des arguments expérimentaux supplémentaires chez le lecteur expert qu'une dimension visuelle comme la longueur du mot est une caractéristique primitive basique de la forme globale de type M, qui détermine les traitements lexicaux ultérieurs, comme c'est finalement le cas pour l'activation des objets dans la mémoire visuelle dans un modèle de reconnaissance visuelle d'objet récent (Bar, 2003, 2004).

Pour les pseudomots, le pattern des résultats était différent de celui observé dans l'expérience 2.1. en condition visuelle normale. Initialement, les mêmes effets avaient été obtenus pour les mots et les pseudomots, et ils montraient une gêne des amorces plus courte et plus longue que la cible, et ce que le pseudomot soit court ou long. Il était également différent de ce qui était observé dans ces mêmes conditions visuelles détériorées pour les mots, sauf pour ce qui concerne les mots courts. Dans cette expérience dans laquelle les conditions de présentation visuelles étaient biaisées vers le système M ou P, des effets d'amorçage très variables de la réponse de rejet du pseudomot ont été observés et semblaient montrer que les deux sous-systèmes M et P pouvaient être efficaces pour véhiculer l'information de longueur. En effet, pour les pseudomots courts, le même effet d'amorçage que pour les mots a été observé dans la condition visuelle isolant le système M, mais l'amorçage était également observé dans la condition visuelle P. L'amorçage par l'information de longueur est donc

possible à l'aide des deux sous-systèmes visuels, c'est-à-dire que l'information de longueur peut être considérée comme une information globale ou qu'elle peut être une information dérivée des informations locales. Pour les pseudomots longs, la précision de la réponse était globalement davantage détériorée. Aucun amorçage par la forme globale véhiculée par le système M n'était mis en évidence, alors qu'un amorçage a été observé dans la condition visuelle P, mais dans un sens différent de ce qui a été observé jusqu'ici puisque seule l'amorce la plus longue aidait les traitements relativement aux amorces plus courtes ou de même longueur.

Le rejet des pseudomots repose sur un traitement purement sous-lexical étant donné qu'ils ne possèdent pas de représentations en mémoire. L'importance de la lettre, et donc du système P, et les informations de détails deviennent prépondérantes pour les pseudomots comparativement aux mots. Dans le cadre du modèle HHB (Allen et al., 2009), leur traitement passe donc par la voie lexicale et le modèle AI (McClelland & Rumelhart, 1981) au sein duquel l'identité des lettres est une dimension critique, dimension relayée par le système P. De plus, selon le modèle MTM (Ans et al., 1998), les pseudomots sont traités via la procédure analytique et de ce fait, à l'aide d'un EVA réduit, qui correspondrait à l'amorce courte. Pourtant, l'amorce courte gênait systématiquement le rejet du pseudomot. En effet, le rejet de la cible-pseudomot n'était favorisé que lorsque l'EVA était de la même longueur pour les pseudomots courts, nécessitant une seule fixation, ou qu'il était plus long pour les pseudomots longs, pouvant nécessiter deux fixations, et que les informations P ; ou que l'EVA était de même longueur ou plus longs que les pseudomots courts, ne requérant qu'une unique fixation lorsque les informations M étaient sélectionnées. Dans ce cadre expérimental particulier avec des conditions visuelles fortement dégradées, pour les pseudomots comme pour les mots, il faudrait davantage parler d'empan perceptif (*perceptual span*, Rayner, 1998) et non d'EVA (Bosse et al., 2007), qui prend en compte la quantité d'informations orthographiques extraites

en une seule fixation. Contrairement aux mots pour lesquels la représentation lexicale peut favoriser l'identification du mot écrit via des traitements descendants, le pseudomot doit être « vu » entièrement pour être traité complètement et rejeté. L'empan perceptif doit alors être suffisamment large pour prendre en compte l'ensemble des informations visuelles, d'où l'avantage observé pour les amorces de même longueur ou plus longue que la cible pour les pseudomots.

Indépendamment des effets complexes obtenus pour les pseudomots, cette expérience en conditions visuelles dégradées a permis de répliquer l'effet d'amorçage pour les mots et de montrer l'importance du système M pour cette dimension. Cet argument est en faveur de l'information de longueur comme une primitive visuelle influençant l'identification d'un mot écrit isolé. Cela étend donc à la reconnaissance de mot isolé ce qui était connu pour l'exploration oculaire lors de la lecture, la forme globale du mot ne joue pas seulement un rôle en vision parafovéale lors de la lecture de texte, elle peut aussi permettre une sélection lexicale. Présentée en amorce, l'information de longueur du mot véhiculait en conséquence la forme globale du mot via le système M et permettait la restriction des candidats-mots potentiels aux candidats de même longueur. Cependant, les résultats révélaient aussi que cette information de longueur du mot pouvait être reconstruite de façon mineure à partir des informations locales du mot, les lettres, portées par la voie P.

Pour les pseudomots, lorsqu'aucune représentation lexicale ne correspondait à la cible, l'information de longueur était véhiculée par les deux systèmes visuels. Les informations locales P étaient donc primordiales à la bonne exécution de la tâche, alors que les informations M sur la forme globale n'aidaient que les cibles courtes, traitées en une seule fixation.

Les expériences 2.1. et 2.2. ont ensuite été répliquées chez l'enfant, lecteur novice, afin de déterminer si l'effet d'amorçage par une information physique visuelle isolée est

présent lorsque les processus de lecture ne sont pas encore automatisés et si cet effet était véhiculé pour les mots par le système M comme chez le normolecteur adulte.

5.1.4. *Chez l'enfant (Expérience 2.3.)*

Les études précédentes chez le normolecteur adulte ont mis en évidence un effet bénéfique de l'apport d'une information congruente sur la longueur de la cible plutôt qu'incongruente pour l'accès lexical d'un mot, et que cet effet était véhiculé par le système M. Une dernière étude a été menée chez l'enfant, lecteur en apprentissage, dont les voies visuelles et le lexique sont en cours de maturation.

L'effet de longueur du mot est présent chez l'enfant pour les mots et pour les pseudomots (De Luca, Borrelli, Judica, Spinelli, & Zoccolotti, 2002; Spinelli et al., 2005; van der Leij & van Daal, 1999; Ziegler et al., 2003; Zoccolotti et al., 2005), avec des cibles courtes traitées plus rapidement et plus précisément que des cibles longues. Il a été observé dans différents types de tâches : des tâches de dénomination (Bijeljac-Babic et al., 2004; Spinelli et al., 2005; Zoccolotti et al., 2005), des tâches de lecture silencieuses avec enregistrement des mouvements oculaires (De Luca et al., 2002; Hutzler & Wimmer, 2004), mais aussi des tâches d'identification rapide (Aghababian & Nazir, 2000; Bijeljac-Babic et al., 2004). Enfin, cette influence de la longueur du mot sur la vitesse de d'identification du mot est encore plus prononcée chez l'enfant présentant une dyslexie développementale. Le niveau d'un lecteur novice présentant une dyslexie développementale en classe de CE2 correspondrait en fait à un niveau CP pour un lecteur sans trouble de la lecture (Zoccolotti et al., 2005).

L'effet de longueur du mot chez l'enfant peut s'expliquer de deux façons : l'impossibilité d'extraire suffisamment d'informations visuelles pour traiter des mots longs en une seule fixation (Aghababian & Nazir, 2000), et/ou le recours à la conversion graphème-phonème sérielle. Cet effet disparaît avec l'amélioration des processus visuels et l'augmentation de l'empan perceptif (*perceptual span*, Rayner, 1998), et aussi l'automatisation de

l'identification du mot écrit, et notamment la transition d'un traitement sériel vers un traitement parallèle des lettres du mot. Samuels, LaBerge et Bremer (1978) avaient montré, grâce à une tâche de catégorisation de mot en anglais, un effet de longueur du mot, et que cet effet diminuait avec l'âge. Cette diminution est drastique entre le CP et le CE2 (Bijeljac-Babic et al., 2004), puis continue tout au long du développement (Aghababian & Nazir, 2000).

Des enfants âgés de 10 à 11 ans, scolarisés en classe de CM1 ont donc été choisis pour cette expérience. Du point de vue de leurs compétences langagières, leur niveau scolaire assurait un niveau de lecture encore en apprentissage certes, mais déjà expérimenté. N'étant pas encore automatisée, l'identification des mots devrait passer par la voie lexicale du modèle HHB (Allen et al., 2009), soutenue par les deux systèmes visuels, et par la procédure analytique du modèle MTM (Ans et al., 1998) avec un EVA plus réduit par rapport à la cible. Concernant leurs capacités visuelles, du fait d'une maturation asynchrone (Atkinson, 2002), le système P, très précoce, est considéré comme mature chez l'enfant de 10/11 ans, alors que le système M serait mature ou du moins proche de la maturation (e.g., Benedek et al., 2003). Leurs performances visuelles et langagières devraient donc être légèrement plus faibles que celles des adultes.

L'expérience 2.3. avait plusieurs objectifs : 1/ démontrer un effet de longueur chez des lecteurs novices âgés de 10 ans et en classe de CM1, avec de meilleures performances pour des cibles courtes que pour des cibles longues ; 2/ évaluer l'influence d'une information de longueur présentée en amorce lorsque l'identification du mot n'était pas complètement automatisée, et de meilleures performances avec une amorce plus courte que la cible plutôt que de même longueur ou plus longue ; 3/ mettre en évidence un traitement privilégié de l'information de longueur par le système M, comparativement au normolecteur adulte.

*Méthode**Participants*

Trente-six enfants de langue maternelle française, âgés de 110 à 123 mois ($M = 116.3$ mois ; $ET = 3.7$) ont participé à cette étude (voir Annexe 1). Tous étaient volontaires et naïfs quant aux objectifs et hypothèses de l'expérience. Leur vue était normale ou corrigée à la normale. Enfin, le niveau de lecture des participants était obtenu grâce au score au test de l'Alouette-R (Lefavrais, 2005).

Matériel

Les stimuli utilisés étaient les mêmes que ceux utilisés pour les normolecteurs adultes. Il a été vérifié grâce à la base de mots Manulex (Lété, Sprenger-Charolles, & Colé, 2004; Ortega & Lété, 2010) que les mots initialement choisis étaient effectivement connus des enfants de CM1.

Les items étaient présentés selon trois conditions de présentation : en condition contrôle normale, où les items étaient écrits en noir ($L = 0.81$ cd/m²) sur un fond gris moyen ($L = 17.6$ cd/m²) ; en condition de stimuli isoluminants avec des items écrits en rouge ($L = 10.34$; $a^* = 25.37$; $b^* = 16.01$; avec une luminance ajustée pour chaque participant) sur fond en vert ($L = 10.70$; $a^* = -21.79$; $b^* = 14.58$; soit une luminance en cd/m² de 1.02) ; et une condition faible contraste avec des items écrits en gris ($L = 6.01$ cd/m²) sur fond gris plus foncé ($L = 5.59$ cd/m²), avec un contraste de Michelson de 7%. Les participants démarraient systématiquement par la condition contrôle puis l'ordre de passation des conditions visuelles dégradées était contrebalancé entre eux.

Tout comme les participants adultes, les enfants ajustaient individuellement la luminance rouge selon la même procédure. Les résultats de l'ensemble des participants

montraient un seuil de luminance moyen de 1.17 cd/m² (ET = 0.08 ; étendue = [0.83-1.79]). Enfin, les stimuli étaient présentés sur un ordinateur portable Dell Latitude M60 avec un écran de 15.6 pouces et une carte graphique NVIDIA Quadro FX Go700.

Passation expérimentale et procédure

Toutes les passations ont eu lieu dans une salle de classe non occupée, au sein même de l'école, dont nous avons contrôlé l'éclairage. Elles étaient individuelles et duraient entre 20 et 30 minutes. La tâche principale était une décision lexicale, couplée à un paradigme d'amorçage masqué. La condition contrôle était systématiquement passée au début, puis l'ordre de passation des conditions visuelles dégradées était contrebalancé entre les participants. La séquence d'évènements était la même que pour l'expérience 2.2. Enfin, comme dans l'expérience précédente, le débriefing post-expérimental montrait qu'aucun participant n'a rapporté avoir perçu l'amorce.

Résultats en condition contrôle

L'analyse des données a été faite en deux étapes avec le logiciel Statistica 10.0. Tout d'abord, des ANOVAs à mesures répétées ont été menées sur le pourcentage d'erreurs (%E) et le temps de réponses correctes (TRC), en traitant séparément les mots et les pseudomots, et prenant pour facteur aléatoire soit le participant (F_1) soit l'item (F_2). Les ANOVAs par participant comprenaient la longueur de la cible (soit des stimuli de cinq ou neuf lettres, pour les mots d'une part et pour les pseudomots d'autre part, notés 5L et 9L) et la longueur de l'amorce (une amorce de même longueur, plus courte ou plus longue que la cible) comme facteurs intra-sujets. Des comparaisons planifiées deux à deux (ou contrastes) ont été calculées lorsque cela s'est avéré nécessaire.

En condition contrôle, 16 participants (44%), 34 mots (28%) et 33 pseudomots (27.5%), dont le taux moyen d'erreurs était supérieur à 30%, ont été retirés de l'analyse des données. Ainsi, les données de 20 participants, 86 mots et 87 pseudomots ont été analysées. Pour l'ensemble des participants, le taux moyen d'erreurs était de 8% (ET = 14%) et la rapidité moyenne était de 1782 ms (ET = 601).

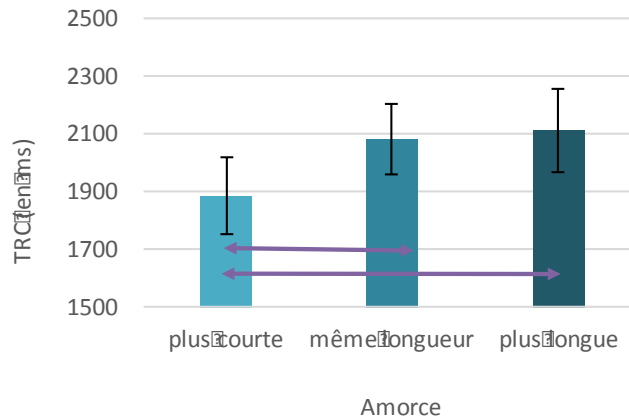
Mots

L'analyse a montré un effet principal significatif de la longueur de la cible sur le TRC, $F_1(1, 19) = 9.3, p = .007, \eta^2 = .33$ et $F_2(1, 76) = 4.8, p = .031, \eta^2 = .06$. Le TRC était plus court pour les mots de 5L (1455 ms) que pour les mots de 9L (1624 ms).

Pseudomots

L'analyse a montré un effet principal significatif de la longueur de la cible sur le TRC, $F_1(1, 19) = 15.4, p < .001, \eta^2 = .45$ et $F_2(1, 81) = 20.9, p < .001, \eta^2 = .21$. Le TRC était plus court pour les pseudomots de 5L (1864 ms) que pour les pseudomots de 9L (2186 ms).

Un effet principal significatif de la longueur de l'amorce a été observé sur le TRC, $F_1(2, 38) = 4.0, p = .028, \eta^2 = .17$ et $F_2 = ns$ (voir *Figure 29*). Le TRC était plus court lorsque l'amorce était plus courte que la cible plutôt que lorsqu'elle était de même longueur ou plus longue. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 29. Effet principal de la longueur de l'amorce sur le TRC pour les pseudomots en condition contrôle (Expérience 2.3.)

ANCOVA

Deux ANCOVAs ont été réalisées afin de déterminer si les effets précédents continuaient à s'observer lorsque le niveau de lecture était contrôlé. Les résultats pour les mots ont montré que l'effet de la longueur de la cible sur le TRC continuait de s'observer, $F(1, 18) = 9.1$, $p = .007$, $\eta^2 = .33$. Les résultats pour les pseudomots ont montré qu'aucun effet ne persistait et qu'ils dépendaient donc tous du niveau de lecture.

Discussion des résultats en condition contrôle

L'effet de longueur et l'effet d'amorçage par une information physique visuelle isolée étaient ici étudiés de façon croisée chez l'enfant lecteur novice dans une tâche de DL d'abord dans des conditions visuelles classiques. Cette expérience était très difficile pour les enfants et, comme le résume le Tableau 5, de l'Annexe 1, 44% des participants et 28% des items ont été exclus car ils totalisaient plus de 30% d'erreur (à noter que ce critère était plus laxiste que le seuil à 20% utilisé pour les adultes). Les analyses de résultats ont donc été réalisées sur peu d'items, auprès d'un effectif réduit de moitié ; et sont présentés dans cette thèse à titre

exploratoire. Les principaux résultats ont montré : 1/ un effet principal de la longueur de la cible pour les mots et les pseudomots, avec des cibles courtes traitées plus rapidement que des cibles plus longues, ce qui était en adéquation avec la littérature ; et 2/ un effet principal de la longueur de l'amorce pour les pseudomots uniquement avec une amorce plus courte bénéfique par rapport à une amorce de même longueur ou plus longue.

L'effet de longueur de la cible reproduisait la littérature (De Luca et al., 2002; Spinelli et al., 2005; van der Leij & van Daal, 1999; Ziegler et al., 2003; Zoccolotti et al., 2005). Les effets étaient de grande ampleur avec des cibles plus courtes traitées plus rapidement que les cibles longues (différences de 169 ms et $\eta^2=.33$ pour les mots, et de 322 ms $\eta^2=.45$ pour les pseudomots, soit +42 ms par lettre ou +80 ms par lettre). L'effet de longueur plus marqué pour les pseudomots que pour les mots était en faveur d'un traitement des lettres en cours de perfectionnement pour les mots, et notamment la transition d'un traitement sériel vers un traitement parallèle des lettres, et un traitement davantage sériel pour les pseudomots (Barton et al., 2014). De plus, les résultats ont aussi montré que seul l'effet de la longueur de la cible pour les mots, généralisable à l'ensemble des participants et des mots, était indépendant du niveau de lecture des participants, ce qui paraissait contre-intuitif et pouvait s'expliquer de la façon suivante. L'ensemble de nos participants constituait une population homogène si l'on considère leur niveau de lecture. De ce fait, l'effet de longueur était généralisable à l'ensemble des lecteurs novices d'un niveau similaire, et ne dépendait pas du niveau de lecture propre à chacun de nos participants.

La longueur de l'amorce n'avait pas d'effet sur le traitement du mot, alors qu'elle influait le rejet des pseudomots, de façon particulière et différente que pour le normolecteur adulte jeune. Pour le lecteur novice, seule l'amorce plus courte était plus efficace que les amorces de même longueur ou plus longue. Selon le modèle MTM (Ans et al., 1998), tant que l'identification du mot écrit n'est pas automatisée, celle-ci opère selon la procédure analytique

où l'EVA correspond à des unités plus réduites que la cible entière. Dans le cas du mot, un EVA plus courte que la longueur du mot cible était attendue, suggérant que la longueur de la cible, comme une dimension de la forme globale, n'était pas encore pleinement encodée chez le lecteur novice et donc peu efficace. La discordance entre la longueur du mot et l'EVA fonctionnel pourrait expliquer l'absence d'influence de la longueur de l'amorce sur l'identification du mot cible. Néanmoins, dans le cas du pseudomot, étant donné que celui-ci ne possède pas de représentation en mémoire, il n'y avait plus de conflit possible. L'amorce courte, induisant un EVA plus court que la cible, permettait donc au participant de se concentrer sur une unité comme la syllabe ou le graphème, et facilitait alors le rejet du pseudomot.

Pour le lecteur novice, l'information de longueur présentée en amorce n'influait pas l'identification du mot. L'amorce visuelle plus courte que la cible aidait uniquement le rejet des pseudomots, et ce quel que soit sa longueur. Cet effet pour les pseudomots était en faveur de la prise en compte de l'information de longueur par des traitements visuels ascendants. En outre, l'amorce courte était longue respectivement de trois et cinq caractères pour les pseudomots courts et longs, correspondant ainsi à l'empan perceptif d'enfant en classe de CM1. Cependant, l'absence d'une influence similaire de l'amorce courte pour les mots posait question. Une explication possible était que l'identification du mot, tant qu'elle n'est pas automatisée, entraînerait un traitement cognitif plus coûteux que le rejet de pseudomot, prenant le dessus sur les traitements de bas niveau, comme l'empan perceptif.

Résultats en conditions visuelles dégradées

L'analyse des données a été menée en deux étapes avec le logiciel Statistica 10.0. Tout d'abord, des ANOVAs à mesures répétées ont été menées sur le pourcentage d'erreurs (%E) et le temps de réponses correctes (TRC), en traitant séparément les mots et les pseudomots, et

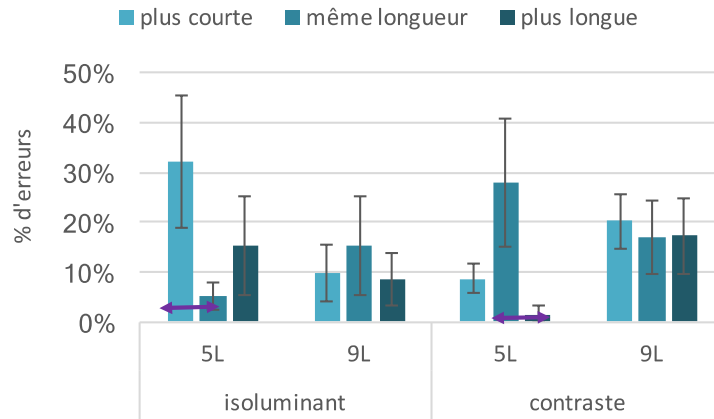
prenant pour facteur aléatoire soit le participant (F_1) soit l'item (F_2). Les ANOVAs par participant comprenaient la longueur de la cible (soit des stimuli de cinq ou neuf lettres pour les mots d'une part et pour les pseudomots d'autre part, notés 5L et 9L), la longueur de l'amorce (une amorce de même longueur, plus courte ou plus longue que la cible) et la condition de présentation (stimuli isoluminants ou faible contraste) comme facteurs intra-sujets. Des comparaisons planifiées deux à deux (ou contrastes) ont été calculées lorsque cela s'est avéré nécessaire.

En conditions visuelles dégradées, 19 participants (53%), 53 mots (44%) et 25 pseudomots (21%), dont le taux moyen d'erreurs était supérieur à 30%, ont été retirés de l'analyse des données. Ainsi, les données de 17 participants, 67 mots et 95 pseudomots ont été analysées. Pour l'ensemble des participants, le taux moyen d'erreurs était de 12% (ET = 21%) et la rapidité moyenne était de 1656 ms (ET = 607).

Mots

L'analyse a montré un effet principal significatif de la longueur de la cible sur le TRC, $F_1(1, 16) = 4.4$, $p = .053$, $\eta^2 = .21$ et $F_2 = ns$. Le TRC était plus court pour les mots de 5 lettres (1432 ms) que pour les mots de 9 lettres (1528 ms).

Un effet d'interaction entre la longueur de la cible, la longueur de l'amorce et la condition de présentation visuelle significatif a été observé sur le %E, $F_1(2, 32) = 3.6$, $p = .038$, $\eta^2 = .19$ et $F_2 = ns$. (*Figure 30*). Pour les mots de 5 lettres, le %E était le plus bas lorsque l'amorce était de même longueur que la cible plutôt que plus courte en condition stimuli isoluminants alors qu'en condition faible contraste, le %E était le plus bas lorsque l'amorce était plus longue que la cible plutôt que plus courte. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 30. Effet d'interaction entre la longueur de l'amorce, la longueur de la cible et la condition de présentation sur le %E pour les mots en conditions visuelles dégradées (Expérience 2.3.)

ANCOVA

Deux ANCOVAs ont été réalisées afin de déterminer si les effets précédents continuaient de s'observer lorsque le niveau de lecture était contrôlé. Pour les mots, les effets initiaux ne persistaient et dépendaient donc tous du niveau de lecture des participants.

Discussion des résultats en conditions visuelles dégradées

Les conditions visuelles dégradées étaient encore plus difficiles pour les enfants que les conditions visuelles classiques. Une grande partie des participants (53%) et des items (33%) ont été enlevés de l'analyse, du fait de leur taux moyen d'erreur supérieur à 30%. Les résultats étaient donc présentés ici de façon exploratoire, à la vue de la faible validité des analyses statistiques. Le principal résultat de cette expérience a montré une interaction entre la longueur de l'amorce et la condition de présentation pour les mots courts uniquement et que cet effet dépendait du niveau de lecture du participant. Lorsque les informations P étaient isolées, l'identification du mot écrit était plus précise lorsque l'amorce était de même longueur que la cible plutôt que plus courte alors que lorsque les informations M étaient

isolées, elle était plus précise lorsque l'amorce plus longue que la cible était présentée plutôt que celle de même longueur.

Le privilège de l'amorce de même longueur par rapport à l'amorce courte répliquait en partie l'effet observé chez l'adulte en condition visuelle normale, et que celui-ci reposait ici sur les informations P, suggérait que les informations de détails et sur les lettres étaient prépondérantes pour que l'enfant lecteur novice accomplisse la tâche avec succès. Parallèlement, le bénéfice de l'amorce longue par rapport à l'amorce de même longueur, porté spécifiquement par le système M, laissait penser que l'information de longueur induite par l'amorce, opérait, lorsqu'elle était congruente avec la cible, comme une information supplémentaire à traiter par le lecteur, entrant en compétition avec la cible et nuisant à la précision de son traitement. Cet effet refléterait l'encodage encore incomplet du mot en mémoire chez le lecteur novice, et notamment l'impossibilité de recourir à sa forme globale pour le traiter de manière holistique.

5.1.5. *Conclusion*

L'étude 2 avait pour objectif principal d'investiguer l'effet de longueur, comme une primitive visuelle, avec une approche nouvelle. Dans cette perspective, une première expérience présentait une amorce physique masquée, à savoir une chaîne de X de longueur variable, tout en manipulant la longueur de la cible dans une tâche de DL. Une seconde expérience a été mise en place afin de déterminer si l'information de longueur est préférentiellement véhiculée par le système M, comme le suggérait Bar (2003, 2004) dans son modèle de reconnaissance d'objet. Enfin, ces deux expériences ont été menées chez le normolecteur adulte jeune puis chez le lecteur novice enfant.

Une information visuelle sur la longueur de la cible présentée en amorce influençait la reconnaissance visuelle des mots. Lorsque l'identification du mot était automatisée (i.e., chez le normolecteur adulte jeune), l'information de longueur congruente présentée en amorce

facilitait l'identification du mot, comparativement à une information de longueur incongruente. L'information de longueur du mot peut être considérée comme une primitive visuelle, véhiculée par le système M ; et est donc en conséquence assimilable à la forme globale. Ceci était compatible avec les modèles de reconnaissance d'objet de type coarse-to-fine, qui infère l'existence d'une primitive visuelle, véhiculée par le système M, permettant la pré-activation en mémoire de candidats potentiels sur la base de leur forme globale (e.g., Clark & O'Regan, 1999). Cette dimension serait ainsi une composante de la primitive visuelle décrite par Bar et al. (2006) pour les objets, et de la « connaissance visuelle » (ou *visual knowledge*, Nazir & Huckauf, 2006), c'est-à-dire un pattern spécifique en mémoire, propre à un mot, qui participe à la reconnaissance visuelle rapide de ce mot. Cependant, nos résultats ont également montré que cette information de longueur du mot pouvait être reconstruite de façon mineure à partir des informations locales du mot, les lettres, portées par la voie P.

Pour les pseudomots, qui ne possèdent pas de représentation mentale dans le lexique, l'information de longueur de l'amorce permettait de restreindre les candidats potentiels activés aux candidats de même longueur. Ce résultat conforte la dimension visuelle de l'effet d'amorçage par la longueur. De plus, les traitements M et P étaient alors tous deux efficaces, illustrant l'insuffisance de la forme globale pour le rejet du pseudomot, et l'importance du traitement des lettres.

Bien que nos résultats chez l'enfant lecteur novice étaient indicatifs, ils suggéraient l'importance des traitements P et des informations de détails et sur les lettres lorsque l'identification des mots n'était pas automatisée. De plus, l'information sur la longueur comme une primitive visuelle n'était pas pleinement encodée et donc pas encore critique pour l'identification de mot.

Ainsi, même si les processus perceptifs sont considérés comme purement visuels et indépendants des informations linguistiques (e.g., Frost, 1998), nos résultats confortaient

l'importance de cette étape pour la lecture (Nazir & Huckauf, 2006) et notamment l'information de longueur. En définitive, l'étude 2 a donc permis de mettre en évidence l'existence et l'influence d'une forme globale pour le matériel langagier. L'information de longueur du mot est une dimension visuelle, de deux ordres, illustrant deux traitements globaux possibles : 1/ une primitive précoce codée en parallèle de l'information des lettres véhiculée par le système M, et 2/ la résultante des informations locales, des lettres, véhiculée par le système P. Concernant le matériel langagier, le traitement local et le traitement global ne devraient donc pas être opposés. Le traitement global opérerait donc de façon à part entière, et aussi grâce aux contributions du traitement local. Afin d'éprouver cette hypothèse, l'objectif de l'étude 3 était d'investiguer une autre dimension de la forme globale à travers l'enveloppe du mot.

5.2. L'enveloppe du mot (Etude 3)

5.2.1. Introduction

Très tôt dans l'histoire de la psychologie, une influence de l'enveloppe du mot en lecture a été étudiée, en montrant qu'un autre type d'information plus globale que l'identité des lettres, jouait un rôle dans la reconnaissance visuelle des mots (voir Cattell, 1886). L'enveloppe du mot (Bouma, 1970) est une dimension globale qui intègre pour les lettres minuscules leur caractère ascendant (comme *b, d, f, h, k, l* et *t*), descendant (comme *g, j, p, q* et *y*) ou neutre (comme *a, c, e, i, m, n, o, r, s, u, v, w, x* et *z*). Un mot écrit en minuscules peut donc présenter une enveloppe singulière alors qu'un mot écrit uniquement en majuscule ou bien un mot écrit en minuscules composé uniquement de lettre neutre. Par exemple, les mots *TABLE* ou *marin* ne présentent pas de variation de l'enveloppe. S'il est écrit en minuscules, un mot pourra ainsi avoir une forme globale variable selon les lettres présentes (par exemple, *table* et *bille* partagent la même enveloppe, tout comme *pipe* et *jupe*). L'enveloppe du mot peut être ainsi assez répandue et partagée par plusieurs mots, ou au contraire être assez unique.

Cette forme globale du mot a d'abord été considérée comme une « enveloppe visuelle » qui constituait une unité de base de la lecture (Healy & Cunningham, 1992). Le temps de lecture était plus long pour un mot écrit en majuscule qu'en minuscules (Smith, 1969 ; pour une revue, voir Lété & Pynte, 2003). Néanmoins, il a été objecté que cet effet était en fait imputable à l'habitude de lecture du lecteur qui est plus souvent confronté à un texte écrit en minuscules (Besner & Johnston, 1989; Mayall & Humphreys, 1996; Perea & Rosa, 2002). D'autres études ont ensuite montré que le temps de lecture était ralenti lorsqu'un mot rare était écrit avec une alternance de majuscule et de minuscule, ce qui ne se retrouvait pas pour un mot fréquent (Ferrand, 2007; Humphreys, Mayall, & Cooper, 2003; Mayall & Humphreys, 1996; Perea & Rosa, 2002 ; pour une revue, voir Mayall, Humphreys, & Olson, 1997). Ce

ralentissement était expliqué en termes d'augmentation de la difficulté à décoder les lettres lorsque la casse est alternée : la discriminabilité des lettres était altérée et le degré d'incertitude était augmenté (Ferrand, 2007). Une autre interprétation indiquait que cet effet de la casse alternée n'était pas dû à une distorsion de la forme globale, mais à des regroupements inappropriés de lettres, plus locaux (Mayall & Humphreys, 1996). Cette hypothèse liée au regroupement de lettres a été mise à l'épreuve en manipulant l'espacement des lettres de façon croisée avec la manipulation de la casse, minuscule vs. casse alternée (Mayall et al., 1997). Les résultats ont montré un effet de la casse et surtout que l'effet d'espacement n'était présent que lorsque la casse était alternée. Si le ralentissement observé pour l'effet de casse en casse alternée était effectivement dû à la forme globale, l'influence négative de l'effet d'espacement aurait dû être présente pour les deux types de casses. Enfin si l'enveloppe du mot était aussi déterminante dans la reconnaissance des mots, l'effet de casse alternée aurait dû être plus important au lieu d'être réduit pour les mots fréquents que pour les mots rares (Perea & Rosa, 2002).

D'autres études ont montré un nombre d'erreurs plus important quand la lettre substituée dans un mot préserve la forme globale de celui-ci (Haber & Schindler, 1981; Healy & Cunningham, 1992; Monk & Hulme, 1983). Il était donc plus difficile de percevoir l'erreur lorsque le mot *question* est substitué par *queslion* que par *quescion* car la lettre serait moins discriminable lorsque l'enveloppe du mot est préservée (Paap, Newsome, & Noel, 1984). Par la suite, ces études ont été complétées par les travaux sur la confusabilité de lettre, constituant un argument supplémentaire en faveur de l'idée que l'effet d'enveloppe est tributaire des effets de lettres. Bouma (1971) avait d'ailleurs montré que les lettres aux formes similaires étaient plus facilement confondues.

L'enveloppe a aussi été étudiée en dissociant les caractéristiques externes et internes du mot (Beech & Mayall, 2005). Considérons un mot écrit en minuscules, les caractéristiques

externes correspondent à la partie haute et à la partie basse des lettres uniquement, alors que les caractéristiques internes, concernent exclusivement la partie centrale des lettres (voir *Figure 31*). Les caractéristiques externes, assimilables à l'enveloppe du mot, permettaient une identification du mot plus rapide puisque celles-ci fournissaient davantage d'informations utiles permettant l'accès lexical à un niveau précoce. Les caractéristiques internes étaient quant à elles beaucoup moins efficaces. Bien que ces résultats puissent être interprétés en termes de remplissage cognitif, où les caractéristiques externes du mot fournissent un canevas de traits colinéaires à remplir, ces résultats supportaient néanmoins l'importance des caractéristiques externes du mot et donc des informations propres aux lettres ascendantes ou descendantes.

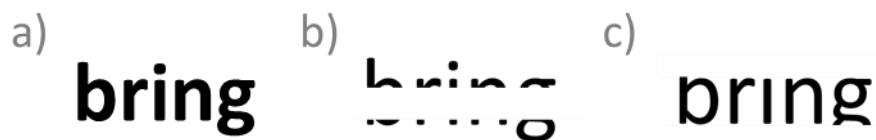


Figure 31. Exemples originaux avec le mot "bring" : a) avec les caractéristiques internes et externes, b) les caractéristiques externes uniquement et c) les caractéristiques internes uniquement ; d'après Beech et Mayall (2005).

Une critique des effets démontrés par Beech et Mayall (2005) et notamment l'importance des caractéristiques externes pour la reconnaissance des mots avait été formulée notamment en termes de remplissage cognitif (voir aussi la loi de continuité de la Gestalt). Les caractéristiques externes du mot fourniraient un canevas, par extrapolation des caractéristiques internes, qui ne demandait qu'à être remplie par une simple opération perceptuelle. Néanmoins, dans plusieurs cas, la simple continuation des lignes et des courbes ne suffisait pas pour discriminer la lettre correcte. Par exemple, les lettres « c, e, o et s » étaient identiques lorsqu'elles étaient représentées uniquement en caractéristiques externes et selon la loi de continuité de la Gestalt, la lettre prédite était systématiquement le « o ». Le

remplissage cognitif ne suffit pas pour expliquer le bénéfice apporté par les caractéristiques externes des mots.

Un effet de fréquence de l'enveloppe a également été proposé (Lété & Pynte, 2003) : les mots présenteraient une enveloppe, plus fréquente lorsqu'elle est partagée par un nombre important de mots, et moins fréquente dans le cas contraire. L'enveloppe la plus répandue est l'enveloppe plate constituée uniquement de lettres neutres. Une enveloppe unique, ne correspondant qu'à un seul mot, serait alors plus utile et faciliterait davantage la reconnaissance du mot qu'une enveloppe très fréquente et partagée par un très grand nombre de mots. Ainsi, un mot rare, avec une enveloppe rare, était reconnu plus rapidement qu'un mot rare avec une enveloppe fréquente dans une tâche de décision lexicale (Expérience 1). Dans un paradigme d'amorçage par l'enveloppe (Expérience 2), une amorce physique composée de lettre reconstruite sur une matrice de 7 pixels de large et de 15 pixels de haut (*Figure 32*) était présentée. Les pixels activés et désactivés permettaient de représenter les lettres du mot en fonction de la catégorie de la lettre (neutre, ascendante, descendante ou marquée, telle que la lettre *i*). Une amorce neutre était également utilisée, avec des « lettres » reprenant les caractéristiques combinées des lettres ascendantes et descendantes. Les résultats ont montré que l'enveloppe du mot fréquente était plus efficace que l'enveloppe neutre. L'enveloppe présentée en amorce renforçait l'identification de la cible, comme dans un amorçage par répétition, montrant une contribution précoce de l'enveloppe du mot dans le traitement de celui-ci. Ce résultat a ensuite été répliqué dans une tâche de dénomination (Expérience 3). Enfin dans une dernière tâche de décision lexicale (Expérience 4), les nombres et types de lettres présentes au sein des stimuli ont été contrôlés afin de réduire les effets de confusabilité de lettre et de structures syllabiques. Cette dernière expérience répliquait les résultats précédents. L'ensemble de ces résultats était donc en faveur de l'hypothèse de réduction de l'incertitude (Paap et al., 1984). L'effet de fréquence intervient

dans la sélection du mot cible parmi les candidats, inhibant les candidats inadéquats dans la sélection des mots rares et non familiers, ou plus généralement d'accélérer l'accès lexical pour les mots fréquents, quelle que soit la fréquence de l'amorce. L'enveloppe du mot repose ainsi sur la forme véhiculée par les caractéristiques externes des lettres et les effets observés sont à imputer au transcodage sublexical. En outre, si on se réfère aux résultats observés pour la reconnaissance visuelle d'objet, il y a pourtant une façon alternative de traiter la forme globale : dans une approche *coarse-to-fine* récente, la forme globale n'est pas dérivée de l'analyse locale, mais au contraire, elle précède l'analyse locale, à l'instar de la longueur du mot comme observé dans l'étude 2, par le traitement prépondérant des fréquences spatiales basses qui intègre la forme globale de façon parallèle.

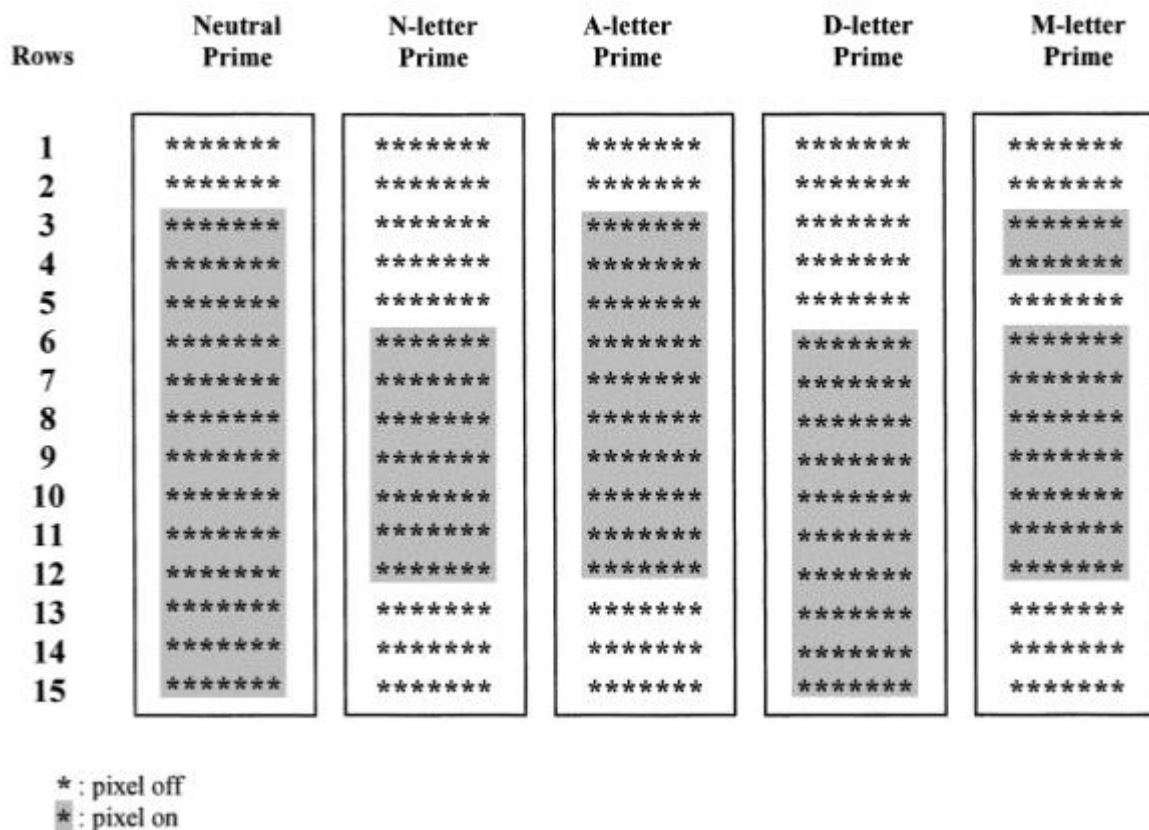


Figure 32. Illustration des matrices de pixels utilisées, constituant l'enveloppe présentée en amorce, pour chaque type de lettre (lettre neutre, ascendante, descendante et marquée, comme le i) ; et pour l'amorce neutre. D'après Lété et Pynte (2003).

Une dernière étude a montré un effet d'enveloppe pour la reconnaissance de mot dans un contexte de lecture de texte, où le lecteur devait deviner le mot manquant en se basant sur le contexte et les indices proposées, à savoir la longueur du mot ou la forme globale du mot (Haber, Haber, & Furlin, 1983). Les estimations étaient améliorées d'environ 10% lorsque l'information de longueur de la cible était présentée et d'encore 10% lorsque l'enveloppe du mot était en plus présentée. L'information sur l'enveloppe permettait donc de réduire les choix alternatifs à un mot en particulier, et ceux sans qu'aucune lettre ne soit identifiée.

L'ensemble de ces travaux sur l'enveloppe du mot s'inscrivent plus généralement dans une approche holistique de la lecture, telle que le modèle HHB (Allen et al., 2009). Cette approche holistique de la lecture est compatible avec la conception *coarse-to-fine*, et le modèle de reconnaissance d'objet proposé par Bar (2003, 2004). Ainsi un mot familier est traité via la voie holistique soutenue par le système M alors que l'accès au lexique d'un mot non familier se déroule comme décrit dans le modèle AI.

L'influence de l'enveloppe du mot décrite ci-dessus n'est généralement pas prise en compte, et à ce jour, il est notamment considéré que l'enveloppe du mot n'influe pas la reconnaissance visuelle des mots (Perea & Rosa, 2002) puisque cet effet de l'enveloppe est inexistant pour les mots familiers et fréquents, et par ailleurs, le lecteur expert ignorerait l'enveloppe du mot lors de la reconnaissance (Paap et al., 1984). Pourtant, qu'en est-il des résultats observés pour les mots non familiers et inconnus du lecteur ? De même, bien que l'enveloppe du mot désigne la forme globale de celui-ci et que ses implications sont controversées, les travaux dans le domaine s'accordent néanmoins sur le fait que l'identité abstraite des lettres constitue l'unité de base de la perception des mots écrits (e.g., Paap et al., 1982), et comme l'ont montré Lété et Pynte (2003), l'enveloppe du mot repose sur la forme des lettres et celles-ci apporteraient des informations déterminantes dans des étapes plus tardives de la reconnaissance des mots (cf. familiarité visuelle). Celle-ci ne serait efficace

qu'en contexte (Paap et al., 1984), puisque qu'insuffisante en elle-même (Walker, 1997). Des indices contextualisés sont généralement disponibles dans la vie de tout le jour où les mots sont rarement présentés isolés. En milieu expérimental, l'information sur l'enveloppe pourrait donc être utilisée en conjonction avec des indices linguistiques, comme dans l'amorçage (Healy & Cunningham, 1992).

Afin de prendre en compte les critiques précédentes, et notamment le rôle prépondérant de la lettre dans cet effet d'enveloppe, une police d'écriture, inspirée de la police proposée par Lété et Pynte (2003), a été créée permettant de restituer la forme globale du mot, tout en conservant l'unité de la lettre et de s'abstraire de l'identité abstraite de celles-ci. Cette police d'écriture, baptisée Enveloppe, était basée sur la police Courier New (voir Tableau 3), police utilisée dans nos différentes expériences. La police Enveloppe permettait ainsi de retranscrire la forme globale physique du mot reprenant son enveloppe tout en gardant l'unité des lettres et leurs caractéristiques. Ainsi des lettres neutre, ascendante et descendante correspondaient respectivement à des blocs (hauteur*largeur) de 13*15 pixels, 18*15 pixels et 18*15 pixels (voir *Figure 33*).

Tableau 3. *Caractéristiques en pixel des polices Courier New et Enveloppe.*

Courier New et Enveloppe	
(en pixel)	
Largeur d'une lettre	15
Hauteur du corps d'une lettre	13
Taille de la partie ascendante d'une lettre	6
Taille de la partie descendante d'une	6
Espace inter-lettre	4


	Enveloppe	Courier New
Lettre ascendante		bdfhkl t
Lettre neutre		aceimnorsu vwxz
Lettre descendante		gj p q y

Figure 33. Exemples de correspondance entre les lettres ascendantes, neutres et descendantes des polices Enveloppe et Courier New.

L'objectif principal de l'étude était donc d'étudier la part du facteur visuel dans l'effet de l'enveloppe. Dans cette perspective, un paradigme d'amorçage non masqué a été utilisé dans le but d'évaluer l'influence d'une amorce physique sur le traitement de la cible. L'influence de l'enveloppe du mot a ainsi été manipulée grâce à des amorces physiques congruente, neutre ou incongruente avec la cible. Si l'enveloppe du mot, information inhérente à la forme globale de celui-ci, est une information contribuant la reconnaissance visuelle des mots, la présentation de cette information physique serait bénéfique au traitement des mots uniquement lorsque celle-ci est congruente avec l'enveloppe de la cible plutôt qu'incongruente.

En outre, si l'effet de forme globale dépend du système M, comme admis dans les modèles *coarse-to-fine* de reconnaissance visuelle d'objets (Bar, 2003, 2004) et dans le modèle HHB (Allen et al., 2009), l'effet bénéfique attendu de l'amorce devrait être spécifique à la condition dans laquelle les stimuli (amorce et cible) sont présentés en faible contraste, lorsque les traitements visuels sont biaisés vers le système M. Si au contraire l'effet de forme globale est secondaire à l'analyse locale des lettres comme le suggérait Lété et Pynte (2003), l'effet d'amorçage devrait s'observer spécifiquement dans la condition dans laquelle les stimuli sont isoluminants qui biaise les traitements vers le système P. Afin de tester ces hypothèses, deux expériences manipulant l'enveloppe du mot utilisant une amorce physique non signifiante ont

été mises en place chez le jeune adulte, d'abord en condition visuelle normale puis avec le paradigme d'isoluminance et de contraste.

Enfin, les études sur l'enveloppe du mot chez l'enfant ont montré que cette dimension affectait très tôt le développement de la lecture. L'enveloppe du mot est vue comme un indice bénéfique au normolecteur enfant (Webb, Beech, Mayall, & Andrews, 2006). Les enfants se reposent ainsi sur cette dimension visuelle jusqu'à ce que les compétences en lecture se développent (Johnston, Anderson, & Duncan, 1991; Mayall, 2002; Webb et al., 2006). Qu'en était-il des implications des systèmes M et P chez le lecteur novice ? Dans cette perspective, les mêmes paradigmes expérimentaux ont été proposés chez l'enfant lecteur novice, en classe de CM1. La littérature sur le sujet sera développée dans la section 2.3.

5.2.2. *Vision normale chez l'adulte*

5.2.2.1. Amorçage conscient (Expérience 3.1.)

Bien que controversé, l'effet de l'enveloppe du mot présent pour les mots non familiers et inconnus a été discuté comme une contribution précoce dans la reconnaissance visuelle des mots véhiculant des informations sur la structure syllabique et l'identité abstraites des lettres au moyen de leurs caractéristiques externes de ces dernières (Lété & Pynte, 2003). De plus, cette enveloppe du mot aurait aussi des répercussions tardives sur le traitement lexical des mots, notamment au niveau de la familiarité visuelle (Perea & Rosa, 2002). La familiarité visuelle (e.g., Besner, 1983, 1989; Kinoshita, 1987) correspondrait au feedback récurrent du niveau du mot vers le niveau de la lettre ou le niveau des traits au sein du modèle AI (McClelland & Rumelhart, 1981). De ce fait, l'alternance de casse par exemple ne ralentit pas le traitement de la lettre, mais plutôt la confluence entre les informations orthographiques abstraites en mémoire et l'information visuelle mise à disposition. Jusqu'à présent, les études sur la forme globale du mot utilisaient le paradigme de casse alternée (Mayall, 2002; Perea &

Rosa, 2002), une comparaison entre mots tout en majuscules versus en minuscules (Allen et al., 1995), ou en manipulant les caractéristiques internes ou externes des mots (Beech & Mayall, 2005; Webb et al., 2006).

Comme Lété et Pynte (2003), nous proposons ici un paradigme d'amorçage en utilisant l'enveloppe du mot comme une primitive visuelle, tel un indice supportant la reconnaissance visuelle (Frith, 1985). À cette fin, trois types d'amorces visuelles ont été créés :
 1/ une amorce congruente avec la cible, lorsque toutes deux partageaient la même enveloppe,
 2/ une amorce neutre, correspondant à une série de points de même longueur que la cible, puis
 3/ une amorce incongruente, où l'amorce présentait une enveloppe différente de celle de la cible. L'amorce était ici présentée de façon consciente.

Cette première expérience proposait donc une tâche de DL combiné à un paradigme d'amorçage chez le normolecteur adulte jeune. L'objectif était de mettre en évidence un effet de l'amorce physique, avec des performances supérieures lorsque l'amorce présente une enveloppe congruente avec la cible, intermédiaire lorsque l'amorce était neutre et faibles lorsque l'amorce présentait une enveloppe incongruente avec la cible.

Méthode

Participants

Soixante-sept adultes de langue maternelle française, âgés de 18 à 25 ans ($M = 19.3$ ans ; $ET = 1.5$) ont participé à cette étude (voir Annexe 1). Tous étaient étudiants, majoritairement en 1^{ère} et 2^{ème} années de Licence, et 30% d'entre eux ont participé dans le cadre de leur cursus. Tous étaient volontaires et naïfs quant aux objectifs et hypothèses de l'expérience. Leur vue était normale ou corrigée à la normale. Enfin, le niveau de lecture des participants a été obtenu par le score au test de l'Alouette-R (Lefavrais, 2005).

Matériel

Les stimuli étaient composés de 100 mots moyennement rares de la langue française (fréquence objective « livre » moyenne : $m = 4.73$; $ET = 2.17$; écart = [2.03-9.73]), issus de la base informatisée Lexique 3.8 (New, Pallier, Ferrand, & Matos, 2001), et de 100 pseudomots (voir Annexe 3). Les mots étaient tous des noms communs de 5 ou 6 lettres, sans voisin orthographique. Ils ont également été choisis en fonction de leur enveloppe, ou forme globale du mot, résultant de la présence de lettre ascendante, descendante ou neutre. Ainsi, les mots « plats » formé uniquement de lettre neutre, sans forme particulière, comme par exemple le mot *voisin*, n'ont pas été retenus.

Les pseudomots étaient également formés de 5 ou 6 lettres. Ils ont été créés librement et de telle sorte qu'ils n'aient aucun voisin orthographique, vérification faite grâce au Générateur de voisins orthographiques proposé par Lexique Toolbox (New *et al.*, 2001). Ils ont été construits afin que leur enveloppe corresponde à celle des mots de l'étude. Enfin, mots et pseudomots ont été appariés en fonction de leurs nombre et du nombre de syllabe.

Parallèlement, une police spéciale de trois caractères a été créée : un pavé montant pour illustrer une lettre ascendante, un pavé plat illustrant une lettre neutre et un pavé descendant pour illustrer une lettre descendante. Les caractéristiques de cette police étaient décrites dans le Tableau 3, et illustrées dans la *Figure 33*. Cette police est basée sur les paramètres de la police Courier New (en termes de hauteur courante, de jambage supérieur et inférieur et de chasse fixe).

Trois types d'amorces pour chaque mot ont ainsi été créés : une amorce congruente présentant une enveloppe conforme à celle de la cible, une amorce neutre ou contrôle, où chaque lettre était remplacée par un point, et une amorce incongruente présentant une enveloppe différente de celle de la cible (voir *Figure 34*).



Figure 34. Exemples du mot *bague* (a), de son amorce congruente (b), d'une amorce neutre (c), et d'une amorce incongruente (d).

Les images des mots et des pseudomots ont ensuite été créées sur Adobe Photoshop CS5. Leur taille était de 128*128 pixels, soit 2.3° d'angle visuel lorsqu'ils sont vus à 70 cm de l'écran. Les stimuli étaient écrits en minuscules au centre et en noir ($L = 0.77 \text{ cd/m}^2$) sur un fond gris moyen ($L = 16.8 \text{ cd/m}^2$) avec une police Courier New, taille 30. Pour les besoins de l'expérience, les images étaient enregistrées au format TIFF (.tif).

Les stimuli étaient présentés sur un écran CRT de 21 pouces (avec une carte graphique ATI Radeon HD 2400 Pro, avec une fréquence de rafraîchissement de 60 Hz et une résolution de 1280*1024 pixels). Les différentes tâches ont été générées et exécutées à l'aide du logiciel Matlab R2006a, des outils Traitement du signal et Traitement des images ainsi que l'extension Matlab Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997; Kleiner et al., 2007). Les luminances ont été mesurées avec un photomètre Minolta G100.

Passation expérimentale et procédure

Toutes les passations ont eu lieu dans un box expérimental au laboratoire de Psychologie, EA4139. Elles étaient individuelles et duraient entre 20 et 30 minutes. Il était demandé à tous les participants de remplir et signer un consentement éclairé dès le début de la passation. Les participants passaient le test de l'Alouette, au début ou à la fin de la passation de façon randomisée. Enfin, ils prenaient place devant l'écran et se positionnaient sur la mentonnière, assurant ainsi une distance face l'écran de l'ordinateur de 70 cm.

Chaque essai se déroulait de la façon suivante (voir *Figure 35*) : une croix de fixation était présentée pendant 500 ms et simultanément un son « bip » était émis, une amorce était présentée durant 200 ms, suivie de la cible apparaissant durant 500 ms, puis le fond d'écran

était à nouveau présenté jusqu'à la réponse du participant. Il lui était demandé d'estimer, le plus rapidement et le plus correctement possible, si la suite de lettres présentée constituait un mot de la langue française ou pas. Pour répondre, il devait appuyer sur la touche M (main droite⁸) s'il s'agissait d'un mot de la langue française, et sur la touche Q (main gauche) dans le cas contraire.

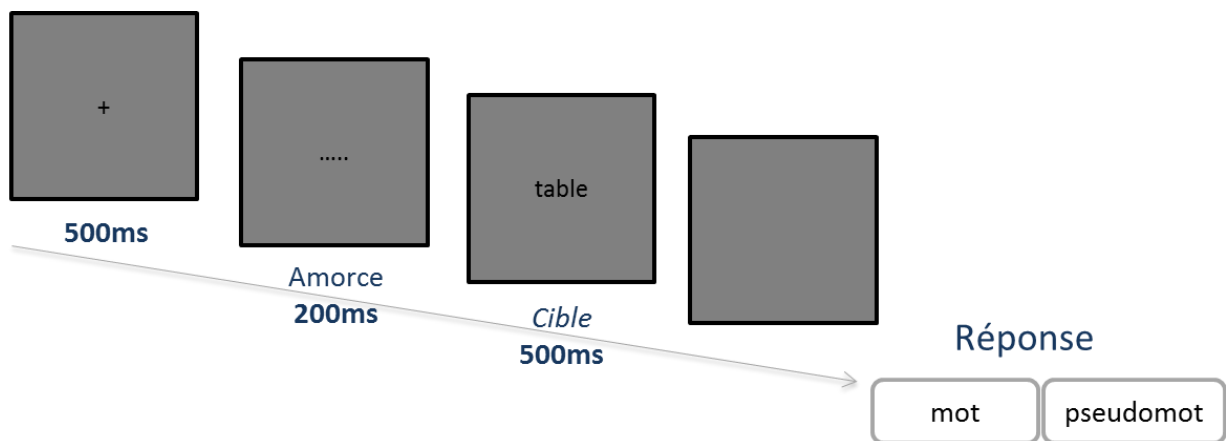


Figure 35. Exemple d'une séquence d'évènements pour un essai avec le mot *table* comme exemple pour l'étude 3.

Un entraînement préalable comprenant 12 stimuli était proposé pour chaque participant. L'ordre de présentation des 200 items était randomisé. Pour chaque participant, chaque item était associé à un des trois types d'amorce, de manière contrebalancée tous les 3 participants. Enfin, un débriefing post-expérimental était proposé au participant permettant le recueil de ses impressions, de ses questions et de l'informer sur les objectifs de l'étude.

⁸ Le clavier était retourné pour les gauchers (20% de l'effectif), de telle sorte que la réponse « oui » était toujours donnée avec la main préférée du participant, quelle que soit sa latéralité.

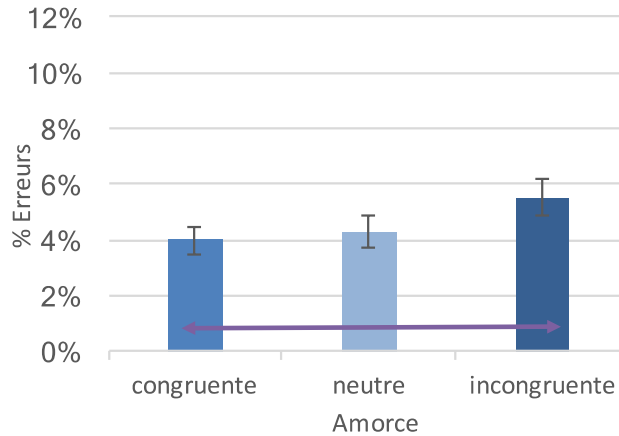
Résultats

L'analyse des données a été menée en deux étapes avec le logiciel Statistica 10.0. Tout d'abord, des ANOVAs à mesures répétées ont été menées sur le pourcentage d'erreurs (%E) et le temps de réponses correctes (TRC), en traitant séparément les mots et les pseudomots, et en prenant pour facteur aléatoire le participant (F_1) puis l'item (F_2). Les ANOVAs par participant comprenaient l'amorce (une amorce congruente, neutre ou incongruente) comme facteur intra-sujet. Des comparaisons planifiées deux à deux (ou contrastes) ont été calculées lorsque cela s'est avéré nécessaire.

Cinq participants (7%), 19 mots (19%) et 7 pseudomots (7%), dont le taux moyen d'erreurs était supérieur à 20%, ont été retirés de l'analyse des données. Ainsi, les données de 62 participants, 81 mots et 93 pseudomots ont été analysées. Pour l'ensemble des participants, le taux moyen d'erreurs était de 6% (ET = 7%) et la rapidité moyenne était de 653 ms (ET = 97).

Mots

L'analyse a montré un effet principal significatif de l'amorce sur le %E, $F_1(2, 122) = 3.5$, $p = .033$, $\eta^2 = .05$ et $F_2 = ns$ (voir *Figure 36*). Le %E était le plus bas lorsque l'amorce était congruente ou neutre plutôt qu'incongruente. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.

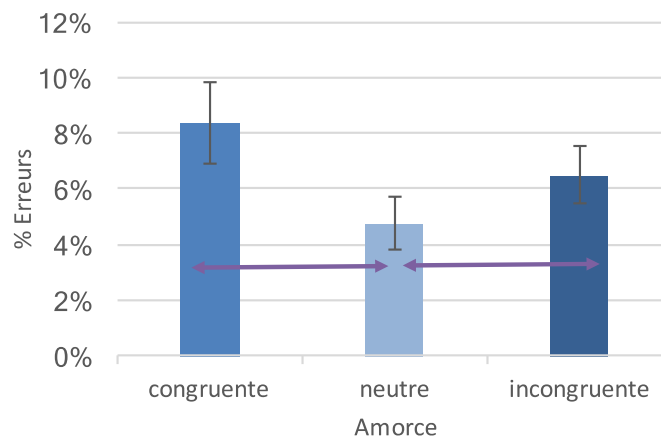


Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 36. Effet principal de l'amorce sur le %E pour les mots (Expérience 3.1.)

Pseudomots

L'analyse a montré un effet principal significatif de l'amorce sur le %E, $F_1(2, 122) = 6.5$, $p = .002$, $\eta^2 = .10$ et $F_2(2, 184) = 7.4$, $p < .001$, $\eta^2 = .07$ (voir Figure 37). Le %E était le plus bas lorsque l'amorce était neutre plutôt que congruente ou incongruente. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 37. Effet principal de l'amorce sur le %E pour les pseudomots (Expérience 3.1.)

ANCOVAs

Deux ANCOVAs ont été réalisées afin de déterminer si les effets précédents continuaient à s'observer lorsque le niveau de lecture était contrôlé. Les résultats pour les

mots et pour les pseudomots ont montré que l'effet de l'amorce sur le %E ne s'observait plus, et dépendaient donc du niveau de lecture du participant.

Discussion

L'objectif de cette étude était de mettre en évidence l'effet d'une amorce physique présentant l'enveloppe du mot sur son traitement, comme suggéré par Lété et Pynte (2003). Les principaux résultats ont montré, sur la précision des réponses des participants, et pour les mots, que l'amorce présentant une enveloppe incongruente avec la cible induisait davantage d'erreurs qu'une amorce congruente ou neutre, alors que pour les pseudomots, l'amorce présentant une amorce congruente ou incongruente nuisait le rejet du pseudomot relativement à l'amorce neutre.

Nos résultats mettaient en évidence une influence de cette amorce physique pour les mots, même si nos prédictions n'étaient que partiellement confirmées. En effet, seule l'amorce incongruente gênait l'identification du mot par rapport aux amorces congruente et neutre, et l'amorce congruente n'était pas plus efficace que l'amorce neutre. Ceci était en contradiction avec les résultats princeps qui avaient montré un bénéfice de l'enveloppe congruente sur l'enveloppe neutre notamment pour les mots possédant une enveloppe fréquente, partagée par un grand nombre de mots (Lété & Pynte, 2003). Ces divergences dans les résultats pouvaient se justifier par les variations opérées au niveau des paramètres expérimentaux. Dans l'expérience princeps, il n'y avait pas de condition incongruente ; l'amorce était présentée pendant 400 ms et suivi d'un intervalle inter-stimulus de 100 ms, au lieu de 200 ms et sans intervalle inter-stimulus dans cette expérience ; et la cible était présentée jusqu'à la réponse du participant, alors qu'elle ne l'était que durant 500 ms dans le cas présent. L'absence de bénéfice de l'amorce congruente relativement à l'amorce neutre, ne présentant finalement qu'un indice sur la longueur de la cible, pouvait s'expliquer un SOA plus court (200 ms). Lété

et Pynte (2003) supposait que leur SOA de 400 ms permettait au participant de se forger une idée approximative des lettres composant mot à venir. L'identification des lettres était alors facilitée, favorisant à son tour l'identification du mot par comparaison entre l'approximation et les représentations mentales. En ce sens, un SOA plus court ne permettait donc pas l'élaboration de l'approximation, et par conséquent aucun avantage de l'amorce congruente n'était possible. De plus, cet effet dépendait du niveau de lecture du participant, pouvait s'expliquer par une automatisation efficace de l'identification du mot chez nos participants (Perea & Rosa, 2002).

Cependant, la gêne introduite par l'enveloppe incongruente était, néanmoins et en un sens, en faveur de l'hypothèse de réduction de l'incertitude (Paap et al., 1984), selon lequel, l'effet de fréquence de l'enveloppe interviendrait dans la sélection de la cible parmi l'ensemble de candidats. L'enveloppe incongruente influençait négativement le processus de sélection, engendrant alors une sélection erronée de la cible.

Dans le cas des pseudomots, la présentation d'une information sur l'enveloppe, qu'elle soit congruente ou incongruente avec la cible, nuisait au rejet du pseudomot, comparativement à l'amorce neutre qui ne présentait qu'une information de longueur. Dans l'expérience princeps, un effet d'amorçage, seulement sur les items, de l'amorce congruente sur l'amorce neutre avait été démontré pour les pseudomots, suggérant un bénéfice de l'information d'enveloppe dans le rejet de la cible ; et qui n'était pas retrouvé dans la présente expérience. Dans le cadre de l'hypothèse de réduction de l'incertitude, et puisque le pseudomot ne possède pas de représentation lexicale, ce résultat montrait qu'une information sur l'enveloppe détériorait la précision de la réponse, étant donné que cette information n'est comparable à aucune représentation en mémoire.

Dans l'ensemble, les résultats suggéraient une contribution précoce de l'enveloppe dans le traitement d'une cible lors d'une DL, et corroborent le postulat d'une influence de

l'enveloppe lors de la sélection de la cible avant son identification. Cette première expérience validait ainsi chez le normolecteur adulte notre hypothèse selon laquelle l'enveloppe du mot était une dimension visuelle précoce. Toutefois, les conditions de présentation, comme chez Lété et Pynte (2003) conditionnaient un traitement conscient de l'amorce, il est alors possible que des effets stratégiques soient responsables de l'amorçage. Une seconde expérience, où l'amorce était masquée, a été mise en place toujours chez le normolecteur adulte afin de dissocier plus spécifiquement les effets inconscients.

5.2.2.2. Amorçage masqué inconscient (Expérience 3.2)

Le recours à un paradigme d'amorçage masqué permettait d'éviter la mise en place d'effets stratégiques de la part du participant. L'amorce était présentée masquée, par des masques pattern créés spécialement pour l'étude. Ces masques étaient constitués de carrés de tailles différentes, reprenant ainsi la longueur du côté d'un point (comme pour l'amorce neutre, d'une « lettre » neutre, ascendante ou descendante de l'amorce congruente ou incongruente (voir *Figure 38*). Ce masque devrait interrompre le traitement conscient de l'amorce tout en laissant passer les informations ascendantes, et descendantes de l'amorce. Au vu des résultats de l'expérience 3.1., il était attendu un effet important un effet délétère de l'amorce incongruente avec la cible, comparativement aux amorces congruente et neutre.

Méthode

Participants

Soixante-sept adultes de langue maternelle française, âgés de 18 à 29 ans ($M = 20.4$ ans ; $ET = 2.1$) ont participé à cette étude (voir Annexe 1). Tous étaient étudiants, majoritairement en 1^{ère} et 2^{ème} années de Licence. Tous étaient volontaires et naïfs quant aux objectifs et

hypothèses de l'expérience. Leur vue était normale ou corrigée à la normale. Enfin, le niveau de lecture des participants était obtenu par le score au test de l'Alouette-R (Lefavrais, 2005).

Matériel

Les stimuli et le matériel utilisés étaient les mêmes que ceux de l'expérience contrôle. Cinq masques, de 50x120 pixels, ont été créés pour l'expérience. Ils étaient composés de carrés noirs ($L = 0.77 \text{ cd/m}^2$) sur un fond gris moyen ($L = 16.8 \text{ cd/m}^2$), de 4x4, 14x14 et 24x24 pixels, ne se touchant pas et répartis aléatoirement (voir *Figure 38*).



Figure 38. Exemples de masques créés pour l'expérience.

Passation expérimentale et procédure

Les passations avaient lieu dans les mêmes conditions que précédemment. Pour la tâche de DL, la séquence comportait deux événements supplémentaires, comparativement à l'expérience 3.1. (voir *Figure 39*) : un masque était présenté avant et après l'amorce pendant respectivement 200 ms et 17 ms.

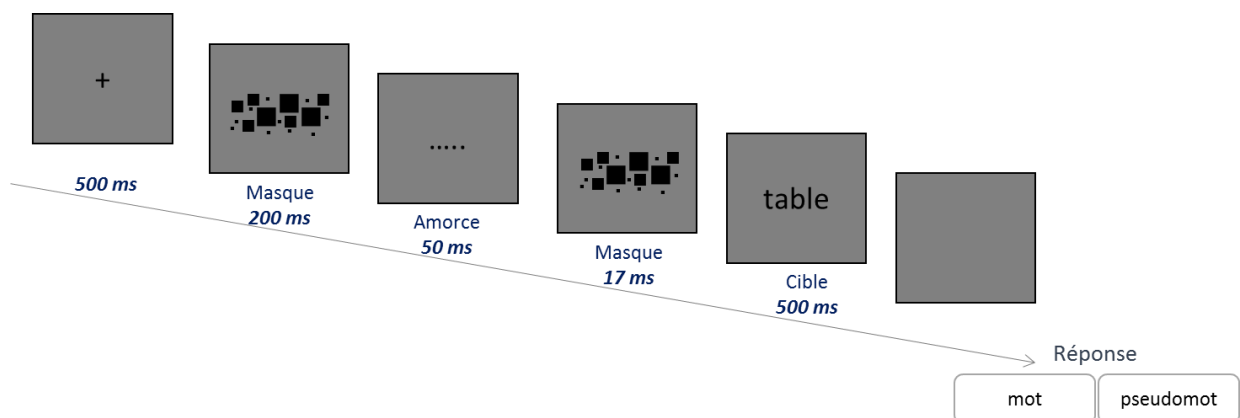


Figure 39. Exemple d'une séquence d'évènements avec le mot table pour l'expérience 3.1.

Résultats

L'analyse des données a été menée en deux étapes avec le logiciel Statistica 10.0. Tout d'abord, des ANOVAs à mesures répétées ont été menées sur le pourcentage d'erreurs (%E) et le temps de réponses correctes (TRC), en traitant séparément les mots et les pseudomots, et en prenant pour facteur aléatoire le participant (F_1) puis l'item (F_2). Les ANOVAs par participant comprenaient l'amorce (une amorce congruente, neutre ou incongruente) comme facteur intra-sujet. Des comparaisons planifiées deux à deux (ou contrastes) ont été calculées lorsque cela s'est avéré nécessaire.

Trois participants (4%), 14 mots (14%) et 8 pseudomots (8%), dont le taux moyen d'erreurs était supérieur à 20%, ont été retirés de l'analyse des données. Ainsi, les données de 64 participants, 86 mots et 92 pseudomots ont été analysées. Pour l'ensemble des participants, le taux moyen d'erreurs était de 6% ($ET = 6\%$) et la rapidité moyenne était de 658 ms ($ET = 118$).

Mots

L'analyse a montré un effet principal significatif de l'amorce sur le %E, $F_1(2, 126) = 3.6, p = .030, \eta^2 = .05$ et $F_2 = ns$, et sur le TRC, $F_1(2, 126) = 3.2, p = .048, \eta^2 = .05$ et $F_2 = ns$ (voir *Figure 40*). Le %E était le plus bas lorsque l'amorce était neutre plutôt que congruente, alors que le TRC était plus court lorsque l'amorce était neutre plutôt qu'incongruente. Les autres conditions ne différaient pas significativement entre elles.

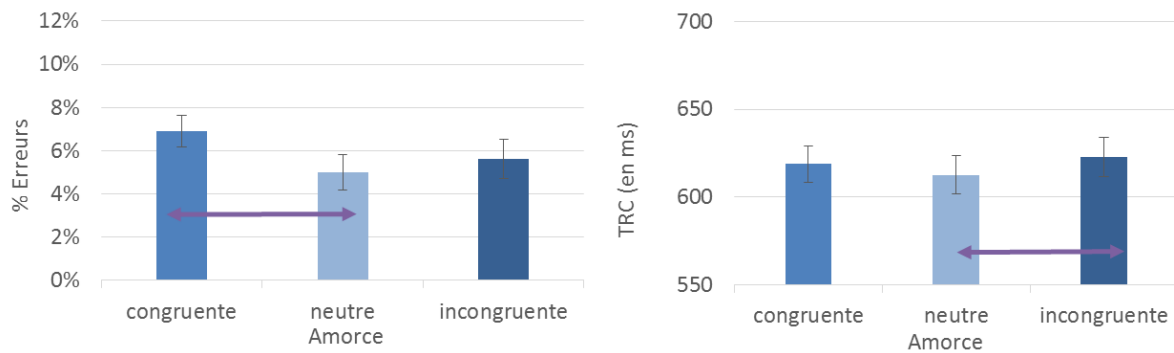


Figure 40. Effet principal de l'amorce sur le %E et le TRC pour les mots (Expérience 3.1.)

Discussion

Lorsque l'amorce était masquée, et ainsi présentée de façon inconsciente, les résultats révélèrent une influence de l'amorce différenciée sur la précision et sur la rapidité, spécifiquement sur les mots. En termes de précision, l'amorce congruente dégradait l'identification du mot par rapport à l'amorce neutre. Néanmoins, en termes de rapidité, les résultats répliquaient ceux qui avaient été observés sur le % dans l'expérience 3.1 : ici, l'amorce incongruente avec la cible ralentissait le traitement de la cible uniquement par rapport à l'amorce neutre.

L'enveloppe véhiculée par l'amorce congruente pré-activait un ensemble de mots candidats partageant la même enveloppe avec la cible. Les candidats inadéquats conduisaient le lecteur à faire davantage d'erreurs, toutefois sans ralentir l'identification de la cible. Le masquage de l'amorce induisait donc un défaut d'inhibition des candidats mots inadéquats. Lorsque l'amorce présentait une enveloppe incongruente avec la cible, elle pré-activait un ensemble de mots candidats qui ralentissaient l'identification de la cible. Cependant, les candidats inappropriés étaient inhibés efficacement, comme le suggère l'absence d'effet sur la précision de la réponse.

Ces effets allaient dans le sens de nos précédents résultats, envisageant l'enveloppe du mot comme une primitive visuelle. Une troisième expérience a été mise en place toujours chez le

normolecteur adulte dans le but de déterminer si l'enveloppe du mot est une caractéristique inhérente à la forme globale de celui-ci et donc prise en charge par la voie M.

5.2.3. *Paradigme d'isoluminance et de contraste chez l'adulte (Expérience 3.3.)*

Pour dissocier les traitements visuels M et P, un paradigme d'isoluminance et de contraste a été utilisé. La même tâche de DL avec amorçage a donc été proposée à de nouveaux participants normolecteurs adultes jeunes, incluant deux nouvelles conditions de présentation visuelle : soit la condition stimuli isoluminants, biaisant ainsi les traitements visuels vers le système P, soit dans la condition faible contraste biaisant les traitements visuels vers le système M.

Les expériences précédentes (3.1. et 3.2.) ont permis de mettre en évidence la dimension visuelle et précoce de l'enveloppe du mot. Le but de cette expérience était alors de confirmer que cette primitive est une caractéristique inhérente à la forme globale du mot, et par conséquent préférentiellement véhiculée par le système M.

De ce fait, les objectifs étaient ici de : 1/ répliquer l'effet de l'amorce physique observé dans l'expérience 3.1., avec de meilleures performances pour les amorces congruentes et neutres par rapport aux amorces incongruentes pour les mots ; et 2/ une interaction entre la condition visuelle et l'amorce, avec un effet d'amorçage plus important en condition faible contraste qu'en condition stimuli isoluminants.

Méthode

Participants

Cinquante-neuf adultes de langue maternelle française, âgés de 17 à 30 ans ($M = 21.6$; $ET = 2.8$) ont participé à cette étude (voir Annexe 1). Tous étaient étudiants, majoritairement

en 1^{ère} et 2^{ème} années de Licence, et 10% d'entre eux ont participé dans le cadre de leur cursus. Tous étaient volontaires et naïfs quant aux objectifs et hypothèses de l'expérience. Leur vue était normale ou corrigée à la normale. Enfin, le niveau de lecture des participants était obtenu par le score au test de l'Alouette-R (Lefavrais, 2005).

Matériel

Les stimuli et le matériel utilisés étaient les mêmes que ceux de l'expérience contrôlée. Les items étaient écrits au centre en noir sur un fond blanc avec une police Courier New, taille 30. Ils étaient présentés en deux blocs selon deux conditions de présentation : soit écrits en rouge ($L = 10.34$; $a^* = 25.37$; $b^* = 16.01$; avec une luminance ajustée pour chaque participant) sur un fond en vert ($L = 10.70$; $a^* = -21.79$; $b^* = 14.58$; soit une luminance en cd/m^2 de 1.23) pour la condition stimuli isoluminants, soit écrits en gris ($L = 6.09 \text{ cd/m}^2$) sur un fond gris plus foncé ($L = 5.37 \text{ cd/m}^2$) pour la condition faible contraste (ici 6.3% de contraste de Michelson). L'ordre de passation des conditions visuelles était contrebalancé entre les participants.

Concernant l'ajustement individuel de la luminance rouge, les résultats de l'ensemble des participants montraient un seuil de luminance moyen de 1.06 cd/m^2 ($ET = 0.03$; étendue = [0.75-1.38]).

Passation expérimentale et procédure

Les passations avaient lieu dans les mêmes conditions que pour l'expérience 3.1. Les participants procédaient en plus à la tâche de calibration de luminance, puis à la tâche principale qui était la même que précédemment. L'ordre de passation des conditions visuelles était contrebalancé entre les participants.

Résultats

L'analyse des données a été menée en deux étapes avec le logiciel Statistica 10.0. Tout d'abord, des ANOVAs à mesures répétées ont été menées sur le pourcentage d'erreurs (%E) et le temps de réponses correctes (TRC), en traitant séparément les mots et les pseudomots, et en prenant pour facteur aléatoire le participant (F_1). Les ANOVAs par participant comprenaient l'amorce (une amorce congruente, neutre ou incongruente) et la condition de présentation (stimuli isoluminants ou faible contraste) comme facteurs intra-sujets. Des comparaisons planifiées deux à deux (ou contrastes) ont été calculées lorsque cela s'est avéré nécessaire.

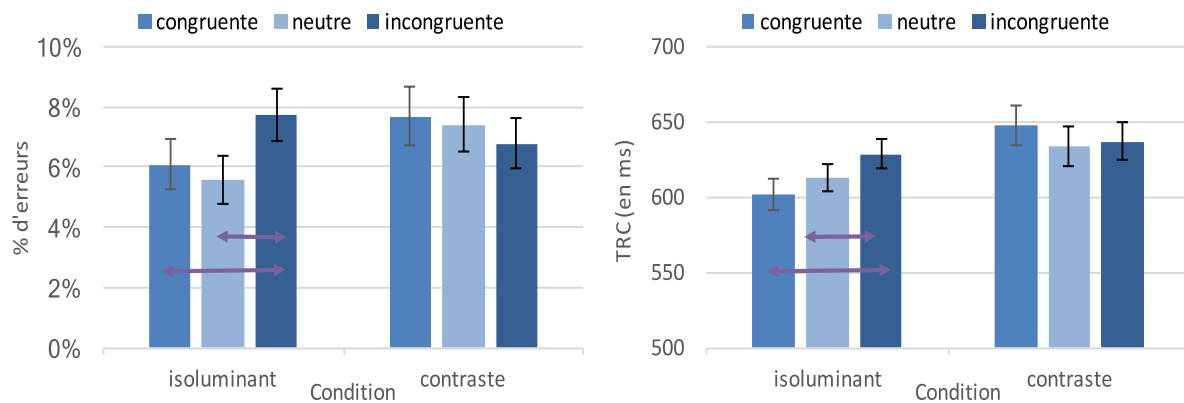
Neuf participants (15%), 17 mots (17%) et 7 pseudomots (7%), dont le taux moyen d'erreurs était supérieur à 20%, ont été retirés de l'analyse des données. Ainsi, les données de 50 participants, 83 mots et 93 pseudomots ont été analysées. Pour l'ensemble des participants, le taux moyen d'erreurs était de 6% (ET = 6%) et la rapidité moyenne était de 663 ms (ET = 98).

Mots

L'analyse a montré un effet principal de la condition de présentation significatif sur le TRC, $F_1(1, 49) = 7.1$, $p = .010$, $\eta^2 = .13$ et $F_2(1, 82) = 21.0$, $p < .001$, $\eta^2 = .20$. Le TRC était plus court en condition stimuli isoluminants (614 ms) qu'en condition faible contraste (639 ms).

Un effet d'interaction entre l'amorce et la condition de présentation s'est révélé tendanciel sur le %E, $F_1(2, 98) = 2.6$, $p = .077$, $\eta^2 = .05$ et $F_2(2, 164) = 3.0$, $p = .052$, $\eta^2 = .04$, et significatif sur le TRC, $F_1(2, 98) = 3.4$, $p = .036$, $\eta^2 = .07$ et $F_2 = ns$ (voir *Figure 41*). En condition stimuli isoluminants, les performances étaient meilleures lorsque l'amorce était incongruente

plutôt que congruente ou neutre. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.



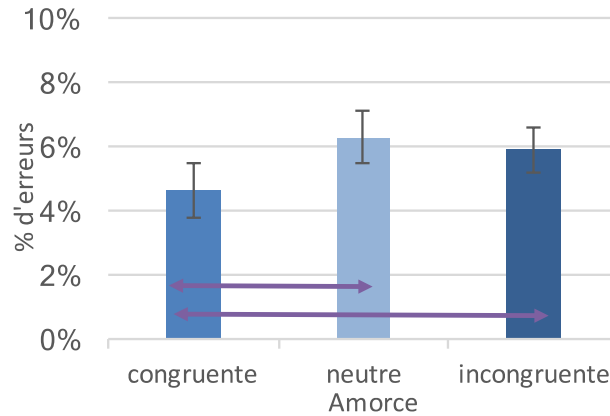
Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 41. Effet d'interaction entre l'amorce et la condition de présentation sur le %E et le TRC pour les mots (Expérience 3.2.)

Pseudomots

L'analyse a montré un effet principal significatif de la condition visuelle sur le TRC, $F_1(1, 49) = 16.2, p < .001, \eta^2 = .25$ et $F_2(1, 92) = 6.6, p = .012, \eta^2 = .07$. Le TRC était plus court en condition stimuli isoluminants (681 ms) qu'en condition faible contraste (716 ms).

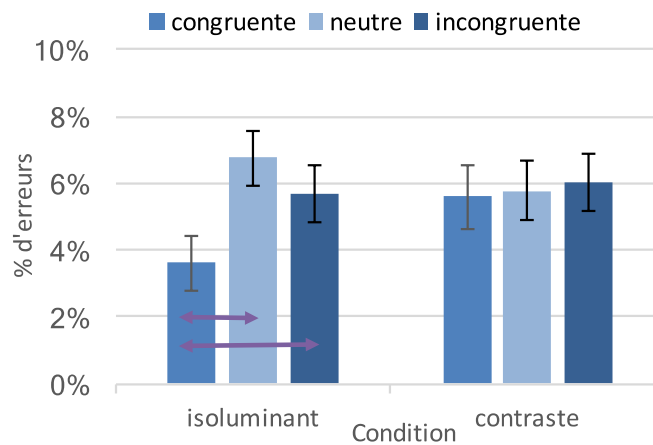
Un effet principal significatif de l'amorce a été observé sur le %E, $F_1(2, 98) = 4.8, p = .011, \eta^2 = .09$ et $F_2(2, 184) = 4.1, p = .018, \eta^2 = .04$ (voir Figure 42). Le %E était plus bas lorsque l'amorce était congruente plutôt que neutre ou incongruente. Les autres conditions ne différaient pas significativement entre elles.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 42. Effet principal de l'amorce sur le %E pour les pseudomots (Expérience 3.2.)

Un effet d'interaction tendanciel entre l'amorce et la condition de présentation a été montré sur le %E, $F_1(2, 98) = 2.7, p = .070, \eta^2 = .05$ et $F_2(2, 184) = 2.8, p = .063, \eta^2 = .03$ (voir Figure 43). En condition stimuli isoluminants, le %E était plus bas lorsque l'amorce était congruente plutôt que neutre ou incongruente. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 43. Effet d'interaction entre l'amorce et la cible sur le %E et sur le TRC pour les pseudomots (Expérience 3.2.)

ANCOVA

Deux ANCOVAs ont été réalisées afin de déterminer si les effets précédents continuaient à s'observer lorsque le niveau de lecture était contrôlé. Les résultats pour les mots et pour les pseudomots ont montré les effets précédents ne s'observaient plus, et les effets dépendaient donc du niveau de lecture du participant.

Discussion

L'objectif de cette étude était de répliquer l'effet délétère de l'amorce visuelle présentant une enveloppe incongruente avec la cible et de montrer que l'enveloppe du mot était une dimension visuelle inhérente à la forme globale du mot et donc dépendante du système M. Les principaux résultats, qui variaient selon le niveau de lecture, ont montré : 1/ que l'effet d'amorçage observé dans l'expérience 3.1., soit une gêne de l'amorce incongruente relativement à l'amorce congruente, était retrouvé pour les mots et spécifiquement lorsque les dimensions P étaient privilégiées ; 2/ que l'effet d'amorçage initial pour les pseudomots était ici seulement partiellement reproduit, avec un bénéfice de l'amorce congruente comparativement à l'amorce neutre et à l'amorce incongruente, et ce uniquement lorsque les dimensions P étaient préservées.

En premier lieu, l'analyse des résultats a montré de meilleures performances des participants en condition stimuli isoluminants qu'en condition faible contraste, évoquant un traitement global plus efficace lorsque les informations P étaient sélectionnées plutôt que les informations M. Ce résultat pouvait être imputé à une condition faible contraste très inhabituel pour les lecteurs et restrictif avec seulement 6.3% de contraste de Michelson).

L'influence de l'enveloppe du mot était véhiculée spécifiquement lorsque les informations P étaient isolées en condition stimuli isoluminants. L'enveloppe du mot, manipulée comme

nous l'avons proposé ici, était donc bien une primitive visuelle. Cependant, elle n'était pas inhérente à la forme globale du mot, et dépendait au contraire des informations locales P, et donc sur le traitement des différentes lettres du mot. Cette observation était en adéquation avec la position dominante actuelle qui considère l'identité abstraite des lettres comme l'unité de base de la perception des mots écrits (Paap et al., 1982).

Pour les pseudomots, un autre pattern de résultats était observé. Comparativement à l'expérience 3.1., lorsque les conditions visuelles étaient dégradées, l'amorce neutre devenait gênante, et l'amorce congruente devenait bénéfique pour la précision de la réponse, par rapport aux amorces neutres et incongruentes. L'enveloppe congruente pré-activait les mots partageant la même enveloppe, et l'inhibition de ces mots en compétition suffisait au rejet du pseudomot. Ce dernier argument était en faveur de l'hypothèse de réduction de l'incertitude (Paap et al., 1984), et répliquait les résultats de l'expérience princeps (Lété & Pynte, 2003), qui avaient mis en évidence un effet d'amorçage bénéfique de l'amorce congruente sur l'amorce neutre pour les pseudomots. De plus, cet effet d'amorçage était spécifique à la condition stimuli isoluminants lorsque les informations P étaient privilégiées, ce qui confirmait les résultats pour les mots.

Cette expérience a donc répliqué avec succès l'influence délétère de l'amorce physique incongruente pour les mots, et elle a montré que l'enveloppe du mot était une primitive visuelle inhérente aux informations P, dépendant donc du traitement de l'identité des lettres. En revanche, pour les pseudomots, l'amorce congruente devenait la plus efficace et était toujours transmise via le système P. En définitive, l'enveloppe du mot n'était pas une information de la forme globale du mot comme pressentie initialement. Pourtant, les deux expériences précédentes nous donnaient des arguments pour considérer l'enveloppe du mot comme une primitive visuelle. Celle-ci dépendrait des informations locales P, et transmettrait la forme globale de chaque lettre à l'intérieur du mot.

Les expériences 3.1. et 3.3. ont été répliquées chez l'enfant, afin d'évaluer si le lecteur novice se repose davantage sur l'enveloppe lors de la reconnaissance de mot écrit et si, tout comme chez le normolecteur adulte jeune, cette primitive visuelle était véhiculée par le système P.

5.2.4. *Chez l'enfant (Expérience 3.4.)*

Les études précédentes chez le normolecteur adulte ont suggéré que l'enveloppe de mot était une primitive visuelle et que celle-ci était préférentiellement supportée par la voie P. Une dernière étude a été menée chez l'enfant, lecteur en apprentissage, et dont les voies visuelles sont matures, pour le système P, ou en cours de maturation, pour le système M.

Les études sur la forme globale du mot chez l'enfant ont montré que l'enveloppe est une variable orthographique qui affectait très tôt le développement de la lecture. Le normolecteur enfant bénéficiait de cet indice dès que celui-ci était mis à disposition (Webb et al., 2006). Frith (1985) avait d'ailleurs suggéré que les caractéristiques visuelles des mots étaient très importantes dans les premières étapes de la lecture, car le lecteur débutant ne procédait au départ qu'à une analyse rudimentaire de ces caractéristiques. Avant que la lecture ne soit automatisée et que la reconnaissance visuelle de mots experte repose sur des processus visuo-orthographiques et sur des processus phonologiques, le lecteur débutant reste fortement influencé par des informations visuelles, et sensibles aux caractéristiques visuelles physiques.

Une étude avec un paradigme de casse alternée a montré que les enfants de 6 à 9 ans s'appuyaient davantage que les lecteurs novices sur les aspects purement visuels du texte (Mayall, 2002). Cependant, dès 8-9 ans, ils développaient d'autres types de traitements (phonologiques notamment) au fur et à mesure que leur niveau de vocabulaire augmentait. Ainsi, le lecteur enfant ferait donc usage des caractéristiques visuelles distinctives (Ehri & Wilce, 1985), des caractéristiques visuelles fragmentées (comme par exemple les lettres doubles ; Seymour & Elder, 1986), les traits ascendants et descendants des lettres (Johnston et al., 1991) ainsi que des indices holistiques du mot (Masterson, Laxon, & Stuart, 1992).

Des études comparant l'importance des caractéristiques internes et externes des mots chez les enfants (Johnston et al., 1991; Masterson et al., 1992; Seymour & Elder, 1986) ont montré que les caractéristiques internes maintenaient les informations de longueur et les caractéristiques individuelles de chaque lettre, alors que les caractéristiques externes conservaient l'information sur les lettres ascendantes et descendantes et donc la forme globale du mot. Cette information sur la forme globale était utile aux enfants essentiellement durant les premières étapes de la lecture.

Des enfants âgés de 10 à 11 ans, scolarisés en classe de CM1 ont encore été choisis pour cette expérience. Leur niveau scolaire assurait un niveau de lecture en apprentissage certes, mais non débutant et ne reposant pas uniquement sur les indices visuels (Mayall, 2002). Cependant, l'influence de l'amorce physique présentant l'enveloppe du mot devrait donc être plus importante chez le lecteur novice, puisque les traitements langagiers n'étaient pas encore tout à fait automatisés.

Cette expérience avait donc plusieurs objectifs : 1/ répliquer l'effet d'amorçage par l'enveloppe chez des lecteurs novices âgés de 10 ans scolarisés en classe de CM1, avec de meilleures performances lorsque l'amorce était congruente plutôt qu'incongruente ; 2/ confirmer que l'enveloppe du mot était véhiculée par la voie P.

Méthode

Participants

Quarante-deux enfants de langue maternelle française, âgés de 114 à 130 mois ($M = 119$ mois ; $ET = 3.7$) ont participé à cette étude (voir Annexe 1). Tous étaient volontaires et naïfs quant aux objectifs et hypothèses de l'expérience. Leur vue était normale ou corrigée à

la normale. Enfin, le niveau de lecture des participants était obtenu grâce au score au test de l'Alouette-R (Lefavrais, 2005).

Matériel

Les stimuli étaient les mêmes que ceux utilisés avec les adultes jeunes. Il a été vérifié grâce à la base Manulex (Lété et al., 2004; Ortega & Lété, 2010) que les mots initialement choisis soient connus des enfants de 10/11 ans en CM1.

Les items étaient présentés selon trois conditions de présentation : en condition visuelle normale où les items étaient écrits en noir ($L = 0.81 \text{ cd/m}^2$) sur un fond gris moyen ($L = 17.6 \text{ cd/m}^2$), en condition de stimuli isoluminants avec des items écrits en rouge ($L = 10.34$; $a^* = 25.37$; $b^* = 16.01$; avec une luminance ajustée pour chaque participant) sur fond en vert ($L = 10.70$; $a^* = -21.79$; $b^* = 14.58$; soit une luminance en cd/m^2 de 1.02) et une condition faible contraste avec des items écrits en gris ($L = 6.01 \text{ cd/m}^2$) sur fond gris plus foncé ($L = 5.59 \text{ cd/m}^2$), avec un contraste de Michelson de 7%. Les participants démarraient systématiquement par la condition contrôle puis l'ordre de passation des conditions visuelles dégradées était contrebalancé entre eux.

Tout comme les participants adultes, les enfants ajustaient individuellement la luminance rouge selon la même procédure. Les résultats de l'ensemble des participants montraient un seuil de luminance moyen de 1.04 cd/m^2 ($ET = 0.05$; étendue = [0.96-1.63]). Enfin, les stimuli étaient présentés sur un ordinateur portable Dell Latitude M60 avec un écran de 15.6 pouces et une carte graphique NVIDIA Quadro FX Go700.

Passation expérimentale et procédure

Toutes les passations ont eu lieu dans une salle de classe non occupée, au sein même de l'école, dont nous avons contrôlé l'éclairage. Elles étaient individuelles et duraient entre 20 et 30 minutes. La tâche de DL et la séquence d'évènements étaient les mêmes que pour

l'expérience 3.3. La condition contrôle était systématiquement passée en première, puis l'ordre de passation des conditions visuelles dégradées était contrebalancé entre les participants.

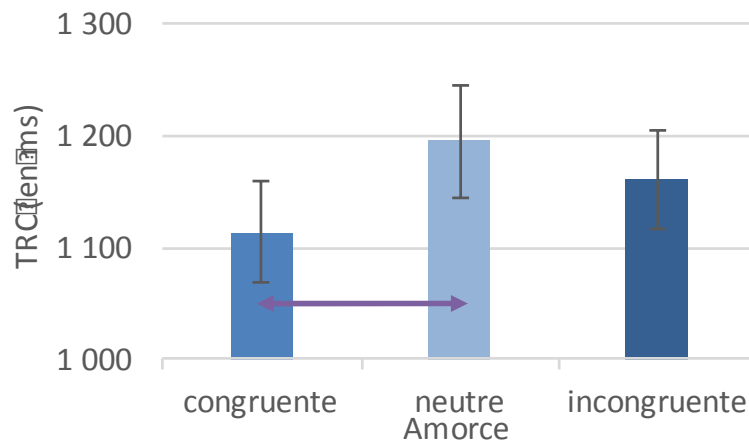
Résultats condition contrôle

L'analyse des données a été menée en deux étapes avec le logiciel Statistica 10.0. Tout d'abord, des ANOVAs à mesures répétées ont été menées sur le pourcentage d'erreurs (%E) et le temps de réponses correctes (TRC), en traitant séparément les mots et les pseudomots, et en prenant pour facteur aléatoire le participant (F_1) puis l'item (F_2). Les ANOVAs par participant comprenaient l'amorce (une amorce congruente, neutre ou incongruente) comme facteurs intra-sujets. Des comparaisons planifiées deux à deux (ou contrastes) ont été calculées lorsque cela s'est avéré nécessaire.

En condition contrôle, 8 participants (19%), 36 mots (36%) et 21 pseudomots (21%), dont le taux moyen d'erreurs était supérieur à 30%, ont été retirés de l'analyse des données. Ainsi, les données de 34 participants, 64 mots et 79 pseudomots ont été analysées. Pour l'ensemble des participants, le taux moyen d'erreurs était de 12% (ET = 13%) et la rapidité moyenne était de 1279 ms (ET = 324). Les résultats pour les pseudomots n'ont pas montré d'effet significatif, ainsi seuls les résultats pour les mots seront présentés ici.

Mots

L'analyse a montré un effet principal tendanciel de l'amorce sur le TRC, $F_1(2, 66) = 2.6$, $p = .079$, $\eta^2 = .07$ et $F_2 = ns$ (voir *Figure 44*). Le TRC était plus court lorsque l'amorce était congruente plutôt que neutre. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 44. Effet principal de l'amorce sur le TRC pour les mots en condition contrôlée (Expérience 3.4.)

ANCOVA

Deux ANCOVAs ont été réalisées afin de déterminer si les effets précédents continuaient à s'observer lorsque le niveau de lecture était contrôlé. Les effets pour les mots ne s'observaient plus, et dépendaient donc du niveau de lecture du participant.

Discussion des résultats en condition contrôlée

L'influence de l'enveloppe comme une amorce physique était ici étudiée chez l'enfant lecteur novice dans une tâche de DL d'abord en condition visuelle classique. Cette expérience était assez difficile pour les enfants, comme le résume le Tableau 5, de l'Annexe 1, puisque 36% des participants et 29% des items ont été exclus car ils totalisaient plus de 30% d'erreur⁹. Les analyses de résultats ont donc été réalisées auprès d'un effectif réduit ; et les résultats et leurs interprétations sont à considérer avec précaution. Le résultat principal, pour les mots, montrait une influence de l'amorce congruente bénéfique par rapport à l'amorce neutre. L'information sur l'enveloppe du mot était plus utile en termes de rapidité que l'information

⁹ À noter que ce critère était plus laxiste que le seuil à 20% défini pour les adultes.

de longueur dispensée par l'amorce neutre. Ce résultat validait partiellement nos hypothèses et suggérait donc que le lecteur novice pouvait utiliser l'enveloppe comme un indice dans la reconnaissance du mot. Néanmoins, aucun effet délétère de l'amorce incongruente, comparativement à l'amorce congruente, n'a été démontré, ce qui contrastait avec ce qui avait été observé chez les adultes.

Résultats conditions visuelles dégradées

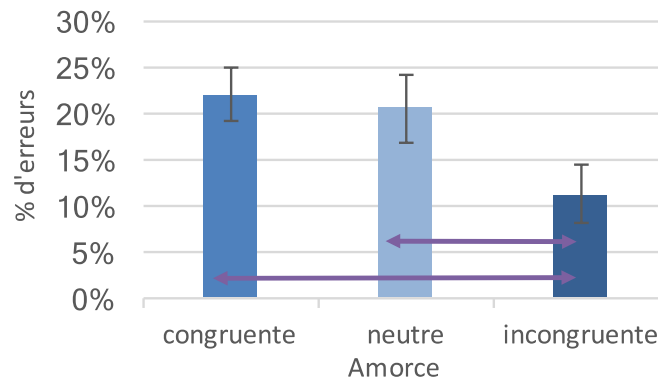
L'analyse des données a été faite en deux étapes avec le logiciel Statistica 10.0. Tout d'abord, des ANOVAs à mesures répétées ont été menées sur le pourcentage d'erreurs (%E) et le temps de réponses correctes (TRC), en traitant séparément les mots et les pseudomots, et en prenant pour facteur aléatoire soit le participant (F_1) soit l'item (F_2). Les ANOVAs par participant comprenaient l'amorce (soit une amorce congruente, neutre ou incongruente) et la condition de présentation (stimuli isoluminants ou contraste) comme facteurs intra-sujets et le niveau de lecture (bons ou moins lecteurs) comme un facteur inter-sujet. Des comparaisons planifiées deux à deux (ou contrastes) ont été calculées lorsque cela s'est avéré nécessaire.

En conditions visuelles dégradées, 21 participants (50%), 45 mots (45%) et 12 pseudomots (12%), dont le taux moyen d'erreurs était supérieur à 30%, ont été retirés de l'analyse des données. Ainsi, les données de 21 participants, 55 mots et 88 pseudomots ont été analysées. Pour l'ensemble des participants, le taux moyen d'erreurs était de 14% (ET = 15%) et la rapidité moyenne était de 1299 ms (ET = 349). Les résultats pour les pseudomots n'ont pas montré d'effet significatif, ainsi seuls les résultats pour les mots seront présentés ici.

Mots

L'analyse a montré un effet principal significatif de l'amorce sur le %E, $F_1(1, 20) = 5.3$, $p = .009$, $\eta^2 = .21$ et $F_2 = ns$ (voir *Figure 45*). Le %E était le plus bas lorsque l'amorce

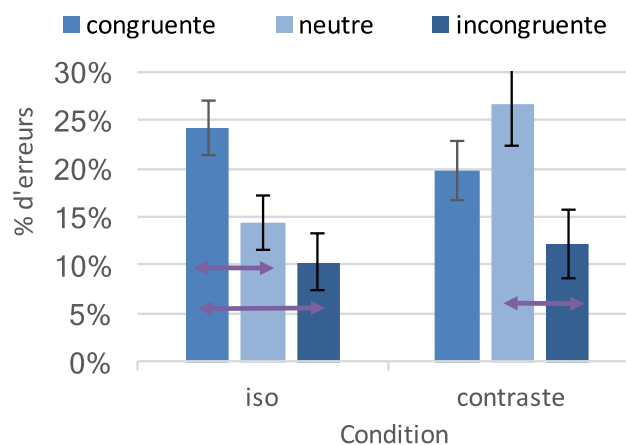
était incongruente plutôt que congruente ou neutre. Les autres conditions ne différaient pas significativement entre elles.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 45. Effet principal de l'amorce sur le %E et sur le TRC pour les mots en condition visuelles dégradées (Expérience 3.3.).

Un effet d'interaction entre l'amorce et la condition de présentation tendanciel a été observé sur le %E, $F_1(2,40) = 3.1$, $p = .055$, $\eta^2 = .13$ et $F_2 = ns$ (voir Figure 46). En condition stimuli isoluminants, le %E était le plus haut lorsque l'amorce était congruente plutôt que neutre ou incongruente. En condition faible contraste, le %E était le plus bas lorsque l'amorce était incongruente plutôt que neutre. Les autres conditions ne différaient pas significativement entre elles.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 46. Effet d'interaction entre l'amorce et la condition de présentation sur le %E et sur le TRC pour les mots en condition visuelles dégradées (Expérience 3.3.).

ANCOVA

Deux ANCOVAs ont été réalisées afin de déterminer si les effets précédents continuaient à s'observer lorsque le niveau de lecture était contrôlé. Les effets pour les mots ne s'observaient plus, et dépendaient donc du niveau de lecture du participant.

Discussion des résultats en conditions visuelles dégradées

Les conditions visuelles dégradées étaient encore plus difficiles pour les enfants que les conditions visuelles classiques. Une grande partie des participants (50%) et des items (29%) ont été enlevés de l'analyse, du fait de leur taux moyen d'erreur supérieur à 30%. Les résultats étaient donc présentés ici à titre indicatif, à la vue de la faible validité des analyses statistiques. Les principaux résultats ont montré des effets restreints aux mots dépendant du niveau de lecture du participant : 1/ un effet principal de l'amorce bouleversé, avec un traitement plus précis lorsque l'amorce était incongruente plutôt que congruente ou neutre ; et 2/ que cet effet variait selon la condition visuelle.

L'influence de l'enveloppe était totalement bouleversée. L'amorce incongruente devenait plus efficace en termes de précision que les amorces congruente ou neutre, comme si l'information amorcée rentrait ici en compétition avec la cible. Si l'on considère que le lecteur novice se repose davantage sur des informations visuelles, une amorce congruente ou neutre activerait respectivement les représentations des mots partageant la même enveloppe ou celles des mots de mêmes longueurs et la compétition entre ces mots induirait davantage d'erreurs. Inversement, une amorce incongruente activerait les représentations des mots ayant une enveloppe différente de celle de la cible, et ces informations seraient alors inhibées plus facilement puisqu'incompatibles avec la cible, favorisant alors l'identification du mot.

Lorsque les informations P étaient privilégiées en condition stimuli isoluminants, l'amorce congruente était la plus gênante comparativement aux deux autres amorces, alors que lorsque les informations M étaient isolées en condition faible contraste, l'amorce neutre devenait gênante pas rapport à l'amorce incongruente. Une plus forte compétition entre la cible et les mots partageant la même enveloppe était donc observée uniquement lorsque les informations P, soit les détails et l'identité des lettres étaient disponibles. Ceci confirmait nos précédents résultats selon lesquels l'enveloppe du mot reposait sur un traitement efficace des lettres qui le constituent (Paap et al., 1984). Lorsque les informations M étaient disponibles, l'influence de l'amorce était encore plus perturbée et ne montrait plus de privilège de l'amorce congruente ou incongruente. L'information congruente impactait la reconnaissance visuelle de la même façon que l'information incongruente ou neutre. Seule l'information incongruente était plus efficace que l'information neutre. Le fait que l'influence de l'amorce neutre, informant sur le nombre de lettres et donc la longueur du mot, était massive lorsque les dimensions M étaient privilégiées plutôt que les dimensions P, corroborait nos résultats de l'étude 2, qui considéraient la longueur du mot comme une information globale du mot et M.

5.2.5. *Conclusion*

L'étude 3 avait pour objectif principal d'évaluer l'influence de l'enveloppe comme primitive visuelle chez le normolecteur adulte jeune. Pour cela, une police d'écriture reprenant les caractéristiques des lettres neutres, ascendantes et descendantes a été créée afin d'abstraire l'identité de la lettre tout en conservant son caractère d'unité du mot. Cette police avait alors permis la création d'amorce présentant une enveloppe congruente ou incongruente avec la cible. Une amorce neutre a également été utilisée et présentait uniquement une information sur la longueur de la cible et donc le nombre de lettres. Ces amorces étaient manipulées dans une tâche de DL de façon consciente (Expérience 3.1.) ou inconsciente (Expérience 3.2.).

Il a été montré que l'enveloppe du mot était bien une primitive visuelle, portée par les traitements visuels précoces ascendants ; et qu'elle pouvait influencer l'identification du mot : elle ralentissait le traitement lorsqu'elle était incongruente, relativement à la condition neutre, mais n'avait pas d'effet bénéfique significatif lorsqu'elle était congruente. Ainsi, nous n'avions pas réussi à répliquer l'effet d'amorçage facilitateur montré par Lété et Pynte (2003), avec un bénéfice de l'amorce congruente sur l'amorce neutre, ce qui pouvait être imputé à un SOA trop court dans cette étude. De plus, la gêne de l'enveloppe incongruente avec la cible pour les mots et les pseudomots confirmait que le lecteur expert adulte ne s'appuyait pas uniquement sur des traitements visuo-orthographiques dans l'expérience avec présentation consciente de l'amorce, mais sur des traitements plus complexes (Ehri & Wilce, 1985 ; Frith, 1985).

Une troisième expérience avait mis en évidence un traitement privilégié de l'enveloppe du mot par le système P. Celle-ci n'était donc pas une information inhérente à la forme globale, comme le suggérait l'approche *coarse-to-fine* ou Bar (2003, 2004) dans son modèle de reconnaissance d'objet. L'enveloppe du mot repose au contraire sur le codage des lettres du mot, et peut être vue comme l'ensemble des informations sur la forme globale de chacune de ces lettres.

Enfin, bien qu'indicatifs, les résultats obtenus chez le lecteur novice ont montré un pattern de réponses très différent que chez le normolecteur adulte jeune. L'influence de l'enveloppe du mot était effective, facilitatrice semblait indiquer un traitement visuo-orthographique qui prenait cette dimension en compte par le lecteur novice.

Il serait donc intéressant d'étudier les processus mis à l'œuvre ici, en manipulant différent SOA, afin de déterminer le SOA requis pour une influence maximale de l'enveloppe du mot. La réplification de cette étude chez le lecteur débutant, qui se reposerait, quant à lui, davantage sur cette primitive visuelle, au travers des traitements visuo-spatiaux, pourrait constituer un

argument supplémentaire au passage de traitements visuo-spatiaux à des traitements plus complexes avec l'automatisation de l'identification du mot. De même, la reproduction de cette étude avec un autre paradigme de dissociation des voies M et P est à envisager dans l'optique de confirmation des présents résultats. Enfin, il faudrait investiguer davantage l'effet de fréquence de l'enveloppe du mot, défendu par Lété et Pynte (2003), et notamment les fréquences des enveloppes utilisées dans cette étude.

En définitive, l'enveloppe du mot était une dimension visuelle spécifiquement véhiculée par la voie P, et reposant sur le traitement des lettres, et exerçant une influence sur l'identification des mots et le rejet des pseudomots. Cependant, la présente étude ne permettait pas de conclure précisément sur la nature de cette influence. L'hypothèse initiale de l'enveloppe du mot comme une dimension de la forme globale de celui-ci n'était donc pas validée, et nos résultats révélaient au contraire, comme dans l'étude 2, une plus forte contribution des informations locales du mot. Une dernière étude a été menée dans l'idée de conforter cette prépondérance des informations locales, en manipulant le voisinage orthographique, une caractéristique lexicale du mot.

Chapitre 6 : Le voisinage orthographique (Etude 4)

6.1. Introduction

Les caractéristiques orthographiques des mots constituent un objet d'étude important en psycholinguistique. Parmi les effets étudiés en psychologie cognitive de la lecture est un thème d'intérêt majeur, le voisinage orthographique, selon lequel la reconnaissance d'un mot écrit est affectée par sa proximité orthographique avec les autres mots du lexique.

Un mot et son voisin orthographique (VO) possèdent le même nombre de lettres et ne se distinguent que par une lettre unique dont la position au sein du mot est préservée (Coltheart, Davelaar, Jonasson, & Besner, 1977 ; pour des revues, voir Andrews, 1997; Mathey, 2001). Cette définition correspond au voisinage par substitution. Par exemple, *firme* et *forme* sont les voisins orthographiques de *ferme* (e.g., Mathey, 2001; Mathey & Zagar, 2000). Un mot ayant un VO est reconnu plus lentement qu'un mot sans VO (Grainger, O'Regan, Jacobs, & Segui, 1989). Par la suite, le terme voisinage orthographique a été étendu au voisinage par addition ou par soustraction, lorsque le VO du mot possède une lettre en plus ou moins comme *cousin* et *coussin*, et au voisinage par transposition, lorsque le VO est un anagramme du mot tels que *lion* et *loin* (Yarkoni, Balota, & Yap, 2008).

D'autres travaux ont montré plus particulièrement que les première et dernière lettres du mot étaient plus informatives que les autres (Yarkoni, Balota, & Yap, 2008). De même, la première syllabe d'un mot permettait à elle-seule l'accès au lexique (Chambers, 1979). Ainsi, les VO par transposition sont généralement construits de telle sorte que les lettres transposées, celles dont la position est modifiée, soient des lettres internes. La présence d'un VO par transposition ralentissait les temps de réponse et augmentait le taux d'erreurs dans une tâche de DL comme dans une tâche de dénomination et ce lorsque la cible était un mot (e.g., Taft &

Forster, 1976) ou un pseudomot anagramme de mot (e.g., Andrews, 1997; Chambers, 1979). Dans cette étude, nous nous centrerons sur le voisinage par substitution et par transposition. Deux indices rendent compte des caractéristiques du voisinage orthographique : la taille ou densité du voisinage (i.e., le nombre de VO d'un mot donné, Acha & Perea, 2008) et la fréquence du voisinage (i.e., la fréquence relative entre un mot et ses VO, Coltheart et al., 1977). Un effet facilitateur de la densité du voisinage était majoritairement observé, notamment dans une tâche de DL (e.g., Andrews, 1982, 1997; Carreiras et al., 1997; Ferraro & Hansen, 2002; Grainger, Muneaux, Farioli, & Ziegler, 2005; Mathey & Zagar, 1996; Perea & Pollatsek, 1998; Pollatsek et al., 2005) pour des mots ayant une fréquence lexicale faible (Andrews, 1989). Les mots ayant un grand nombre de VO étaient reconnus plus rapidement que les mots ayant peu de VO. Cet effet s'explique dans le cadre du modèle AI (McClelland & Rumelhart, 1981), en termes de renforcement de l'activation des mêmes lettres partagées par le VO en faveur du mot cible. Cependant, certaines études ont montré un effet inhibiteur de la densité du voisinage (e.g., van Heuven, Dijkstra, & Grainger, 1998). Dans leur étude princeps, Coltheart et al. (1977) avaient démontré que les pseudomots avec une taille de voisinage élevée étaient rejetés plus lentement que les pseudomots avec peu de voisins. Plus un pseudomot a de VO, plus il y a d'activations produites, allongeant le temps de décision, ce qui rend le pseudomot d'autant plus difficile à rejeter (Jacobs & Grainger, 1992). De même, le traitement des pseudomots était ralenti lorsqu'ils ont des VO plutôt que lorsqu'ils n'en ont pas (Johnson & Pugh, 1994).

Second indice important, la fréquence du voisinage : un mot avec un VO plus fréquent est reconnu plus lentement qu'un mot sans VO (Grainger et al., 1989; Mathey & Zagar, 2000; Perea & Pollatsek, 1998 ; pour une revue voir Mathey, 2001). L'effet inhibiteur du VO plus fréquent s'expliquait en termes de compétition entre le seuil d'activation plus bas du VO et le seuil d'activation plus élevé du mot cible. Ainsi, la présence de VO plus fréquents allonge le

temps de reconnaissance du mot cible car l'inhibition de ces VO plus fréquents devra être plus importante, ralentissant la reconnaissance et notamment la sélection du mot cible adéquat parmi tous les candidats. *A contrario*, cette inhibition « supplémentaire » n'est pas nécessaire en l'absence de VO plus fréquents, d'où des temps de reconnaissance plus courts. Le VO moins fréquent n'intervient donc pas dans le processus d'identification du mot, et n'engendre ainsi pas de perturbation (Grainger et al., 1989). De même, un pseudomot ayant un mot comme VO par transposition, soit un VO plus fréquent, est rejeté plus lentement qu'un pseudomot sans VO (Grainger et al., 1989).

Ces effets de densité et de fréquence du voisinage orthographique ont été largement étudiés de façon indépendante notamment sur les temps de réponse (Balota, Aschenbrenner, & Yap, 2013; Balota et al., 2004; Lim, 2016), en tenant compte de la concurrence de l'une sur l'autre (Yap & Balota, 2009), et aussi à partir de bases de données (e.g., Balota et al., 2007; Ferrand et al., 2010; Keuleers, Diependaele, & Brysbaert, 2010; Keuleers, Lacey, Rastle, & Brysbaert, 2011). Enfin, l'effet de voisinage est également influencé par la longueur du mot cible (Pelli et al., 2003). Plus un mot est long, moins il aura de VO possibles. De ce fait, la densité et la fréquence du voisinage ainsi que la longueur du mot sont des caractéristiques qui doivent être contrôlées lors de la manipulation du VO.

La littérature sur l'implication des systèmes M et P ainsi que nos études précédentes suggéraient des interactions entre les traitements visuels précoces et les aspects psycholinguistiques plus tardifs impliqués dans la reconnaissance visuelle de mots écrits, qui pouvaient rendre compte de certains effets d'accès au lexique. Par exemple, une information visuelle globale sur la longueur peut fournir un indice pour réduire la recherche dans le lexique à certains mots et accélérer la décision lexicale, et cette information est de type M. Des interactions entre les deux systèmes parallèles M et P peuvent ainsi fournir des indices utiles pour les traitements lexicaux. Outre ces aspects liés à la forme globale du mot, d'autres

auteurs ont proposé que la dissociation P/M concerne des dimensions plus locales concernant la distinction entre identité de la lettre et position de la lettre à l'intérieur du mot (e.g., Chouake et al., 2012, qui montrait un privilège du système M pour des anagrammes, ou Boden & Giaschi, 2009, qui montraient la prépondérance plus générale du système P).

L'objectif de dernier chapitre était donc de clarifier les rôles de chacun des systèmes visuels au niveau des caractéristiques orthographiques du mot. Les mêmes deux paradigmes expérimentaux ont été utilisés pour dissocier les traitements respectifs des deux systèmes visuels M et P : le filtrage des fréquences spatiales et le paradigme d'isoluminance et de contraste. Comme précédemment, ces techniques psychophysiques permettaient de sélectionner des dimensions typiquement M (forme globale véhiculée par les fréquences spatiales basses et le faible contraste de luminance) ou P (détails véhiculés par les fréquences spatiales moyennes et élevées, et contraste chromatique).

Deux expériences ont été menées chez le normolecteur adulte jeune à qui une tâche de DL était proposée sur des stimuli filtrés à l'aide de chacun des paradigmes visuels. Nous proposons de manipuler le voisinage orthographique (transposition ou substitution de lettres) pour évaluer si le système M, qui véhicule la position, permet une activation plus rapide des représentations en mémoire du mot et de son voisin anagramme, que le système P, qui véhicule l'identité des lettres et serait donc plus pertinent pour les effets de voisinage par substitution.

Les caractéristiques orthographiques des stimuli étaient manipulées pour les mots et pour les pseudomots. Les cibles-pseudomots utilisées étaient directement inspirées de celles créées par Chouake et al. (2012) qui comparaient des pseudomots issus d'anagrammes de mots et des pseudomots non anagrammes de mot. Ces auteurs ont montré que les anagrammes de mots étaient sélectivement sensibles à l'entraînement du système M, du fait du caractère particulièrement crucial du codage de la position des lettres pour les anagrammes. Par

ailleurs, pour évaluer de façon complémentaire ces effets orthographiques, un voisinage par substitution de lettres a été utilisé pour les mots. Ainsi, le matériel se composait de quatre conditions orthographiques : les mots ermites (sans VO), les mots avec un VO plus fréquent obtenus par substitution de lettres, des pseudomots anagrammes par transposition de lettres et des pseudomots ermites.

Plusieurs effets étaient attendus. Tout d'abord, si comme cela a déjà été observé, les informations M et P sont aussi importantes l'une que l'autre dans la reconnaissance du mot, on ne devrait pas observer de traitement préférentiel de l'un ou l'autre système de façon générale. De plus, l'inhibition du VO au cours de l'identification du mot devrait entraîner un effet de voisinage inhibiteur avec un ralentissement global du traitement des mots avec un seul VO plus fréquent par rapport aux mots ermites. De même, le traitement des pseudomots anagrammes devrait être ralenti par rapport aux pseudomots ermites. Enfin, si le système M véhicule sélectivement l'information sur la position des lettres, comme suggéré par Chouake et al. (2012), l'effet inhibiteur du voisinage par transposition, pour les pseudomots, devrait être plus important lorsque la manipulation visuelle privilégie le traitement M. *A contrario*, l'effet inhibiteur du voisinage par substitution, pour les mots nécessitant l'extraction précise de l'identité de la lettre, devrait s'observer lorsque les informations P étaient isolées.

6.2. Filtrage de fréquences spatiales (Expérience 4.1.)

Dans cette première expérience, la dissociation des traitements M et P était opérationnalisée grâce au filtrage direct des fréquences spatiales de la cible dans une tâche de DL. Cette première expérience consistait en une adaptation du paradigme de Boden et Giaschi (2009, voir Expérience 1). Les cibles étaient présentées selon trois conditions de filtrage : non filtrée, conservant l'ensemble des gammes de fréquences spatiales ; filtrée passe-bande isolant une large gamme de fréquences spatiales moyennes et élevées, véhiculées par le système P ;

et filtrée passe-bas, isolant les fréquences spatiales basses et moyennes-basses véhiculées par le système M).

Dans une tâche de DL classique, la cible est généralement présentée jusqu'à ce que le participant ait répondu. Toutefois, nos stimuli, inspirés de ceux créés par Chouake et al. (2012), n'étaient présentés que brièvement ici afin de correspondre au mieux à leurs paramètres expérimentaux.

Plusieurs effets étaient attendus : 1/ un effet du filtre, avec de meilleures performances lorsque la cible était non filtrée plutôt que filtrée, mais sans distinction entre le filtre passe-bande et le filtre passe-bas ; 2/ un effet inhibiteur du VO pour les mots et pour les pseudomots, avec de meilleures performances pour les cibles ermites que pour les cibles avec un VO ; 3/ une interaction entre ces manipulations visuelles et orthographiques, avec systématiquement de meilleures performances en condition non filtrée qu'en conditions filtrées, puis pour les mots, un effet inhibiteur du voisinage préférentiel de la condition filtrée passe-bande par rapport à la condition filtrée passe-bas alors que pour les pseudomots, un effet inhibiteur du voisinage s'observerait spécifiquement pour la condition filtrée passe-bas plutôt que filtrée passe-bande.

Méthode

Participants

Soixante-et-un adultes de langue maternelle française, âgés de 18 à 28 ans ($M = 22.5$ ans ; $ET = 1.9$) ont participé à cette expérience (voir Annexe 1). Ils étaient presque tous étudiants (93%), majoritairement en 1^{ère} et 2^{ème} années de Licence, et la moitié (56%) y a participé dans le cadre de leur cursus. Tous étaient volontaires et naïfs quant aux objectifs et hypothèses de l'expérience. Leur vue était normale ou corrigée à la normale.

Matériel

Les stimuli étaient composés de 120 mots rares (fréquence objective « livre » moyenne : $m = 2.22$; $ET = 3.38$; étendue = [0-18.85]) de la langue française, issus de la base informatisée Lexique 3.8 (New et al., 2001), et de 120 pseudomots (voir Annexe 3). Les mots étaient tous des noms communs de 5 ou 6 lettres, de deux types : des ermites, soit des mots sans VO comme par exemple *koala*, ou des mots ne comprenant qu'un seul VO plus fréquent comme *anuité* (dont le VO plus fréquent est *acuité*). Les deux catégories de mots ont été appariées en fonction du nombre de lettres, du nombre de syllabes, de leur nombre (singulier ou pluriel) et de la fréquence objective de chaque mot (qui correspond ici à la « fréquence livres » de la base Lexique 3).

Les pseudomots étaient également formés de 5 ou 6 lettres et comprenaient des pseudomots anagrammes de mot et des pseudomots ermites, sans VO. Les pseudomots anagrammes ont été construits à partir de mots ermites rares, tout en gardant au maximum la première syllabe et la dernière lettre du mot intactes. Par exemple, le mot *lavabo* devenait le pseudomot *labavo*. Enfin, les pseudomots ermites (par exemple *critan*) ont été librement inspirés d'une liste de pseudomots (Gombert et al., 2000). Il a ensuite été vérifié que les pseudomots construits soient effectivement des ermites et cela grâce au Générateur de voisins orthographiques proposé par Lexique Toolbox (New et al., 2001).

Les images des mots et des pseudomots ont ensuite été créées sur Adobe Photoshop CS5. Leur taille était de 128*128 pixels, soit 2.3° d'angle visuel, et la taille d'une lettre était de 0.47° x 0.36° à 70 cm de l'écran. Les items étaient écrits avec une police Courier New, taille 30, au centre en noir (0.77 cd/m²) sur un fond gris moyen ($L = 16.8$ cd/m²). Pour les besoins de l'expérience, les images étaient enregistrées au format TIFF (.tif).

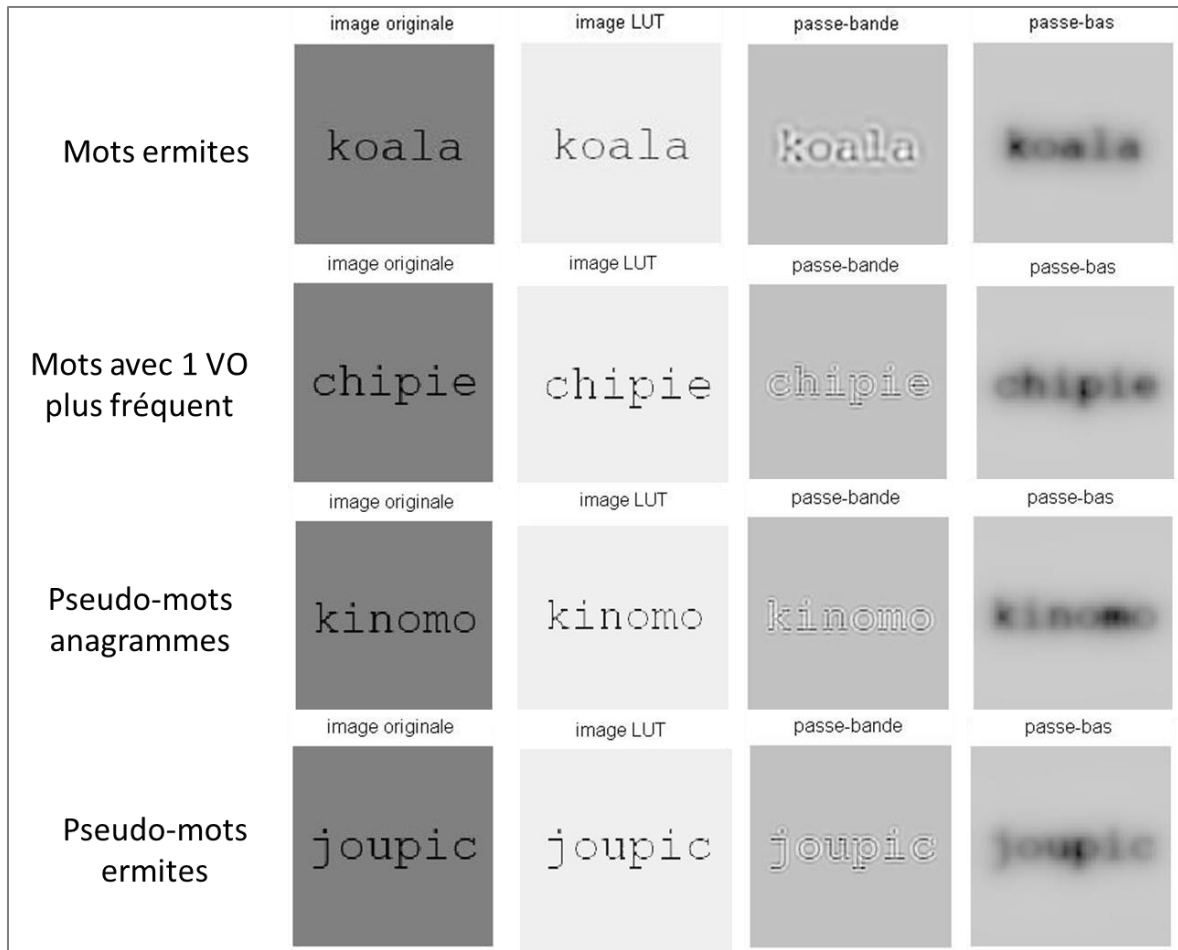


Figure 47. Exemples d'images d'items utilisés avec les différents filtrages correspondant pour l'expérience 4.1.

Les stimuli étaient présentés selon trois conditions : filtrée passe-bande, filtrée passe-bas ou non filtrés, correspondant ainsi à l'image originale enregistrée en niveaux de gris. Chacune des images filtrées comprenait une sélection de 120 niveaux de gris linéaires par l'utilisation d'un tableau LUT (voir Annexe 4). Les images filtrées passe-bas étaient constituées uniquement des fréquences spatiales basses de la version originale alors que les images filtrées passe-bandes n'étaient formées que des fréquences spatiales moyennes. Ces images filtrées ont été obtenues suite à l'application d'un filtre à deux dimensions, créé sous MATLAB, sur l'image originale (voir *Figure 47*). Une transformée de Fourier rapide (FFT) a été mise en œuvre afin de convertir les données d'un domaine spatial à un domaine fréquentiel. Le filtre passe-bas avait une largeur de 5 cycles par image, soit 2.2 cpd (cycles

par degré), correspondant à 2.5 degrés par image. Le filtre passe-bande était centré sur une fréquence spatiale de 17.5 cpd, et laissait passer une fenêtre allant de 7.3 cpd à 27.5 cpd.

Les images étaient traitées avec le logiciel Matlab R2006a en utilisant les outils Traitement du signal et Traitement des images. Enfin, les stimuli étaient présentés sur un écran CRT de 21 pouces (avec une fréquence de rafraichissement de 60 Hz). Les différentes tâches ont été générées et exécutées à l'aide du logiciel Matlab R2006a et de l'extension Matlab Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997; Kleiner, Brainard., & Pelli, 2007; Pelli, 1997). Les luminances étaient mesurées avec un photomètre MINOLTA G100.

Passation expérimentale et procédure

Toutes les passations ont eu lieu dans un box expérimental, et elles étaient individuelles et duraient environ 30 minutes. Il était demandé à tous les participants de remplir et signer un consentement éclairé avant la passation. Les participants prenaient place devant l'écran et se positionnaient sur la mentonnière, assurant ainsi une distance face l'écran de l'ordinateur de 70 cm.

La tâche principale était une DL. Chaque essai se déroulait de la façon suivante (voir *Figure 48*) : une croix de fixation blanche était présentée pendant 250 ms, la cible apparaissait durant 64 ms, puis le fond d'écran était à nouveau présenté jusqu'à la réponse du participant. Il lui était demandé d'estimer, le plus rapidement et le plus correctement possible, si la chaîne de lettres présentée formait un mot de la langue française ou non. Pour répondre, il devait appuyer sur la touche M (main droite¹⁰) s'il s'agissait d'un mot, et sur la touche Q (main gauche) dans le cas contraire.

¹⁰ Le clavier était inversé pour les gauchers (23% de l'effectif), de telle sorte que la réponse « oui » était toujours donnée avec la main préférée du participant, quelle que soit sa latéralité.

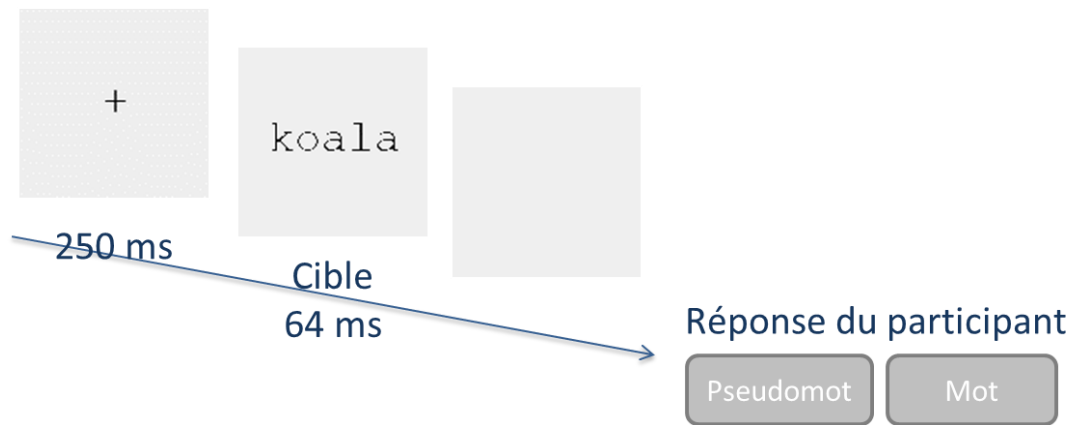


Figure 48. Séquence de trois évènements pour un essai avec pour exemple le mot *koala* ici en condition non filtrée pour l'étude 4.

Un entraînement comprenant 12 stimuli était proposé pour chaque participant. La tâche expérimentale comprenait trois blocs expérimentaux lors lesquels les 240 items étaient présentés. Un premier bloc montrait d'abord systématiquement 80 stimuli non filtrés, puis, dans un ordre différent selon le participant, un bloc de 80 essais avec le filtrage passe-bas et un bloc de 80 autres essais avec le filtrage passe-bande. L'ordre des blocs filtrés passe-bande et passe-bas passés en suivant était contrebalancé entre les participants. Enfin, un débriefing post-expérimental était proposé aux participants permettant le recueil de leurs impressions, de ses questions et de l'informer sur les objectifs de l'étude.

Résultats

Des ANOVAs à mesures répétées ont été menées avec le logiciel Statistica 10.0 sur le pourcentage d'erreurs (%E) et le temps de réponses correctes (TRC), en prenant pour facteur aléatoire le participant (F_1) puis l'item (F_2), et en traitant séparément les mots et les pseudomots. Les ANOVAs pour les participants comprenaient la cible (ermite vs. mot avec un VO plus fréquent pour les mots, ermite vs. anagramme pour les pseudomots) et la condition visuelle de présentation (non filtrée vs. filtrée passe-bande vs. filtrée passe-bas)

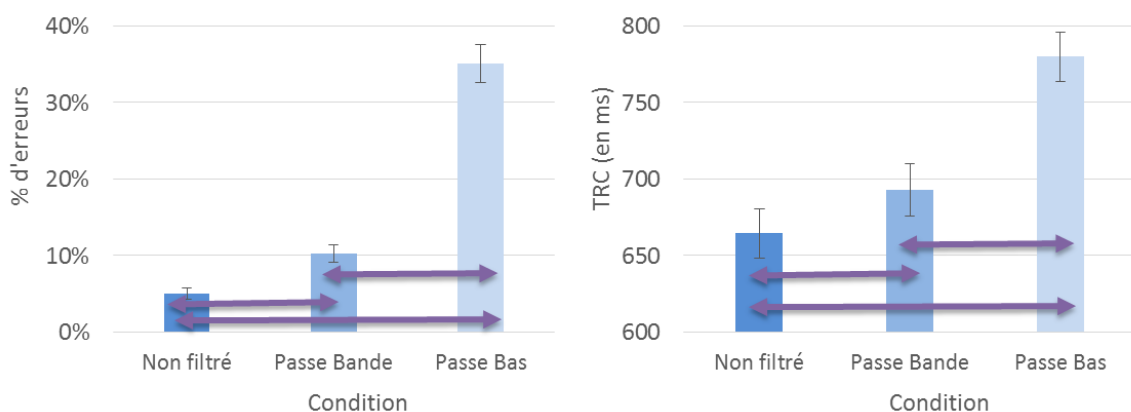
comme facteurs intra-sujets. Des comparaisons planifiées deux à deux (ou contrastes) ont été calculées lorsque cela s'est avéré nécessaire.

Cinq participants (8%), 22 mots (18%) et 18 pseudomots (13%) ont été retirés de l'analyse des données, car leur taux moyen d'erreurs était supérieur à 20%. Ainsi, les données de 56 participants, 98 mots et 102 pseudomots ont été analysées. Pour l'ensemble des participants, le taux moyen d'erreurs était de 13% (ET = 15%) et la rapidité moyenne était de 753 ms (ET = 158).

Mots

L'analyse a montré un effet principal tendanciel de la cible a été observé sur le TRC, $F_1(1, 54) = 3.2$, $p = .078$, $\eta^2 = .06$ et $F_2 = ns$. Le TRC était plus court pour les mots ermites (706 ms) que pour les mots avec un VO plus fréquent (718 ms).

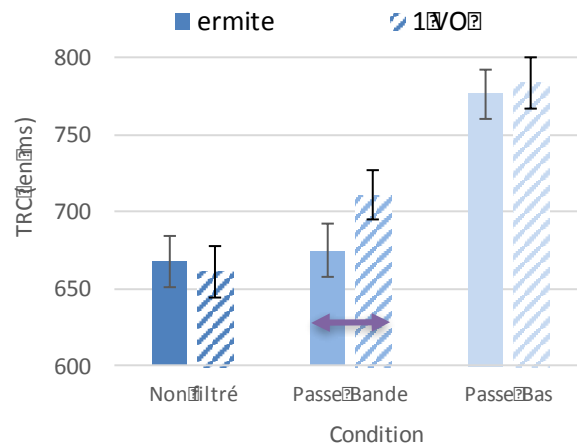
Un effet principal significatif de la condition a été observé sur le %E, $F_1(2, 104) = 136.0$, $p < .001$, $\eta^2 = .72$ et $F_2(2, 192) = 187.1$, $p < .001$, $\eta^2 = .66$, et sur le TRC, $F_1(2, 108) = 79.4$, $p < .001$, $\eta^2 = .60$ et $F_2(2, 192) = 20.9$, $p < .001$, $\eta^2 = .18$ (voir *Figure 49*). Les performances étaient meilleures lorsque les stimuli étaient non filtrés plutôt que filtrés passe-bande, et meilleures lorsqu'ils étaient filtrés passe-bande plutôt que passe-bas.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 49. Effet principal de la condition sur le %E et sur le TRC pour les mots (Expérience 4.1.)

Un effet d'interaction la cible et la condition s'est révélé tendanciel sur le TRC, $F_1(2, 108) = 2.4, p = .090, \eta^2 = .04$ et $F_2 = ns.$ (voir *Figure 50*). L'effet inhibiteur du VO était spécifique à la condition filtrée passe-bande. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.



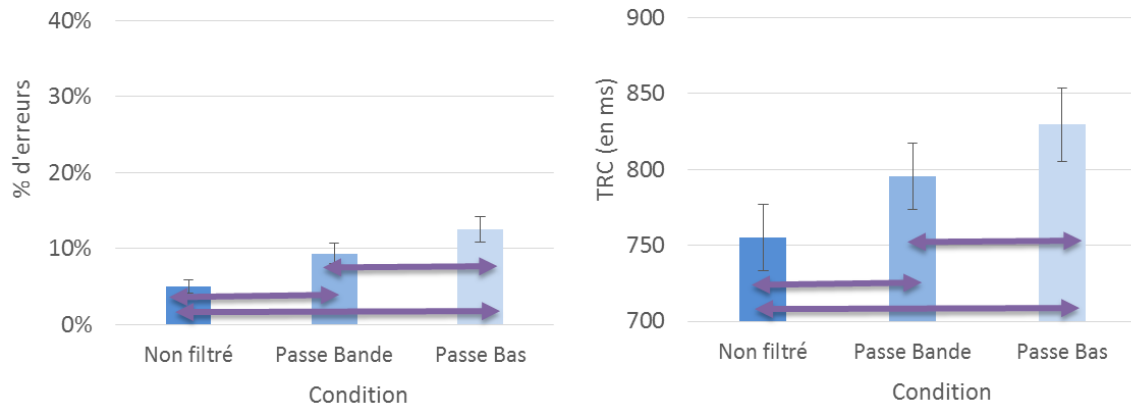
Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 50. Effet d'interaction entre la cible et la condition sur le TRC pour les mots (Expérience 4.1.)

Pseudomots

L'analyse a montré un effet principal significatif de la cible sur le %E, $F_1(1, 54) = 26.6, p < .001, \eta^2 = .33$ et $F_2(1, 100) = 15.0, p < .001, \eta^2 = .13$, et sur le TRC, $F_1(1, 54) = 49.1, p < .001, \eta^2 = .47$ et $F_2(1, 100) = 14.8, p < .001, \eta^2 = .12$. Les performances étaient meilleures pour les pseudomots ermites (7% et 768 ms) que pour les pseudomots anagrammes (11% et 819 ms).

Un effet principal significatif de la condition a été observé sur le %E, $F_1(2, 104) = 19.2, p < .001, \eta^2 = .26$ et $F_2(2, 100) = 25.4, p < .001, \eta^2 = .20$, et sur le TRC, $F_1(2, 104) = 13.1, p < .001, \eta^2 = .20$ et $F_2(2, 200) = 5.0, p = .007, \eta^2 = .05$ (voir *Figure 51*). Les performances étaient meilleures lorsque les stimuli étaient non filtrés plutôt que filtrés passe-bande, et meilleures lorsqu'ils étaient filtrés passe-bande plutôt que filtrés passe-bas. Aucun autre effet n'était significatif.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 51. Effet principal la condition sur le %E et sur le TRC pour les pseudomots (Expérience 4.1.)

Discussion

L'objectif de cette première expérience était de mettre en évidence l'implication des voies M et P en manipulant le voisinage orthographique. Des normolecteurs adultes jeunes réalisaient une tâche de DL, dans laquelle la cible était directement filtrée, biaisant sélectivement les traitements visuels vers le système P en condition filtrée passe-bande ou vers le système M en condition filtrée passe-bas. Trois résultats principaux ont été observés : 1/ un effet principal de la condition visuelle de présentation pour les mots et pour les pseudomots, avec des meilleures performances en condition visuelle classique que lorsque les informations P étaient privilégiées, et encore moins bonnes lorsque les informations M étaient isolées ; 2/ un effet principal inhibiteur du voisinage pour les mots et pour les pseudomots, avec de meilleures performances pour les cibles ermites que les cibles avec un VO, c'est-à-dire les mots avec 1 VO plus fréquent ou les pseudomots anagrammes ; 3/ que cet effet inhibiteur du VO par substitution pour les mots était retrouvé uniquement lorsque les informations P étaient disponibles.

Un effet principal du filtrage a ainsi été mis en évidence avec un traitement systématiquement plus efficace en condition non filtrée, correspondant à une condition visuelle naturelle puisque toutes les gammes de fréquences spatiales étaient présentes. Cet effet démontrait aussi un privilège des fréquences spatiales moyennes et élevées, véhiculées par la voie P, par rapport aux fréquences spatiales basses, dépendantes de la voie M, dans le traitement global des mots et des pseudomots. Jusqu'à présent, les chercheurs avaient privilégié l'implication du système M, notamment parce que celui-ci est considéré comme déficitaire dans la dyslexie (Chouake et al., 2012; Gori et al., 2015; Levy, Walsh, & Lavidor, 2010; Stein, 2014). Néanmoins, Boden et Giashi (2009) montraient également une prépondérance du système P sur le système M dans leur Expérience 1, sans toutefois l'interpréter dans la discussion. Ce résultat ne validait donc que partiellement notre hypothèse de départ, selon laquelle les conditions filtrées dégradent la performance de la même façon. Les informations P étaient ainsi plus efficaces que les informations M, ce qui est cohérent avec le privilège de l'information locale de la lettre dans le mot.

Les résultats ont également globalement permis de répliquer l'effet inhibiteur du VO plus fréquent en termes de rapidité pour les mots (Grainger et al., 1989; Mathey & Zagar, 2006), et sur la rapidité et la précision pour les pseudomots (Acha & Perea, 2008). Un mot ou un pseudomot comportant un VO plus fréquent était reconnu moins rapidement et avec moins de précision qu'un mot ou un pseudomot sans VO plus fréquent (pour une revue, voir Mathey, 2001). La présence du VO plus fréquent ralentissait l'identification de la cible-mot, alors qu'il retardait le traitement et l'inhibition de celui-ci pour que la cible-pseudomot soit rejetée.

En outre, cette expérience montrait que l'effet inhibiteur du voisinage par substitution tendait à varier selon le contenu fréquentiel de la cible et que celui-ci était retrouvé uniquement en condition filtrée passe-bande lorsque les informations P sur les détails et l'identité des lettres

était disponibles¹¹. Autrement dit, les dimensions P permettaient l'activation du mot VO plus fréquent par substitution, qui ralentissaient l'identification de la cible. La dégradation visuelle retardait l'identification du mot, et l'inhibition du VO par substitution avait ainsi le temps de se mettre en place. Lorsque seules les dimensions M étaient disponibles, le VO plus fréquent s'activait moins voire plus du tout, n'engendrant ainsi pas de perturbation dans le traitement de la cible. Cela pouvait aussi s'expliquer par des temps très longs de réponse dus à la dégradation visuelle, et pour lesquels l'inhibition du VO était alors déjà résolue. Ainsi, seules les informations P, et l'information d'identité des lettres constituaient l'information cruciale pour le voisinage par substitution, puisque pour créer un VO par substitution, il suffit de remplacer une lettre du mot par une autre sans en modifier la position. Ce résultat était donc compatible avec nos hypothèses, même s'il est difficile de rendre compte du fait que l'effet inhibiteur ne soit pas également observé pour la condition non filtrée.

Pour les pseudomots, les résultats ne montraient pas d'interaction significative entre le type de cible et le type de filtrage : aucun privilège d'un des deux systèmes M et P n'a donc été mis en évidence dans le traitement du voisinage par transposition qui était donc de même ampleur quelle que soit la condition visuelle. Ce résultat n'est pas compatible avec le bénéfice observé sélectivement dans la condition anagramme par l'entraînement visuel préalable du système M dans le travail de Chouake et al. (2012). Pourtant, le filtrage réalisé dans notre étude avait globalement un effet sur les pseudomots, dont l'effet principal du filtrage montrait que le traitement était moins gêné lorsque les informations de type P étaient isolées relativement aux informations de type M, comme cela a été observé pour les mots.

¹¹ En condition non filtrée, correspondant aux conditions visuelles normales, la compétition lexicale n'avait pas le temps de se mettre en place, du fait d'un temps de présentation de la cible très court dans cette tâche de DL (64 ms).

En résumé, un traitement visuel préférentiel global du système P par rapport au système M a été mis en évidence de façon générale. De plus, un effet inhibiteur du voisinage, par substitution pour les mots et par transposition pour les pseudomots, était répliqué, et cet effet de voisinage par substitution subsistait lorsque les informations P étaient isolées. Les dimensions P étaient donc les plus pertinentes pour véhiculer l'information d'identité des lettres (Breitmeyer, 1993; Majaj et al., 2002; Solomon & Pelli, 1994; Zahabi & Arguin, 2014), le codage précis du stimulus (Grainger et al., 2016) et les détails (Bar, 2003, 2004), corroborant ainsi la littérature. Cette expérience a été répliquée avec le paradigme d'isoluminance et de contraste, dans le but de consolider ces premiers résultats, chez le normolecteur adulte jeune.

6.3. Paradigme d'isoluminance et de contraste (Expérience 4.2.)

Dans cette seconde expérience, nous avons manipulé les contrastes de luminance et de chromaticité afin de dissocier les traitements visuels M et P. Achromatique et sensible au contraste de luminance, les traitements visuels étaient biaisés vers le système M en utilisant un très faible contraste. Sensible aux différences de longueurs d'ondes, les traitements visuels étaient biaisés vers le système P en utilisant des stimuli isoluminants : le stimulus et le fond étaient placés à des seuils de luminance équivalents et ne se différenciaient que par leurs propriétés colorimétriques.

Cette seconde expérience a été encore menée chez le normolecteur adulte jeune. Suite à nos précédents résultats, plusieurs effets étaient attendus : 1/ un effet inhibiteur du voisinage par substitution pour les mots et par transposition pour les pseudomots ; et 2/ une interaction entre ces manipulations visuelles et orthographiques, avec pour les mots, un effet inhibiteur du voisinage préférentiel de la condition stimuli isoluminants par rapport à la condition faible

contraste alors que pour les pseudomots, un effet inhibiteur du voisinage s'observerait indépendamment de la condition visuelle.

Méthode

Participants

Soixante-et-onze adultes de langue maternelle française, âgés de 18 à 40 ans ($M = 19.5$ ans ; $ET = 2.9$) ont participé à cette étude (voir Annexe 1). Tous étaient étudiants, majoritairement en 1^{ère} et 2^{ème} année de Licence, et 60% d'entre eux y ont participé dans le cadre de leur cursus. Ils étaient volontaires, et naïfs quant aux objectifs et hypothèses de l'expérience. Leur vue était normale ou corrigée à la normale.

Matériel

Les stimuli et le matériel utilisés étaient les mêmes que pour la précédente expérience. Les items étaient écrits au centre en noir sur un fond blanc avec une police Courier New, taille 30. Ils étaient présentés en deux blocs selon deux conditions de présentation : soit écrits en rouge ($L = 10.34$; $a^* = 25.37$; $b^* = 16.01$; avec une luminance ajustée pour chaque participant) sur un fond en en vert ($L = 10.70$; $a^* = -21.79$; $b^* = 14.58$; soit une luminance en cd/m^2 de 1.23) pour la condition stimuli isoluminants, soit écrits en gris ($L = 6.09 \text{ cd/m}^2$) sur un fond gris plus foncé ($L = 5.37 \text{ cd/m}^2$) pour la condition faible contraste (ici 6.3% de contraste de Michelson). L'ordre de passation des conditions visuelles était contrebalancé entre les participants.

Concernant l'ajustement individuel de la luminance rouge, les résultats de l'ensemble des participants montraient un seuil de luminance moyen de 1.18 cd/m^2 ($ET = 0.03$; étendue = $[0.76-1.92]$).

Passation expérimentale et procédure

Les passations avaient lieu dans les mêmes conditions que pour l'expérience 2.1. Les participants procédaient en plus à l'ajustement du seuil de luminance. La tâche principale était la même que précédemment, excepté que la cible était présentée pendant 500ms pour compenser la diminution de visibilité, notamment en condition faible contraste (6.3% de contraste de Michelson). Enfin, le débriefing post-expérimental a révélé de fortes difficultés rapportées par de nombreux participants en condition faible contraste.

Résultats

L'analyse des données a été menée avec le logiciel Statistica 10.0. Des ANOVAs à mesures répétées ont été faites sur le pourcentage d'erreurs (%E) et le temps de réponses correctes (TRC), en prenant pour facteur aléatoire le participant (F_1) puis l'item (F_2), et en traitant les mots et les pseudomots séparément. Les ANOVAs comprenaient la cible (ermite vs. mots avec un VO plus fréquent pour les mots, et ermite vs. anagramme pour les pseudomots) et la condition de présentation (stimuli isoluminants ou contraste) comme facteurs intra-sujets. Des comparaisons planifiées deux à deux (ou contrastes) ont été calculées lorsque cela s'est avéré nécessaire.

Quatorze participants (20%), 36 mots (30%) et 19 pseudomots (16%), dont le taux moyen d'erreurs était supérieur à 20%, ont été retirés de l'analyse des données. Ainsi, les données de 57 participants, 84 mots et 101 pseudomots ont été analysées. Pour l'ensemble des participants, le taux moyen d'erreurs était de 9% (ET = 9%) et la rapidité moyenne était de 770 ms (ET = 121).

Mots

L'analyse a montré un effet principal significatif de la condition de présentation sur le %E, $F_1(1, 56) = 7.9$, $p = .007$, $\eta^2 = .12$ et $F_2(1, 82) = 17.5$, $p < .001$, $\eta^2 = .18$, et sur le TRC, $F_1(1, 56) = 109.6$, $p < .001$, $\eta^2 = .66$ et $F_2(1, 82) = 359.3$, $p < .001$, $\eta^2 = .81$. Le %E était plus bas en condition faible contraste (8%) qu'en condition stimuli isoluminants (11%). Le TRC était plus court en condition stimuli isoluminants (733 ms) qu'en condition faible contraste (826 ms).

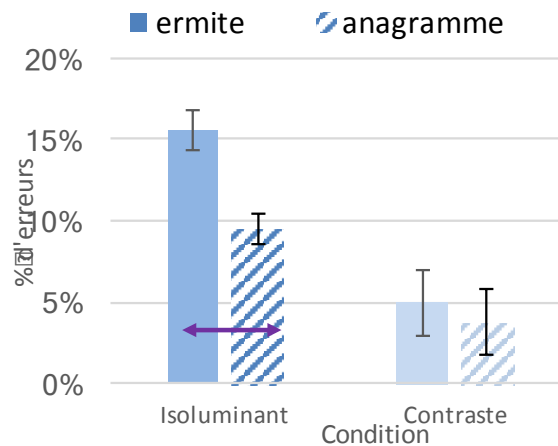
Un effet principal significatif de la cible a été observé sur le %E, $F_1(1, 56) = 17.1$, $p < .001$, $\eta^2 = .23$ et $F_2 = ns$, et sur le TRC, $F_1(1, 56) = 201.7$, $p < .001$, $\eta^2 = .78$ et $F_2 = n.s.$ Les performances étaient meilleures pour les mots ermites (8% et 724 ms) que pour les mots avec un VO plus fréquent (12% et 835 ms). Aucune interaction significative entre ces deux facteurs n'a été observée.

Pseudomots

L'analyse a montré un effet principal significatif de la condition de présentation sur le %E, $F_1(1, 56) = 41.8$, $p < .001$, $\eta^2 = .43$ et $F_2(1, 99) = 21.7$, $p < .001$, $\eta^2 = .18$, et sur le TRC, $F_1(1, 56) = 21.6$, $p < .001$, $\eta^2 = .28$ et $F_2(1, 99) = 425.5$, $p < .001$, $\eta^2 = .81$. Le %E était plus bas en condition faible contraste (4%) qu'en condition stimuli isoluminants (13%), alors que l'inverse a été obtenu pour le TRC : le TRC était plus court en condition stimuli isoluminants (738 ms) qu'en condition faible contraste (782 ms).

Un effet principal significatif de la cible a été observé sur le %E, $F_1(1, 56) = 25.2$, $p < .001$, $\eta^2 = .31$ et $F_2(1, 99) = 20.4$, $p < .001$, $\eta^2 = .17$, et sur le TRC, $F_1(1, 56) = 172.7$, $p < .001$, $\eta^2 = .76$ et $F_2(1, 99) = 26.5$, $p < .001$, $\eta^2 = .21$. Les performances étaient meilleures pour les pseudomots anagrammes (7% et 704 ms) que pour les pseudomots ermites (10% et 816 ms).

Un effet d'interaction entre la cible et la condition de présentation s'est révélé significatif sur le %E, $F_1(1, 56) = 7.9, p = .007, \eta^2 = .12$ et $F_2(1, 92) = 6.3, p = .014, \eta^2 = .06$ (voir *Figure 52*). L'effet facilitateur du VO était spécifique à la condition stimuli isoluminants. Les autres modalités expérimentales ne différaient pas significativement entre elles.



Note : ↔ : les modalités désignées diffèrent significativement entre elles.

Figure 52. Effet d'interaction entre la cible et la condition de présentation sur le %E pour les pseudomots (Expérience 4.2.).

Discussion

L'objectif de cette seconde expérience était de répliquer nos premiers résultats avec le paradigme d'isoluminance et de contraste, qui exploite sur la sensibilité spécifique au contraste de luminance de la voie M et au contraste de chromaticité de la voie P. Deux résultats principaux ont été montrés : 1/ un effet principal du voisinage, inhibiteur pour les mots et facilitateur pour les pseudomots ; 2/ que cet effet facilitateur du voisinage par transposition était spécifique à la condition stimuli isoluminants, lorsque les dimensions P étaient isolées.

Tout d'abord, un effet principal de la condition de présentation visuelle était observé pour les mots et pour les pseudomots, avec un échange rapidité précision (ou *speed-accuracy trade-off*, SATO) entre les conditions stimuli isoluminants et faible contraste. Cet effet SATO

illustre une stratégie employée par les participants, sous la forme d'un ralentissement des latences de réponses au profit d'une meilleure précision. La condition faible contraste induisait donc relativement à la condition stimuli isoluminants et de par la forte dégradation visuelle opérée, un certain degré d'incertitude pour le participant. Étant donné que le temps de présentation était limité et que l'observateur devait produire une réponse dans le temps imparti, celui-ci aurait échangé sa rapidité pour plus de précision afin d'accomplir le traitement de la cible avec succès (e.g., Liu & Watanabe, 2012). De plus, les mots rares utilisés ici accentuaient sûrement la difficulté éprouvée par le participant. Ce résultat ne permettait donc pas de conclure sur la prévalence d'un système visuel sur l'autre dans cette expérience.

Les résultats ont aussi démontré un effet principal du VO différencié pour les mots et pour les pseudomots. Pour les mots, cet effet était inhibiteur et compatible avec la littérature et nos résultats obtenus dans l'expérience 4.1. Cependant, pour les pseudomots, un effet facilitateur était obtenu contrairement à nos attentes et à nos précédents résultats. La présence du VO, en l'occurrence le mot anagramme, facilitait le rejet du pseudomot, plutôt que de lui nuire. De plus, cet effet dépendait des informations P, privilégiées dans la condition stimuli isoluminants. Les informations sur le détail et sur l'identité des lettres engendraient donc l'activation VO mot anagramme, mais aussi son inhibition efficace, qui favorisait alors le rejet du pseudomot. Il faut noter que les mots, à partir desquels les pseudomots anagramme ont été construits, ne possédaient pas de VO. Aussi, lorsque ce mot anagramme, VO par transposition, était inhibé, il n'y avait plus de candidats possibles à la compétition lexicale, d'où le rejet facilité de la cible-pseudomot. A contrario, les informations sur la position des lettres, dépendantes des informations M, ne permettaient pas l'activation du VO, qui n'occasionnait donc pas de facilitation ou de gêne quant au rejet de la cible-pseudomot.

Ces effets étaient néanmoins à prendre avec précaution. En effet, le SATO observé, et induit par les conditions visuelles dégradées, avait engendré des stratégies de la part des participants. Les participants étaient plus rapides, mais moins précis en condition P, alors qu'ils étaient plus précis, mais moins rapides en condition M. L'absence d'effet dans cette dernière condition était possiblement imputable à la mise en place de ces stratégies, et ne reflèterait donc pas la réalité des processus mis en jeu.

En résumé, cette expérience ne répliquait que très partiellement les résultats de l'Expérience 4.1. L'effet inhibiteur du voisinage par substitution pour les mots ne variait plus en fonction des traitements visuels isolés. Cependant, un effet facilitateur, et non plus inhibiteur, du voisinage par transposition pour les pseudomots a été mis en évidence. Celui-ci dépendait exclusivement des informations P, suggérant donc que l'identité des lettres constituait la dimension critique de ce type de voisinage, et non le codage de la position des lettres. Ce privilège des informations P était contraire à nos hypothèses, et correspondait à ce qui était attendu pour le voisinage par substitution de lettres pour les mots et à ce qui a été observé dans l'expérience précédente. Il est possible que les conditions visuelles très difficiles (trois fois plus de participants, qui faisaient plus de 20% d'erreur, ont été exclus dans cette expérience relativement à la précédente) ont provoqué la mise en place de stratégies de réponse qui ont contrecarré l'effet des variables expérimentales.

6.4. Conclusion

L'étude 4 avait pour objectif de préciser les rôles respectifs des systèmes M et P lorsque les informations orthographiques étaient manipulées chez le normolecteur adulte, en l'occurrence le VO. Les deux paradigmes visuels déjà utilisés dans le chapitre 1 ont été à nouveau comparés ici dans leur capacité à dissocier les traitements respectifs des deux systèmes visuels P et M : le filtrage des fréquences spatiales et le paradigme d'isoluminance

et de contraste. Ces techniques psychophysiques permettaient de sélectionner des dimensions typiquement M (forme globale véhiculée par les fréquences spatiales basses et par le contraste de luminance) ou P (détails véhiculés par les fréquences spatiales moyennes et élevées, et par le contraste chromatique). Le VO était ensuite manipulé en parallèle par du voisinage par substitution pour les mots et du voisinage par transposition pour les pseudomots.

Nos deux expériences ont permis de répliquer l'effet inhibiteur du VO plus fréquent pour les mots (pour une revue, voir Mathey, 2001), effet attendu et démontré à plusieurs reprises en langue française. Toutefois que l'effet inhibiteur du VO pour les pseudomots observés dans l'expérience 4.1. devenait facilitateur dans l'expérience 4.2. Cette différence pouvait être due aux manipulations visuelles très délétères employées ici, et notamment à la mise en place de stratégies de la part des participants dans la seconde expérience.

Parallèlement, l'interaction entre les facteurs visuels et les facteurs orthographiques s'est révélée significative pour les deux expériences bien que de façon différente. Les résultats en filtrage de fréquence spatiale confirmaient globalement que le voisinage par substitution, dont la dimension critique était l'identité de la lettre, était possible uniquement lorsque les informations P étaient disponibles via les fréquences spatiales moyennes et élevées. Cette prépondérance des informations P sur les informations M pour ce type de voisinage n'était cependant pas reproduite en condition stimuli isoluminants. Toutefois, la présentation de stimuli isoluminants montrait que les informations P étaient aussi prépondérantes pour le voisinage par transposition pour les pseudomots, pour lequel la position des lettres constituait l'information cruciale, contrairement à nos attentes selon lesquelles le système M aurait dû prendre en charge de façon privilégiée le traitement de la position de la lettre, déterminante pour ce type de voisinage.

Les résultats en isoluminance et contraste étaient difficiles à réconcilier avec en filtrage des fréquences spatiales, puisque la mise en place de stratégies de réponses ont certainement

empêché la mesure correcte des effets de voisinage : l'effet de voisinage était insensible au type de manipulation visuelle pour les mots, et il était facilitateur, plutôt qu'inhibiteurs, pour les pseudomots. Quoi qu'il en soit, l'ensemble de ces résultats n'apportait pas d'arguments supplémentaires à la double dissociation M et P à l'intérieur des traitements orthographiques du mot. Il semble au contraire que le système P soit essentiellement impliqué dans l'effet de voisinage, ce qui est conforme avec le privilège de l'information locale de la lettre dans les modèles de reconnaissance des mots. Il semble que l'activation de voisin de différents types (par substitution ou par transposition de lettre) soit trop subtile et pas assez robuste pour résister à la diminution de visibilité que la manipulation visuelle implique.

Afin d'étayer les résultats obtenus et de confirmer une influence privilégiée du système P du voisinage orthographique, il serait nécessaire de mener une nouvelle expérience en utilisant d'autres types de voisinage comme le voisinage par addition ou par suppression d'une lettre. De plus, pour mieux tester la double dissociation des deux sous-systèmes visuels et notamment l'importance du système M pour le codage de la position de la lettre, il pourrait être opportun d'utiliser un effet psycholinguistique moins indirect que celui du VO, par exemple en comparant l'effet d'amorces, formées de répétitions ou d'anagrammes partiels du mot cible, respectant ou non la position (tab## vs. #tab# ou #abl# vs. #alb# pour la cible TABLE).

En définitive, la manipulation du VO a permis de montrer que les effets de visibilité et d'amorçage observés dans nos études précédentes dépendaient en fait des caractéristiques orthographiques, et surtout que le codage de l'identité des lettres constitue l'information déterminante dans l'identification du mot écrit. De plus, nos résultats corroboraient également le traitement spécifique de cette information par le système P. Encore une fois, le traitement des informations locales dans le mot était donc prépondérant, comparativement au traitement global.

DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE

Ce travail de thèse avait pour objectif principal de documenter le rôle respectif des systèmes M et P dans le traitement du langage écrit, chez le normolecteur adulte jeune et l'enfant lecteur novice. Étant donné le peu d'arguments expérimentaux antérieurs en faveur de cette dissociation pour le langage écrit, excepté pour des aspects pathologiques dans la dyslexie (e.g., Gori et al., 2015; Stein, 2014), notre stratégie a été d'étudier plusieurs dimensions du matériel verbal (lettre, forme globale large et fine du mot, et caractéristique orthographique du mot) en variant le niveau de traitement. Nous avons décidé de recueillir un ensemble de données susceptibles de démontrer le privilège de l'un ou l'autre des systèmes dans des circonstances variées, plutôt que de fouiller une seule de ces situations pour déterminer plus finement les traitements. Nous nous sommes donc intéressés à la lettre (Etude 1), unité de base du mot, à des caractéristiques physiques du mot comme la longueur (Etude 2) et l'enveloppe du mot (Etude 3), ainsi qu'à une caractéristique orthographique qu'est le voisinage orthographique (Etude 4). D'une façon générale, la comparaison de ces quatre parties expérimentales montre effectivement une dissociation entre traitements visuels M (longueur) et P (lettre, enveloppe, voisinage orthographique). La représentation visuelle du mot ne se base donc pas exclusivement sur un traitement visuel local fondé sur la lettre : la forme très globale signalant la longueur du mot semble être une dimension importante, de type M, qui est mobilisée par la présentation d'un mot isolé présenté centralement, et pas seulement lors de l'exploration oculaire pendant la lecture de texte. Il était en effet connu que la longueur du mot constitue une dimension critique pour l'exploration oculaire parafovéale, en permettant notamment l'ajustement des saccades oculaires (Morris et al., 1990). Nos

résultats complètent ces travaux en montrant que cette information est également utile pour l'accès lexical dans le traitement de mots écrits isolés. Certes, il apparaît également que le système P est important et largement utilisé pour d'autres dimensions dans le traitement visuel, ce qui n'est pas surprenant eu égard à la prépondérance de la lettre et du trait des lettres dans la plupart des modèles d'identification du mot écrit (e.g., Davis, 2006; McClelland & Rumelhart, 1981 ; pour une revue, voir Grainger et al., 2016).

Plus précisément, l'étude 1 montrait une prévalence des informations P dans le traitement de la lettre dans une tâche de jugement de l'identité de lettre, corroborant la littérature sur le sujet, selon laquelle les informations P véhiculent spécifiquement les informations sur l'identité de la lettre (Breitmeyer, 1993; Majaj et al., 2002; Solomon & Pelli, 1994; Vidyasagar, 1999; Zahabi & Arguin, 2014). Nos données soutenaient également les travaux de Morais (1994) qui définissaient l'identité abstraite de la lettre comme une information rassemblant son nom et les allographes possibles, c'est-à-dire les formes visuelles que la lettre peut prendre, en fonction de la casse par exemple. Ces informations étaient véhiculées préférentiellement par le système P. Toutefois, il faut noter que les informations M étaient pertinentes, dans une moindre mesure, pour identifier les lettres, mais moins efficaces que le système P pour identifier les allographes. Certaines informations semblent donc codées de façon redondante par les deux systèmes M et P.

L'étude 2 démontrait que la longueur du mot, qui dépend bien sûr du nombre de lettres, mais qui ne passe pas forcément par l'analyse locale des lettres, tout comme « la forêt précède les arbres » pour les objets (Navon, 1977), est une dimension visuelle précoce du mot, traitée de façon automatique, de type M, qui améliore les traitements. Lorsqu'une amorce congruente, une simple forme visuelle non signifiante de même longueur que la cible, est présentée, la DL est facilitée relativement à la situation où l'amorce est incongruente, plus courte ou plus longue. L'absence d'une amorce contrôle (i.e., qui ne présentait pas d'information sur la

longueur du mot) ne nous permet pas de conclure si cet effet d'amorçage global recouvre un bénéfice de l'amorce congruente, un coût de l'amorce incongruente, ou les deux. Si ces effets étaient plutôt robustes chez le normolecteur adulte, le lecteur novice semblait utiliser également cette information visuelle de bas niveau, qui était alors véhiculée aussi bien par le système M et par le système P.

L'étude 3 confirmait que l'enveloppe du mot était également une primitive visuelle utile du mot. Un amorçage global par une amorce visuelle non significative indiquant la forme globale de chaque lettre du mot cible a été obtenu : l'amorce incongruente détériorait les traitements relativement à l'amorce congruente, mais cet amorçage était essentiellement inhibiteur, puisque l'amorce congruente ne se différenciait pas significativement de l'amorce contrôle. Toutefois, contrairement à nos attentes, cette dimension dépendait spécifiquement des informations P. L'enveloppe n'était donc pas une dimension de forme globale aussi précoce que la longueur du mot, mais elle reposait en fait sur le codage local de la forme globale des lettres dont elle doit être dérivée dans un second temps. Cet amorçage de l'enveloppe peut s'expliquer dans le cadre de l'hypothèse de réduction de l'incertitude (Paap et al., 1984), par le fait que l'enveloppe incongruente, issue du codage de la forme globale des lettres, venait contrarier le processus d'inhibition des autres candidats activés en mémoire en ajoutant une information non pertinente supplémentaire. Les données chez le lecteur novice montraient que l'enveloppe du mot influençait l'identification du mot écrit de façon différente que chez l'adulte puisque l'amorçage montrait seulement un bénéfice (i.e. l'amorce congruente aide) dans des conditions visuelles normales, alors que dans les deux conditions visuelles dégradées, c'est l'amorce incongruente qui aidait la DL. Puisque le lecteur novice a majoritairement recours à la procédure d'assemblage, l'ajout d'une information pertinente venait faciliter la sélection du candidat adéquat, et les manipulations visuelles vers le système P ou M semblaient empêcher cette sélection.

Enfin, l'étude 4 indiquait que le voisinage orthographique dépendait également des informations P. La manipulation du contenu fréquentiel montrait que les informations P étaient primordiales pour engendrer l'activation du VO par substitution, qui gênait alors l'identification du mot écrit. Parallèlement, la manipulation des contrastes de luminance et de chromaticité démontrait alors un rôle tout aussi important des informations P pour permettre l'activation, non plus du VO par substitution, mais du VO par transposition, et surtout son inhibition efficace, facilitant le rejet du pseudomot. Le codage de l'identité des lettres était encore une fois l'information cruciale et ce pour les deux types de voisinage manipulé dans cette étude. Les paradigmes visuels provoquaient des effets hétérogènes, et contraires à nos attentes dans le cas du voisinage par transposition de lettre pour les pseudomots.

Ainsi, dans l'ensemble, les données venaient conforter la littérature et le privilège de la lettre, une dimension P (Breitmeyer, 1993; Majaj et al., 2002; Solomon & Pelli, 1994; Vidyasagar, 1999; Zahabi & Arguin, 2014), dans l'identification du mot écrit (Pelli et al., 2003). Le mot est identifié comme une combinaison de lettres et le système P joue donc un rôle primordial dans l'identification du mot écrit. Hormis les travaux sur la lettre, peu d'études avaient montré un privilège des informations P (e.g., Boden & Giaschi, 2009).

Nos données ont également permis de préciser le rôle du système M pour la dimension de longueur du mot pour le traitement de mots isolés. Par ailleurs, le système M fournissait souvent une information redondante au système P, sur l'identité de la lettre par exemple. En définitive, l'ensemble de ce travail a montré que le système P jouait un rôle crucial pour l'identification du mot écrit, mais aussi que le système M, bien que son rôle soit plus mineur, influençât les traitements visuels, un résultat assez proche de celui obtenu récemment sur la distinction voie dorsale et ventrale en ERP (Winsler, Holcomb, Midgley, & Grainger, 2017). Il serait intéressant de poursuivre cette piste de travail sur le rôle du traitement M en travaillant sur la dimension de position de la lettre, que nous n'avons abordé que de façon

assez indirecte et sans grand succès dans l'étude 4. Des études antérieures avaient d'ailleurs montré un traitement privilégié du système M des lettres flanquées (Omtzigt et al., 2002; Zahabi & Arguin, 2014). De même les interactions du système M sur le système P n'ont pas pu être isolées expérimentalement, malgré la tentative infructueuse dans l'étude 1 de la condition notch.

Ensuite, une tâche de jugement de la forme des lettres, par exemple par un changement de consigne dans une procédure similaire à celle de l'expérience 1, permettrait de mettre l'accent sur la forme visuelle des lettres et non plus sur l'identité de celle-ci (Chen & Proctor, 2012; Lupyan et al., 2010), ce qui devrait compléter nos données et aider à rapprocher les effets de ce qui est observé sur les objets. L'effet de l'enveloppe du mot pourrait également être prolongé par une analyse a posteriori de la fréquence de l'enveloppe du mot, un facteur contrôlé par Lété et Pynte (2003), qui n'était pas pris en compte ici.

Enfin, dans l'optique d'étayer et de confirmer nos résultats, il pourrait également être opportun de transposer ces travaux en psychophysique dans le domaine de l'imagerie et notamment par l'étude des activations cérébrales. Les circuits neuronaux mis en jeu dans nos tâches, avec notamment l'intégration des activations de la voie dorsale et de la voie ventrale ou l'analyse des composantes précoces des tracés EEG devraient apporter des arguments complémentaires sur l'implication des deux sous-systèmes visuels.

Ce travail de thèse a également permis de comparer deux opérationnalisations différentes pour biaiser les traitements vers le système P ou M : le filtrage des fréquences spatiales et le paradigme d'isoluminance et de contraste. Ces deux opérationnalisations ont parfois donné des résultats différents, soit que l'une échouait à montrer la dissociation mise en évidence avec l'autre, soit qu'elles montraient des résultats opposés. Ces paradigmes ont déjà été critiqués, pour leur incapacité à dissocier complètement les deux systèmes M et P, par le fort recouvrement de gamme des fréquences spatiales, ou par le fait que les deux systèmes

répondaient au contraste de luminance (Skottun & Skoyles, 2008; Smith, Lee, Pokorny, Martin, & Valberg, 1992). Effectivement, la condition de faible contraste privilégiant le système M n'était peut-être pas suffisamment restrictive, et pouvait laisser passer des informations P. En ce sens, des études avaient montré que le système M ne doit pas être considéré comme un acteur unique dans le traitement de la luminance (Chatterjee & Callaway, 2002), que le système P y participe également (Skottun & Skoyles, 2008; Smith, Lee, Pokorny, Martin, & Valberg, 1992), et ce pour des seuils de contraste très faible inférieur à 2% (Legge, 1978). Dans ce travail de thèse, un seuil de contraste inférieur à 8% avait été paramétré pour la condition faible contraste (e.g., Hicks et al., 1983; Lee et al., 1990; Solomon et al., 2002; Tootell et al., 1988), mais cette précaution était peut-être insuffisante.

Les données de l'étude 4 montraient aussi une divergence entre les deux paradigmes visuels. Un privilège des informations P était observé quel que soit le type de voisinage. Pourtant, dans le voisinage par transposition de lettre (anagramme), l'information critique entre un mot et son voisin était la position des lettres, dimension attribuée au système M (Cornelissen et al., 1998). La condition faible contraste, M, n'était donc peut-être pas la seule à être problématique. La condition stimuli isoluminants, favorisant le système P, pouvait aussi être contestée du fait d'une activité résiduelle des neurones M (Skottun, 2013a). Nos résultats suggéraient donc une dissociation plus efficace grâce au filtrage des fréquences spatiales, relativement au paradigme d'isoluminance et de contraste, et il serait complémentaire de confirmer nos données avec d'autres techniques expérimentales, en utilisant un piédestal de luminance par exemple (Delord et al., 2006; Pokorny, 2011).

Les données chez l'enfant lecteur novice étaient à prendre avec précaution. En effet, les tâches et les conditions expérimentales apparaissaient comme trop complexes pour eux. Nous avons peut-être anticipé leurs compétences, tant visuelles que langagières. Dans un premier temps, il serait intéressant de construire un matériel langagier spécifique à leur niveau

de lecture. En effet, les mots ont d'abord été sélectionnés pour le normolecteur adulte, puis ils ont été réévalués a posteriori, afin de vérifier s'ils étaient connus des enfants scolarisés en CM1. Toutefois, étant donné qu'il s'agissait de mots moyennement rares en termes de fréquence lexicale pour le normolecteur adulte, ces mots étaient très probablement connus, mais beaucoup plus rares pour l'enfant lecteur novice. Il faudrait ensuite retravailler les paradigmes expérimentaux pour qu'ils conviennent mieux aux aptitudes des enfants, et ce notamment en termes de durée de passation.

Un phénomène intéressant était que les données chez l'enfant ne montraient pas de privilège d'un système visuel sur l'autre ; et ce même lorsqu'un privilège avait été mis en évidence chez le normolecteur adulte. Ceci est cohérent avec les études en neuroimagerie (Pugh et al., 2000; Rueckl & Seidenberg, 2009; Sandack et al., 2012) et s'expliquait sans doute par la notion de passage de la voie d'assemblage au début de l'apprentissage de la lecture à la voie d'adressage lorsque l'identification du mot écrit est automatisée. L'assemblage, et notamment l'importance des informations visuo-spatiales (Frith, 1985), reposerait donc sur le système M, et la comparaison des formes visuelles des lettres, mis en évidence dans l'étude 1. L'adressage, et surtout le recours efficace à l'identité abstraite des lettres (Morais, 1994), reposerait quant à lui sur le système P. Cette transition d'un recours initial au système M, à un recours plus massif au système P s'expliquerait dans le cadre du mécanisme de recyclage neuronal (Dehaene & Cohen, 2007), et de la spécialisation d'une partie de la voie P pour le matériel verbal assurant ainsi une reconnaissance rapide des lettres et des groupes de lettres. Cette spécialisation s'opère durant l'apprentissage de la lecture et est fortement influencée par l'exposition à l'écrit.

De ce fait, le niveau de lecture des participants, mesuré grâce au test de l'Alouette-R, donnait une indication globale de la vitesse de lecture à voix haute. Les analyses des données, prenant en compte cet indice en covariable, montraient assez souvent que les effets observés

dépendaient du niveau de lecture des participants. Bien que ceci n'ait été discuté que de façon secondaire dans cette thèse, cette observation nous conduit à penser que les habiletés lexicales des lecteurs doivent être prises en compte dans des travaux ultérieurs (Andrews, 2015).

En conclusion, l'approche *coarse-to-fine* a donc permis de mettre à jour des interactions entre traitements visuels et traitements psycholinguistiques et démontre tout l'intérêt qu'il y a à approcher les phénomènes de façon pluridisciplinaire. Des processus visuels précoces similaires semblent à l'œuvre, quelle que soit la nature du stimulus, objets, scènes ou mots (e.g., Bar et al., 2006; Goffaux et al., 2011; Schyns & Oliva, 1994). Ce travail de recherche apportait donc un éclairage sur les implications des systèmes M et P dans le traitement du langage écrit, en démontrant l'importance des informations P, mais également la participation du système M dans l'identification du mot écrit. La prise en considération de cet aspect dans les recherches futures représente un enjeu majeur pour la compréhension des traitements visuels précoces dans la reconnaissance visuelle d'un matériel verbal, et notamment dans le cas de la dyslexie développementale, présentant un déficit M.

RÉFÉRENCES

- Aaron, P. G. (1997). The Impending Demise of the Discrepancy Formula. *Review of Educational Research*, 67(4), 461-502. <https://doi.org/10.3102/00346543067004461>
- Acha, J., & Perea, M. (2008). The effects of length and transposed-letter similarity in lexical decision: evidence with beginning, intermediate, and adult readers. *British Journal of Psychology* (London, England: 1953), 99(Pt 2), 245-264. <https://doi.org/10.1348/000712607X224478>
- Adams, M. J. (1979). Models of word recognition. *Cognitive Psychology*, 11(2), 133-176. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(79\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0010-0285(79)90008-2)
- Adams, M. J. (1990). *Beginning to Read*. Cambridge, MA, USA: MIT Press. Consulté à l'adresse <https://mitpress.mit.edu/books/beginning-read>
- Adams, R. J., & Courage, M. L. (2002). Using a single test to measure human contrast sensitivity from early childhood to maturity. *Vision Research*, 42(9), 1205-1210. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(02\)00038-X](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(02)00038-X)
- Aghababian, V., & Nazir, T. A. (2000). Developing normal reading skills: aspects of the visual processes underlying word recognition. *Journal of Experimental Child Psychology*, 76(2), 123-150. <https://doi.org/10.1006/jecp.1999.2540>
- Alario, F.-X., De Cara, B., & Ziegler, J. C. (2007). Automatic activation of phonology in silent reading is parallel: Evidence from beginning and skilled readers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 97(3), 205-219. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2007.02.001>
- Albright, T. D. (1984). Direction and orientation selectivity of neurons in visual area MT of the macaque. *Journal of Neurophysiology*, 52(6), 1106-1130.
- Allen, P. A., & Emerson, P. L. (1991). Holism Revisited: Evidence for Parallel Independent Word-Level and Letter-Level Processors During Word Recognition. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception & Performance*, 17(2), 489.
- Allen, P. A., Madden, D. J., & Slane, S. (1995). Visual word encoding and the effect of adult age and word frequency. In Philip A. Allen and Theodore R. Bashore (Éd.), *Advances in Psychology* (Vol. Volume 110, p. 30-71). North-Holland. Consulté à l'adresse <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166411506800658>
- Allen, P. A., Madden, D. J., Weber, T. A., & Groth, K. E. (1993). Influence of age and processing stage on visual word recognition. *Psychology and Aging*, 8(2), 274-282.

- Allen, P. A., Smith, A. F., Groth, K. E., Pickle, J. L., Grabbe, J. W., & Madden, D. J. (2002). Differential age effects for case and hue mixing in visual word recognition. *Psychology and Aging, 17*(4), 622-635.
- Allen, P. A., Smith, A. F., Lien, M.-C., Kaut, K. P., & Canfield, A. (2009). A multistream model of visual word recognition. *Attention, Perception, and Psychophysics, 71*(2), 281-296.
- ANAES, Service des références médicales. (1997). *Indications de l'orthophonie dans les troubles du langage écrit chez l'enfant*. Paris.
- Andrews, S. (1982). Phonological recoding: Is the regularity effect consistent? *Memory & Cognition, 10*(6), 565-575. <https://doi.org/10.3758/BF03202439>
- Andrews, S. (1989). Frequency and Neighborhood Effects on Lexical Access: Activation or Search? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 15*, 802-814. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.15.5.802>
- Andrews, S. (1997). The effect of orthographic similarity on lexical retrieval: Resolving neighborhood conflicts. *Psychonomic Bulletin & Review, 4*(4), 439-461. <https://doi.org/10.3758/BF03214334>
- Andrews, S. (2015). Individual differences among skilled readers: The role of lexical quality. In A. Pollatsek & R. Treiman (Éd.), *Oxford library of psychology. The Oxford handbook of reading* (p. 129-148). New-York: Oxford University Press.
- Ans, B., Carbonnel, S., & Valdois, S. (1998). A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychological Review, 105*(4), 678-723.
- Anstis, S. M. (1974). Letter: A chart demonstrating variations in acuity with retinal position. *Vision Research, 14*(7), 589-592.
- Arguin, M., Fiset, S., & Bub, D. (2002). Sequential and parallel letter processing in letter-by-letter dyslexia. *Cognitive Neuropsychology, 19*(6), 535-555. <https://doi.org/10.1080/02643290244000040>
- Aso, K., Watanabe, K., Negoro, T., Takaetsu, E., Furune, S., Takahashi, I., ... Nomura, K. (1988). Developmental changes of pattern reversal visual evoked potentials. *Brain and Development, 10*(3), 154-159. [https://doi.org/10.1016/S0387-7604\(88\)80019-6](https://doi.org/10.1016/S0387-7604(88)80019-6)
- Atkinson, J. (2002). *The Developing Visual Brain*. Oxford University Press UK.
- Baciu, M., Ans, B., Carbonnel, S., Valdois, S., Juphard, A., Pachot-Clouard, M., & Segebarth, C. (2002). Length effect during word and pseudo-word reading. An event-related fMRI study. *Neuroscience Research Communications, 30*(3), 155-165. <https://doi.org/10.1002/nrc.10027>
- Backman, J., Bruck, M., Hebert, M., & Seidenberg, M. S. (1984). Acquisition and use of

- spelling-sound correspondences in reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, 38(1), 114-133. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(84\)90022-5](https://doi.org/10.1016/0022-0965(84)90022-5)
- Baddeley, A. D., Thomson, N., & Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14(6), 575-589. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(75\)80045-4](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(75)80045-4)
- Balota, D. A., Aschenbrenner, A. J., & Yap, M. J. (2013). Additive Effects of Word Frequency and Stimulus Quality: The Influence of Trial History and Data Transformations. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 39(5), 1563-1571. <https://doi.org/10.1037/a0032186>
- Balota, D. A., & Chumbley, J. I. (1984). Are lexical decisions a good measure of lexical access? The role of word frequency in the neglected decision stage. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10(3), 340-357.
- Balota, D. A., Cortese, M. J., Sergent-Marshall, S. D., Spieler, D. H., & Yap, M. J. (2004). Visual Word Recognition of Single-Syllable Words. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(2), 283-316. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.2.283>
- Balota, D. A., Yap, M. J., Cortese, M. J., Hutchison, K. A., Kessler, B., Loftis, B., ... Treiman, R. (2007). The English Lexicon Project. *Behavior Research Methods*, 39(3), 445-459.
- Bar, M. (2003). A cortical mechanism for triggering top-down facilitation in visual object recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(4), 600-609. <https://doi.org/10.1162/089892903321662976>
- Bar, M. (2004). Visual objects in context. *Nature Reviews. Neuroscience*, 5(8), 617-629. <https://doi.org/10.1038/nrn1476>
- Bar, M., Kassam, K. S., Ghuman, A. S., Boshyan, J., Schmid, A. M., Dale, A. M., ... Hari, R. (2006). Top-down facilitation of visual recognition. *PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(2), 449-454.
- Barton, J. J. S., Hanif, H. M., Eklinder Björnström, L., & Hills, C. (2014). The word-length effect in reading: A review. *Cognitive Neuropsychology*, 31(5-6), 378-412. <https://doi.org/10.1080/02643294.2014.895314>
- Bednarek, D. B., & Grabowska, A. (2002). Luminance and chromatic contrast sensitivity in dyslexia: the magnocellular deficit hypothesis revisited. *Neuroreport*, 13(18), 2521-2525. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000048921.00321.35>
- Beech, J. R., & Mayall, K. A. (2005). The word shape hypothesis re-examined: evidence for an external feature advantage in visual word recognition. *Journal of Research in Reading*, 28(3), 302-319. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2005.00271.x>
- Benedek, G., Benedek, K., Kéri, S., & Janáky, M. (2003). The scotopic low-frequency spatial

- contrast sensitivity develops in children between the ages of 5 and 14 years. *Neuroscience Letters*, 345(3), 161-164. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(03\)00520-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(03)00520-2)
- Benedek, G., Horváth, G., Kéri, S., Braunitzer, G., & Janáky, M. (2016). The Development and Aging of the Magnocellular and Parvocellular Visual Pathways as Indicated by VEP Recordings between 5 and 84 Years of Age. *Vision*, 1(1), 7. <https://doi.org/10.3390/vision1010007>
- Ben-Shachar, M., Dougherty, R. F., Deutsch, G. K., & Wandell, B. A. (2011). The development of cortical sensitivity to visual word forms. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(9), 2387-2399. <https://doi.org/10.1162/jocn.2011.21615>
- Ben-Yehudah, G., Sackett, E., Malchi-Ginzberg, L., & Ahissar, M. (2001). Impaired temporal contrast sensitivity in dyslexics is specific to retain-and-compare paradigms. *Brain: A Journal of Neurology*, 124(Pt 7), 1381-1395.
- Bergerbest, D., Ghahremani, D. G., & Gabrieli, J. D. E. (2004). Neural correlates of auditory repetition priming: reduced fMRI activation in the auditory cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(6), 966-977. <https://doi.org/10.1162/0898929041502760>
- Berson, D. M. (2003). Strange vision: ganglion cells as circadian photoreceptors. *Trends in Neurosciences*, 26(6), 314-320. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(03\)00130-9](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(03)00130-9)
- Besner, D. (1983). Basic decoding components in reading: Two dissociable feature extraction processes. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie*, 37(3), 429-438. <https://doi.org/10.1037/h0080739>
- Besner, D. (1989). On the role of outline shape and word-specific visual pattern in the identification of function words: None. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 41(1), 91-105. <https://doi.org/10.1080/14640748908402354>
- Besner, D., & Johnston, J. C. (1989). Lexical Representation and Process. In W. Marslen-Wilson (Éd.) (p. 291-316). Cambridge, MA, USA: MIT Press. Consulté à l'adresse <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=86149.86167>
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: a theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94(2), 115-147.
- Bijeljac-Babic, R., Millogo, V., Farioli, F., & Grainger, J. (2004). A developmental investigation of word length effects in reading using a new on-line word identification paradigm. *Reading and Writing*, 17(4), 411-431. <https://doi.org/10.1023/B:READ.0000032664.20755.af>
- Bilodeau, L., & Faubert, J. (1997). Isoluminance and chromatic motion perception throughout the visual field. *Vision Research*, 37(15), 2073-2081. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(97\)00012-6](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(97)00012-6)
- Blomert, L., Mitterer, H., & Paffen, C. (2004). In search of the auditory, phonetic, and/or

- phonological problems in dyslexia: context effects in speech perception. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research: JSLHR*, 47(5), 1030-1047.
- Boden, C., & Giaschi, D. (2007). M-stream deficits and reading-related visual processes in developmental dyslexia. *Psychological Bulletin*, 133(2), 346-366. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.2.346>
- Boden, C., & Giaschi, D. (2009). The role of low-spatial frequencies in lexical decision and masked priming. *Brain and Cognition*, 69(3), 580-591. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.12.002>
- Bonjour, E., & Gombert, J.-É. (2004). Profils de lecteurs à l'entrée en sixième. *L'orientation scolaire et professionnelle*, (33/1), 69-101. <https://doi.org/10.4000/osp.2292>
- Booth, J. R., Burman, D. D., Meyer, J. R., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., & Mesulam, M. M. (2003). Relation between brain activation and lexical performance. *Human Brain Mapping*, 19(3), 155-169. <https://doi.org/10.1002/hbm.10111>
- Booth, J. R., Burman, D. D., Van Santen, F. W., Harasaki, Y., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., & Marsel Mesulam, M. M. (2001). The development of specialized brain systems in reading and oral-language. *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, 7(3), 119-141. <https://doi.org/10.1076/chin.7.3.119.8740>
- Booth, J. R., Perfetti, C. A., & MacWhinney, B. (1999). Quick, automatic, and general activation of orthographic and phonological representations in young readers. *Developmental Psychology*, 35(1), 3-19.
- Boothe, R. G., Dobson, V., & Teller, D. Y. (1985). Postnatal development of vision in human and nonhuman primates. *Annual Review of Neuroscience*, 8, 495-545. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.08.030185.002431>
- Bordaberry, P., Lenoble, Q., & Delord, S. (2012). Aging of visual object recognition: interaction between a « spatial frequency-specific » deficit and a « category-specific » deficit. *Geriatric et Psychologie Neuropsychiatrie Du Vieillessement*, 10(4), 453-462. <https://doi.org/10.1684/pnv.2012.0369>
- Boros, M., Anton, J.-L., Pech-Georgel, C., Grainger, J., Szwed, M., & Ziegler, J. C. (2016). Orthographic processing deficits in developmental dyslexia: Beyond the ventral visual stream. *NeuroImage*, 128, 316-327. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.01.014>
- Borsting, E., Ridder III, W. H., Dudeck, K., Kelley, C., Matsui, L., & Motoyama, J. (1996). The presence of a magnocellular defect depends on the type of dyslexia. *Vision Research*, 36(7), 1047-1053. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(95\)00199-9](https://doi.org/10.1016/0042-6989(95)00199-9)
- Bosman, A. M., & de Groot, A. M. (1996). Phonologic mediation is fundamental to reading: evidence from beginning readers. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 49(3), 715-744. <https://doi.org/10.1080/713755641>

- Bosse, M.-L., Tainturier, M. J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: The visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, *104*(2), 198-230. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.05.009>
- Bosse, M.-L., & Valdois, S. (2009). Influence of the visual attention span on child reading performance: a cross-sectional study. *Journal of Research in Reading*, *32*(2), 230-253. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2008.01387.x>
- Bouchière, B. (2011). *Contribution de la connaissance des lettres à l'apprentissage du son des lettres. Etudes chez les pré-lecteurs francophones*. Université Bordeaux Segalen, Bordeaux.
- Bouchière, B., Ponce, C., & Foulin, J.-N. (2010). Développement de la connaissance des lettres capitales. Étude transversale chez les enfants français de trois à six ans. *Psychologie Française*, *55*(2), 65-89. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2009.12.001>
- Bouma, H. (1970). Interaction Effects in Parafoveal Letter Recognition. *Nature*, *226*(5241), 177-178. <https://doi.org/10.1038/226177a0>
- Bouma, H. (1971). Visual recognition of isolated lower case letters. *Vision research*, *11*, 459-74. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(71\)90087-3](https://doi.org/10.1016/0042-6989(71)90087-3)
- Bowers, J. S. (2000). In defense of abstractionist theories of repetition priming and word identification. *Psychonomic Bulletin & Review*, *7*(1), 83-99.
- Braddick, O., Atkinson, J., & Wattam-Bell, J. (2003). Normal and anomalous development of visual motion processing: motion coherence and « dorsal-stream vulnerability ». *Neuropsychologia*, *41*(13), 1769-1784.
- Braddick, O. J., & Atkinson, J. (2009). Infants' sensitivity to motion and temporal change. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, *86*(6), 577-582. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3181a76e84>
- Bradley, A., & Freeman, R. D. (1981). Contrast sensitivity in anisometric amblyopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *21*(3), 467-476.
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, *10*(4), 433-436.
- Brederoo, S. G., Nieuwenstein, M. R., Lorist, M. M., & Cornelissen, F. W. (2017). Hemispheric specialization for global and local processing: A direct comparison of linguistic and non-linguistic stimuli. *Brain and Cognition*, *119*(Supplement C), 10-16. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.09.005>
- Breitmeyer, B. G. (1980). Unmasking visual masking: a look at the « why » behind the veil of the « how ». *Psychological Review*, *87*(1), 52-69.
- Breitmeyer, B. G. (1993). The roles of sustained (P) and transient (M) channels in reading and reading disability. In S. F. Wright & R. Groner (Éd.), *Facets of dyslexia and its*

- remediation* (p. 13-31). Amsterdam, Netherlands: North-Holland/Elsevier Science Publishers.
- Breitmeyer, B. G., & Ganz, L. (1976). Implications of sustained and transient channels for theories of visual pattern masking, saccadic suppression, and information processing. *Psychological Review*, *83*(1), 1-36.
- Breitmeyer, B. G., & Ogmen, H. (2000). Recent models and findings in visual backward masking: a comparison, review, and update. *Perception & Psychophysics*, *62*(8), 1572-1595.
- Brem, S., Bach, S., Kucian, K., Guttorm, T. K., Martin, E., Lyytinen, H., ... Richardson, U. (2010). Brain sensitivity to print emerges when children learn letter-speech sound correspondences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *107*(17), 7939-7944. <https://doi.org/10.1073/pnas.0904402107>
- Broadbent, D. E. (1967). Word-frequency effect and response bias. *Psychological review*, *74*(1), 1-15.
- Brysbaert, M., & d'Ydewalle, G. (1988). Callosal transmission in reading. In G. Luër, U. Lass, & J. Shallo-Hoffmann (Éd.), *Eye Movement Research: Physiological and Phonological Aspects* (p. 246-266). Hogrefe: Göttingen.
- Brysbaert, M., Drieghe, D., & Vitu, F. (2005). Word skipping: Implications for theories of eye movement control in reading. In G. Underwood (Éd.), *Cognitive processes in eye guidance* (p. 53-77). Oxford, England: Oxford University Press UK.
- Brysbaert, M., Vitu, F., & Schroyens, W. (1996). The right visual field advantage and the optimal viewing position effect: On the relation between foveal and parafoveal word recognition. *Neuropsychology*, *10*(3), 385-395.
- Bullier, J. (1998). Architecture fonctionnelle du système visuel. In M. Boucart, M.-A. Hennaff, & C. Belin (Éd.), *La vision : aspects perceptifs et cognitifs* (p. 11-42). Marseille: Solal.
- Bullier, J. (2001a). Feedback connections and conscious vision. *Trends in Cognitive Sciences*, *5*(9), 369-370.
- Bullier, J. (2001b). Integrated model of visual processing. *Brain Research. Brain Research Reviews*, *36*(2-3), 96-107.
- Burt, J. S. (2009). Identifiable orthographically similar word primes interfere in visual word identification. *Journal of Memory and Language*, *61*(3), 259-284. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2009.06.003>
- Butler, P. D., & Javitt, D. C. (2005). Early-stage visual processing deficits in schizophrenia. *Current Opinion in Psychiatry*, *18*(2), 151-157.

- Butler, P. D., Martinez, A., Foxe, J. J., Kim, D., Zemon, V., Silipo, G., ... Javitt, D. C. (2007). Subcortical visual dysfunction in schizophrenia drives secondary cortical impairments. *Brain: A Journal of Neurology*, *130*(Pt 2), 417-430. <https://doi.org/10.1093/brain/awl233>
- Cadenhead, K. S., Serper, Y., & Braff, D. L. (1998). Transient versus sustained visual channels in the visual backward masking deficits of schizophrenia patients. *Biological Psychiatry*, *43*(2), 132-138. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(97\)00316-8](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(97)00316-8)
- Calkins, D. J., & Sterling, P. (1999). Evidence that Circuits for Spatial and Color Vision Segregate at the First Retinal Synapse. *Neuron*, *24*(2), 313-321. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(00\)80846-6](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(00)80846-6)
- Callaway, E. M. (2005). Structure and function of parallel pathways in the primate early visual system. *The Journal of Physiology*, *566*(Pt 1), 13-19. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.088047>
- Campbell, R., & Butterworth, B. (1985). Phonological dyslexia and dysgraphia in a highly literate subject: A developmental case with associated deficits of phonemic processing and awareness. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *37*(3), 435-475. <https://doi.org/10.1080/14640748508400944>
- Caramazza, A., & Hillis, A. E. (1990). Spatial representation of words in the brain implied by studies of a unilateral neglect patient. *Nature*, *346*(6281), 267-269. <https://doi.org/10.1038/346267a0>
- Carkeet, A., Levi, D. M., & Manny, R. E. (1997). Development of Vernier acuity in childhood. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, *74*(9), 741-750.
- Carreiras, M., Perea, M., & Grainger, J. (1997). Effects of orthographic neighborhood in visual word recognition: cross-task comparisons. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *23*(4), 857-871.
- Castles, A. (1996). Cognitive Correlates of Developmental Surface Dyslexia: A Single Case Study. *Cognitive Neuropsychology*, *13*(1), 25-50. <https://doi.org/10.1080/026432996382051>
- Cattell, J. M. (1886). The Time Taken up by Cerebral Operations. *Mind*, *11*(43), 377-392. <https://doi.org/10.2307/2247078>
- Cavanagh, P., MacLeod, D. I. A., & Anstis, S. M. (1987). Equiluminance: spatial and temporal factors and the contribution of blue-sensitive cones. *Journal of the Optical Society of America A*, *4*(8), 1428. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.4.001428>
- Cave, C. B., Bost, P. R., & Cobb, R. E. (1996). Effects of color and pattern on implicit and explicit picture memory. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *22*(3), 639-653.

- Cave, C. B., & Squire, L. R. (1992). Intact verbal and nonverbal short-term memory following damage to the human hippocampus. *Hippocampus*, 2(2), 151-163. <https://doi.org/10.1002/hipo.450020207>
- Cestnick, L., & Coltheart, M. (1999). The relationship between language-processing and visual-processing deficits in developmental dyslexia. *Cognition*, 71(3), 231-255. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(99\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(99)00023-2)
- Chambers, S. M. (1979). Letter and order information in lexical access. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 18(2), 225-241. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(79\)90136-1](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(79)90136-1)
- Chase, C., Ashourzadeh, A., Kelly, C., Monfette, S., & Kinsey, K. (2003). Can the magnocellular pathway read? Evidence from studies of color. *Vision Research*, 43(10), 1211-1222. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(03\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(03)00085-3)
- Chase, C. H. (1996). A visual deficit model of developmental dyslexia. In C. H. Chase, G. D. Rosen, & G. F. Sherman (Eds.), *Developmental dyslexia: neural, cognitive, and genetic mechanisms* (pp. 127-156). Timonium, MD: York Press.
- Chase, C. H. (1996). *Developmental Dyslexia: Neural, Cognitive, and Genetic Mechanisms*. York Press.
- Chatterjee, S., & Callaway, E. M. (2002). S cone contributions to the magnocellular visual pathway in macaque monkey. *Neuron*, 35(6), 1135-1146.
- Chaudhuri, A., & Albright, T. D. (1992). Heterochromatic fusion nystagmus: Its use in estimating chromatic equiluminance in humans and monkeys. *Vision Research*, 32(9), 1745-1759. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(92\)90167-H](https://doi.org/10.1016/0042-6989(92)90167-H)
- Chen, J., & Proctor, R. W. (2012). Influence of category identity on letter matching: conceptual penetration of visual processing or response competition? *Attention, Perception & Psychophysics*, 74(4), 716-729. <https://doi.org/10.3758/s13414-011-0264-x>
- Chen, L. M., Turner, G. H., Friedman, R. M., Zhang, N., Gore, J. C., Roe, A. W., & Avison, M. J. (2007). High-resolution maps of real and illusory tactile activation in primary somatosensory cortex in individual monkeys with functional magnetic resonance imaging and optical imaging. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 27(34), 9181-9191. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1588-07.2007>
- Chen, Q., & Mirman, D. (2012). Competition and cooperation among similar representations: toward a unified account of facilitative and inhibitory effects of lexical neighbors. *Psychological review*, 119(2), 417-430. <https://doi.org/10.1037/a0027175>
- Chiappe, P., Stringer, R., Siegel, L. S., & Stanovich, K. E. (2002). Why the timing deficit hypothesis does not explain reading disability in adults. *Reading and Writing*, 15(1-2),

- 73-107. <https://doi.org/10.1023/A:1013868304361>
- Chouake, T., Levy, T., Javitt, D. C., & Lavidor, M. (2012). Magnocellular training improves visual word recognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00014>
- Chumbley, J. I., & Balota, D. A. (1984). A word's meaning affects the decision in lexical decision. *Memory & Cognition*, 12(6), 590-606. <https://doi.org/10.3758/BF03213348>
- Church, J. A., Coalson, R. S., Lugar, H. M., Petersen, S. E., & Schlaggar, B. L. (2008). A developmental fMRI study of reading and repetition reveals changes in phonological and visual mechanisms over age. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 18(9), 2054-2065. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm228>
- Clark, J. J., & O'Regan, J. K. (1999). Word ambiguity and the optimal viewing position in reading. *Vision Research*, 39(4), 843-857. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(98\)00203-X](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(98)00203-X)
- Cloutman, L. L. (2013). Interaction between dorsal and ventral processing streams: Where, when and how? *Brain and Language*, 127(2), 251-263. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2012.08.003>
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehéricy, S., Dehaene-Lambertz, G., Hénaff, M. A., & Michel, F. (2000). The visual word form area: spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain: A Journal of Neurology*, 123 (Pt 2), 291-307.
- Cohen, L., Dehaene, S., Vinckier, F., Jobert, A., & Montavont, A. (2008). Reading normal and degraded words: Contribution of the dorsal and ventral visual pathways. *NeuroImage*, 40(1), 353-366. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.11.036>
- Cohen, L., Lehéricy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S., & Dehaene, S. (2002). Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain: A Journal of Neurology*, 125(Pt 5), 1054-1069.
- Colé, P., Magnan, A., & Grainger, J. (1999). Syllable-Sized Units in Visual Word Recognition: Evidence from Skilled and Beginning Readers of French. *Applied Psycholinguistics*, 20(4), 507-32.
- Colé, P., & Sprenger-Charolles, L. (1999). Traitement syllabique au cours de la reconnaissance de mots écrits chez des enfants dyslexiques, lecteurs en retard et normo-lecteurs de 11 ans. *Revue de Neuropsychologie*, (4), 323-360.
- Colé, P., & Valdois, S. (2007). L'apprentissage de la lecture et ses troubles. In A. Blaye & P. Lemaire (Éd.), *Le développement cognitif de l'enfant* (De Boeck, p. 187-222). Bruxelles.
- Coltheart, M., Curtis, B., Atkins, P., & Haller, M. (1993). Models of reading aloud: Dual-route and parallel-distributed-processing approaches. *Psychological Review*, 100(4),

- 589-608. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.100.4.589>
- Coltheart, M., Davelaar, E., Jonasson, J. T., & Besner, D. (1977). Access to the internal lexicon. In S. Dornic (Éd.), *Attention and performance IV* (p. 535-555). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, *108*(1), 204-256. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.108.1.204>
- Colzato, L. S., Sellaro, R., Hulka, L. M., Quednow, B. B., & Hommel, B. (2014). Cognitive control predicted by color vision, and vice versa. *Neuropsychologia*, *62*, 55-59. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.07.010>
- Conlon, E., Sanders, M., & Zapart, S. (2004). Temporal processing in poor adult readers. *Neuropsychologia*, *42*(2), 142-157.
- Conway, B. R., Moeller, S., & Tsao, D. Y. (2007). Specialized Color Modules in Macaque Extrastriate Cortex. *Neuron*, *56*(3), 560-573. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.10.008>
- Corcoran, C. M., Stoops, A., Lee, M., Martinez, A., Sehatpour, P., Dias, E. C., & Javitt, D. C. (2017). Developmental trajectory of mismatch negativity and visual event-related potentials in healthy controls: Implications for neurodevelopmental vs. neurodegenerative models of schizophrenia. *Schizophrenia Research*. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2017.09.047>
- Cornelissen, P. L., & Hansen, P. C. (1998). Motion detection, letter position encoding, and single word reading. *Annals of Dyslexia*, *48*, 155-188.
- Cornelissen, P. L., Hansen, P. C., Gilchrist, I., Cormack, F., Essex, J., & Frankish, C. (1998). Coherent motion detection and letter position encoding. *Vision Research*, *38*(14), 2181-2191.
- Cornelissen, P. L., Richardson, A., Mason, A., Fowler, S., & Stein, J. (1995). Contrast sensitivity and coherent motion detection measured at photopic luminance levels in dyslexics and controls. *Vision research*, *35*(10), 1483-1494.
- Courchesne, E., Chisum, H. J., Townsend, J., Cowles, A., Covington, J., Egaas, B., ... Press, G. A. (2000). Normal brain development and aging: quantitative analysis at in vivo MR imaging in healthy volunteers. *Radiology*, *216*(3), 672-682. <https://doi.org/10.1148/radiology.216.3.r00au37672>
- Creem, S. H., & Proffitt, D. R. (2001). Defining the cortical visual systems: « what », « where », and « how ». *Acta Psychologica*, *107*(1-3), 43-68.
- Crewther, S. G., Crewther, D. P., Barnard, N., & Klistorner, A. (1996). Electrophysiological and psychophysical evidence for the development of magnocellular function in children.

- Australian and New Zealand Journal of Ophthalmology*, 24, 38-40.
<https://doi.org/10.1111/j.1442-9071.1996.tb00990.x>
- Crick, F., & Koch, C. (2003). A framework for consciousness. *Nature Neuroscience*, 6(2), 119-126. <https://doi.org/10.1038/nn0203-119>
- Croner, L. J., & Kaplan, E. (1995). Receptive fields of P and M ganglion cells across the primate retina. *Vision Research*, 35(1), 7-24. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)E0066-T](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)E0066-T)
- Curcio, C. A., Sloan, K. R., Kalina, R. E., & Hendrickson, A. E. (1990). Human photoreceptor topography. *The Journal of Comparative Neurology*, 292(4), 497-523. <https://doi.org/10.1002/cne.902920402>
- Dacey, D. M. (2000). Parallel Pathways for Spectral Coding in Primate Retina. *Annual Review of Neuroscience*, 23(1), 743-775. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.23.1.743>
- Dacey, D. M., & Petersen, M. R. (1992). Dendritic field size and morphology of midget and parasol ganglion cells of the human retina. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89(20), 9666-9670.
- Davis, C. J. (1999). *The self-organising lexical acquisition and recognition (SOLAR) model of visual word recognition*. University of New South Wales, Sydney, New South Wales, Australia.
- Davis, C. J. (2006). *The SOLAR (Self-Organizing Lexical Acquisition & Recognition) model of visual word identification, Part I: Orthographic input coding and lexical matching*.
- Davis, C. J. (2010). The spatial coding model of visual word identification. *Psychological Review*, 117(3), 713-758. <https://doi.org/10.1037/a0019738>
- Davis, C. J., Perea, M., & Acha, J. (2009). Re(de)fining the orthographic neighborhood: the role of addition and deletion neighbors in lexical decision and reading. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 35(5), 1550-1570. <https://doi.org/10.1037/a0014253>
- Davis, C. J., & Taft, M. (2005). More words in the neighborhood: Interference in lexical decision due to deletion neighbors. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 904-910. <https://doi.org/10.3758/BF03196784>
- De Luca, M., Borrelli, M., Judica, A., Spinelli, D., & Zoccolotti, P. (2002). Reading Words and Pseudowords: An Eye Movement Study of Developmental Dyslexia. *Brain and Language*, 80(3), 617-626. <https://doi.org/10.1006/brln.2001.2637>
- De Luca, M., Di Pace, E., Judica, A., Spinelli, D., & Zoccolotti, P. (1999). Eye movement patterns in linguistic and non-linguistic tasks in developmental surface dyslexia. *Neuropsychologia*, 37(12), 1407-1420. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(99\)00038-X](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(99)00038-X)

- De Moor, W., & Brysbaert, M. (2000). Neighborhood-frequency effects when primes and targets are of different lengths. *Psychological Research*, 63(2), 159-162.
- De Renzi, E., & Faglioni, P. (1967). The Relationship Between Visuo-Spatial Impairment and Constructional Apraxia. *Cortex*, 3(3), 327-342. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(67\)80021-2](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(67)80021-2)
- De Vries-Khoe, L. H., & Spekreijse, H. (1982). Maturation of luminance and pattern EPs in man. In G. Niemeyer & C. Huber (Éd.), *Techniques in Clinical Electrophysiology of Vision* (p. 461-475). Springer Science & Business Media.
- Dehaene, S. (2009). *Reading in the Brain: The Science and Evolution of a Human Invention*. Viking.
- Dehaene, S., & Cohen, L. (2007). Cultural Recycling of Cortical Maps. *Neuron*, 56(2), 384-398. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.10.004>
- Dehaene, S., Naccache, L., Le Clec'h, G., Koechlin, E., Mueller, M., Dehaene-Lambertz, G., ... Le Bihan, D. (1998). Imaging unconscious semantic priming. *Nature*, 395(6702), 597-600. <https://doi.org/10.1038/26967>
- Delis, D. C., Robertson, L. C., & Efron, R. (1986). Hemispheric specialization of memory for visual hierarchical stimuli. *Neuropsychologia*, 24(2), 205-214.
- Delord, S. (1998). Which mask is the most efficient: A pattern or a noise? It depends on the task. *Visual Cognition*, 5(3), 313-338. <https://doi.org/10.1080/713756789>
- Delord, S., Ducato, M. G., Pins, D., Devinck, F., Thomas, P., Boucart, M., & Knoblauch, K. (2006). Psychophysical assessment of magno- and parvocellular function in schizophrenia. *Visual Neuroscience*, 23(3-4), 645-650. <https://doi.org/10.1017/S0952523806233017>
- Demb, J. B., Boynton, G. M., Best, M., & Heeger, D. J. (1998). Psychophysical evidence for a magnocellular pathway deficit in dyslexia. *Vision Research*, 38(11), 1555-1559. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(98\)00075-3](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(98)00075-3)
- Demb, J. B., Boynton, G. M., & Heeger, D. J. (1997). Brain activity in visual cortex predicts individual differences in reading performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94(24), 13363-13366.
- Devinck, F., Delahunt, P. B., Hardy, J. L., Spillmann, L., & Werner, J. S. (2005). The watercolor effect: quantitative evidence for luminance-dependent mechanisms of long-range color assimilation. *Vision Research*, 45(11), 1413-1424. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.11.024>
- DiCarlo, J. J., Zoccolan, D., & Rust, N. C. (2012). How does the brain solve visual object recognition? *Neuron*, 73(3), 415-434. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.01.010>

- Dobkins, K. R., Anderson, C. M., & Kelly, J. (2001). Development of psychophysically-derived detection contours in L- and M-cone contrast space. *Vision Research*, *41*(14), 1791-1807. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00070-0](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00070-0)
- Dobkins, K. R., Anderson, C. M., & Lia, B. (1999). Infant temporal contrast sensitivity functions (tCSFs) mature earlier for luminance than for chromatic stimuli: evidence for precocious magnocellular development? *Vision Research*, *39*(19), 3223-3239. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(99\)00020-6](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(99)00020-6)
- Dobkins, K. R., Gunther, K. L., & Peterzell, D. H. (2000). What covariance mechanisms underlie green/red equiluminance, luminance contrast sensitivity and chromatic (green/red) contrast sensitivity? *Vision Research*, *40*(6), 613-628.
- Dobkins, K. R., Lia, B., & Teller, D. Y. (1997). Infant color vision: Temporal contrast sensitivity functions for chromatic (red/green) stimuli in 3-month-olds. *Vision Research*, *37*(19), 2699-2716. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(97\)81180-7](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(97)81180-7)
- Eden, G. F., VanMeter, J. W., Rumsey, J. M., & Zeffiro, T. A. (1996). The Visual Deficit Theory of Developmental Dyslexia. *NeuroImage*, *4*(3), S108-S117. <https://doi.org/10.1006/nimg.1996.0061>
- Edwards, D. P., Purpura, K. P., & Kaplan, E. (1995). Contrast sensitivity and spatial frequency response of primate cortical neurons in and around the cytochrome oxidase blobs. *Vision Research*, *35*(11), 1501-1523.
- Ehri, L. C., & Wilce, L. S. (1985). Movement into Reading: Is the First Stage of Printed Word Learning Visual or Phonetic? *Reading Research Quarterly*, *20*(2), 163-179. <https://doi.org/10.2307/747753>
- Elbro, C. (1996). Early linguistic abilities and reading development: A review and a hypothesis. *Reading and Writing*, *8*(6), 453-485. <https://doi.org/10.1007/BF00577023>
- Elleberg, D., Hammarrenger, B., Lepore, F., Roy, M. S., & Guillemot, J. P. (2001). Contrast dependency of VEPs as a function of spatial frequency: the parvocellular and magnocellular contributions to human VEPs. *Spatial Vision*, *15*(1), 99-111.
- Elliott, J. G., & Grigorenko, E. L. (2014). *The dyslexia debate* (Cambridge University Press, Vol. 14). New York.
- Elliott, S. L., & Werner, J. S. (2010). Age-related changes in contrast gain related to the M and P pathways. *Journal of vision*, *10*(4), 4.1-415. <https://doi.org/10.1167/10.4.4>
- Engel, A. K., Fries, P., & Singer, W. (2001). Dynamic predictions: Oscillations and synchrony in top-down processing. *Nature Reviews Neuroscience*, *2*(10), 704-716. <https://doi.org/10.1038/35094565>
- Epshtein, B., Lifshitz, I., & Ullman, S. (2008). Image interpretation by a single bottom-up top-down cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of*

- America*, 105(38), 14298-14303. <https://doi.org/10.1073/pnas.0800968105>
- Fabre-Thorpe, M. (2011). The characteristics and limits of rapid visual categorization. *Perception Science*, 2, 243. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00243>
- Facoetti, A., Lorusso, M. L., Paganoni, P., Umiltà, C., & Mascetti, G. G. (2003). The role of visuospatial attention in developmental dyslexia: evidence from a rehabilitation study. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 15(2), 154-164.
- Facoetti, A., Paganoni, P., & Lorusso, M. L. (2000). The spatial distribution of visual attention in developmental dyslexia. *Experimental Brain Research*, 132(4), 531-538.
- Facoetti, A., Turatto, M., Lorusso, M. L., & Mascetti, G. G. (2001). Orienting of visual attention in dyslexia: evidence for asymmetric hemispheric control of attention. *Experimental Brain Research*, 138(1), 46-53.
- Fahle, M., & Poggio, T. A. (Éd.). (2004). *Perceptual Learning*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Farid, M., & Grainger, J. (1996). How initial fixation position influences visual word recognition: a comparison of French and Arabic. *Brain and Language*, 53(3), 351-368. <https://doi.org/10.1006/brln.1996.0053>
- Fawcett, A. J., Nicolson, R. I., & Dean, P. (1996). Impaired performance of children with dyslexia on a range of cerebellar tasks. *Annals of Dyslexia*, 46(1), 259-283. <https://doi.org/10.1007/BF02648179>
- Fayol, M., David, J., Dubois, D., & Rémond, M. (2000). *Maîtriser la lecture: poursuivre l'apprentissage de la lecture de 8 à 11 ans*. Paris, France: Odile Jacob.
- Fenske, M. J., Aminoff, E., Gronau, N., & Bar, M. (2006). Chapter 1 Top-down facilitation of visual object recognition: object-based and context-based contributions. In *Progress in Brain Research* (Vol. 155, p. 3-21). Elsevier. Consulté à l'adresse <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0079612306550010>
- Ferrand, L. (2000). Reading aloud polysyllabic words and nonwords: the syllabic length effect reexamined. *Psychonomic Bulletin & Review*, 7(1), 142-148.
- Ferrand, L. (2007). *Psychologie cognitive de la lecture* (De Boeck Université). Bruxelles. Consulté à l'adresse <http://www.deboecksuperieur.com/ouvrage/9782804190910-psychologie-cognitive-de-la-lecture>
- Ferrand, L., & Grainger, J. (1993). The time course of orthographic and phonological code activation in the early phases of visual word recognition. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 31(2), 119-122. <https://doi.org/10.3758/BF03334157>
- Ferrand, L., Grainger, J., & Segui, J. (1994). A study of masked form priming in picture and word naming. *Memory & Cognition*, 22(4), 431-441.

- Ferrand, L., & New, B. (2003). Syllabic length effects in visual word recognition and naming. *Acta Psychologica, 113*(2), 167-183. [https://doi.org/10.1016/S0001-6918\(03\)00031-3](https://doi.org/10.1016/S0001-6918(03)00031-3)
- Ferrand, L., New, B., Brysbaert, M., Keuleers, E., Bonin, P., Méot, A., ... Pallier, C. (2010). The French Lexicon Project: lexical decision data for 38,840 French words and 38,840 pseudowords. *Behavior Research Methods, 42*(2), 488-496. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.2.488>
- Ferraro, F. R., & Hansen, C. L. (2002). Orthographic neighborhood size, number of word meanings, and number of higher frequency neighbors. *Brain and Language, 82*(2), 200-205. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(02\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(02)00016-0)
- Ferrera, V. P., Nealey, T. A., & Maunsell, J. H. (1992). Mixed parvocellular and magnocellular geniculate signals in visual area V4. *Nature, 358*(6389), 756-761. <https://doi.org/10.1038/358756a0>
- Fink, G. R., Marshall, J. C., Halligan, P. W., Frith, C. D., Frackowiak, R. S., & Dolan, R. J. (1997). Hemispheric specialization for global and local processing: the effect of stimulus category. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 264*(1381), 487-494.
- Fiset, S., Arguin, M., & Fiset, D. (2006). An attempt to simulate letter-by-letter dyslexia in normal readers. *Brain and Language, 98*(3), 251-263. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2006.05.003>
- Fodor, J. (1986). *La modularité de l'esprit : essai sur la psychologie des facultés*. (A. Gerschenfeld, Trad.). Paris: Les Editions de Minuit.
- Forster, J., Higgins, E. T., & Bianco, A. T. (2003). Speed/accuracy decisions in task performance: Built-in trade-off or separate strategic concerns? *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 90*(1), 148-164.
- Forster, K. I. (1999). The microgenesis of priming effects in lexical access. *Brain and Language, 68*(1-2), 5-15. <https://doi.org/10.1006/brln.1999.2078>
- Forster, K. I., & Davis, C. (1991). The density constraint on form-priming in the naming task: interference effects from a masked prime. *Journal of Memory and Language, 30*(1), 1-25. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(91\)90008-8](https://doi.org/10.1016/0749-596X(91)90008-8)
- Forster, K. I., & Davis, C. J. (1984). Repetition priming and frequency attenuation in lexical access, *10*(0), 680-698.
- Foulin, J. N. (2005). Why is letter-name knowledge such a good predictor of learning to read? *Reading and Writing, 18*(2), 129-155. <https://doi.org/10.1007/s11145-004-5892-2>
- Foulin, J.-N. (2007). La connaissance des lettres chez les prélecteurs : aspects pronostiques, fonctionnels et diagnostiques. *Psychologie Française, 52*(4), 431-444. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2006.12.004>

- Frederiksen, J. R., & Kroll, J. F. (1976). Spelling and sound: Approaches to the internal lexicon. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2(3), 361-379. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.2.3.361>
- Frith, U. (1985). The usefulness of the concept of unexpected reading failure: Comments on « Reading retardation revisited. » *British Journal of Developmental Psychology*, 3(1), 15-17. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1985.tb00949.x>
- Frith, U. (1998). Cognitive deficits in developmental disorders. *Scandinavian Journal of Psychology*, 39(3), 191-195.
- Frost, R. (1998). Toward a strong phonological theory of visual word recognition: true issues and false trails. *Psychological Bulletin*, 123(1), 71-99.
- Fukushima, J., Tanaka, S., Williams, J. D., & Fukushima, K. (2005). Voluntary control of saccadic and smooth-pursuit eye movements in children with learning disorders. *Brain & Development*, 27(8), 579-588. <https://doi.org/10.1016/j.braindev.2005.03.005>
- Gagné, A.-M., Hébert, M., & Maziade, M. (2015). Revisiting visual dysfunctions in schizophrenia from the retina to the cortical cells: A manifestation of defective neurodevelopment. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, 62, 29-34. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2015.04.007>
- Gaillard, W. D., Balsamo, L. M., Ibrahim, Z., Sachs, B. C., & Xu, B. (2003). fMRI identifies regional specialization of neural networks for reading in young children. *Neurology*, 60(1), 94-100.
- Galaburda, A., & Livingstone, M. (1993). Evidence for a Magnocellular Defect in Developmental Dyslexia a. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 682(1), 70-82. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1993.tb22960.x>
- Gauthier, I., Tarr, M. J., Moylan, J., Skudlarski, P., Gore, J. C., & Anderson, A. W. (2000). The fusiform « face area » is part of a network that processes faces at the individual level. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(3), 495-504.
- Gegenfurtner, K. R., & Kiper, D. C. (2003). Color vision. *Annual Review of Neuroscience*, 26, 181-206. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.26.041002.131116>
- Gibson, E. J., Gibson, J. J., Pick, A. D., & Osser, H. (1962). A developmental study of the discrimination of letter-like forms. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 55, 897-906.
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., ... Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2(10), 861-863. <https://doi.org/10.1038/13158>
- Gilbert, C. D., Li, W., & Piech, V. (2009). Perceptual learning and adult cortical plasticity.

- The Journal of Physiology*, 587(Pt 12), 2743-2751.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.171488>
- Girard, P., Hupé, J. M., & Bullier, J. (2001). Feedforward and feedback connections between areas V1 and V2 of the monkey have similar rapid conduction velocities. *Journal of Neurophysiology*, 85(3), 1328-1331.
- Glaser, W. R. (1992). Picture naming. *Cognition*, 42(1), 61-105.
[https://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90040-O](https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90040-O)
- Goffaux, V., Peters, J., Haubrechts, J., Schiltz, C., Jansma, B., & Goebel, R. (2011). From coarse to fine? Spatial and temporal dynamics of cortical face processing. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 21(2), 467-476. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhq112>
- Goldberg, E., & Costa, L. D. (1981). Hemisphere differences in the acquisition and use of descriptive systems. *Brain and Language*, 14(1), 144-173.
- Gombert, J.-É., Colé, P., Valdois, S., Goigoux, R., Mousty, P., & Fayol, M. (2000). *Enseigner la lecture au cycle II*. Paris: Nathan Pédagogie.
- 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)
- Gordon, G. E., & McCulloch, D. L. (1999). A VEP investigation of parallel visual pathway development in primary school age children. *Documenta Ophthalmologica. Advances in Ophthalmology*, 99(1), 1-10.
- Gori, S., Cecchini, P., Bigoni, A., Molteni, M., & Facoetti, A. (2014). Magnocellular-dorsal pathway and sub-lexical route in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00460>
- Gori, S., & Facoetti, A. (2014). Perceptual learning as a possible new approach for remediation and prevention of developmental dyslexia. *Vision Research*, 99, 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.11.011>
- Gori, S., Seitz, A. R., Ronconi, L., Franceschini, S., & Facoetti, A. (2015). Multiple Causal Links Between Magnocellular-Dorsal Pathway Deficit and Developmental Dyslexia. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhv206>
- Graf, P., & Schacter, D. L. (1985). Implicit and explicit memory for new associations in normal and amnesic subjects. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 11(3), 501-518.
- Grafton, S. T. (2010). The cognitive neuroscience of prehension: recent developments. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation Cerebrale*, 204(4), 475-491. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2315-2>
- Grainger, J., Dufau, S., & Ziegler, J. C. (2016). A Vision of Reading. *Trends in Cognitive*

- Sciences*, 20(3), 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.12.008>
- Grainger, J., & Jacobs, A. M. (1996). Orthographic processing in visual word recognition: a multiple read-out model. *Psychological Review*, 103(3), 518-565.
- Grainger, J., Muneaux, M., Farioli, F., & Ziegler, J. C. (2005). Effects of phonological and orthographic neighbourhood density interact in visual word recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 58(6), 981-998. <https://doi.org/10.1080/02724980443000386>
- Grainger, J., O'Regan, J. K., Jacobs, A. M., & Segui, J. (1989). On the role of competing word units in visual word recognition: the neighborhood frequency effect. *Perception & psychophysics*, 45(3), 189-195.
- Grainger, J., Rey, A., & Dufau, S. (2008). Letter perception: from pixels to pandemonium. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(10), 381-387. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.06.006>
- Grainger, J., Tydgate, I., & Isselé, J. (2010). Crowding affects letters and symbols differently. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 36(3), 673-688. <https://doi.org/10.1037/a0016888>
- Gross-Glenn, K., Skottun, B. C., Glenn, W., Kushch, A., Lingua, R., Dunbar, M., ... Rabin, M. (1995). Contrast sensitivity in dyslexia. *Visual Neuroscience*, 12(1), 153-163.
- Guérin-Dugué, A., & Oliva, A. (2000). Classification of scene photographs from local orientations features. *Pattern Recognition Letters*, 21(13), 1135-1140. [https://doi.org/10.1016/S0167-8655\(00\)00074-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8655(00)00074-X)
- Haber, L. R., Haber, R. N., & Furlin, K. R. (1983). Word Length and Word Shape as Sources of Information in Reading. *Reading Research Quarterly*, 18(2), 165-189. <https://doi.org/10.2307/747516>
- Haber, R. N., & Schindler, R. M. (1981). Error in proofreading: Evidence of syntactic control of letter processing? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7(3), 573-579. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.7.3.573>
- Hagoort, P. (2005). On Broca, brain, and binding: a new framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(9), 416-423. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.07.004>
- Hamilton, J. M., Salmon, D. P., Galasko, D., Raman, R., Emond, J., Hansen, L. A., ... Thal, L. J. (2008). Visuospatial Deficits Predict Rate of Cognitive Decline in Autopsy-Verified Dementia with Lewy Bodies. *Neuropsychology*, 22(6), 729-737. <https://doi.org/10.1037/a0012949>
- Hammarrenger, B., Leporé, F., Lippé, S., Labrosse, M., Guillemot, J.-P., & Roy, M.-S. (2003). Magnocellular and parvocellular developmental course in infants during the first year of life. *Documenta Ophthalmologica*, 107(3), 225-233.

<https://doi.org/10.1023/B:DOOP.0000005331.66114.05>

- Han, S., Weaver, J. A., Murray, S. O., Kang, X., Yund, E. W., & Woods, D. L. (2002). Hemispheric Asymmetry in Global/Local Processing: Effects of Stimulus Position and Spatial Frequency. *NeuroImage*, *17*(3), 1290-1299. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1255>
- Harel, A., Gilaie-Dotan, S., Malach, R., & Bentin, S. (2010). Top-Down Engagement Modulates the Neural Expressions of Visual Expertise. *Cerebral Cortex (New York, NY)*, *20*(10), 2304-2318. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp316>
- Hari, R., Valta, M., & Uutela, K. (1999). Prolonged attentional dwell time in dyslexic adults. *Neuroscience Letters*, *271*(3), 202-204. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(99\)00547-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(99)00547-9)
- Harris, L., Atkinson, J., & Braddick, O. (1976). Visual contrast sensitivity of a 6-month-old infant Measured by the evoked potential. *Nature*, *264*(5586), 570-571. <https://doi.org/10.1038/264570a0>
- Hasson, U., Levy, I., Behrmann, M., Hendler, T., & Malach, R. (2002). Eccentricity bias as an organizing principle for human high-order object areas. *Neuron*, *34*(3), 479-490.
- Healy, A. F., & Cunningham, T. F. (1992). A developmental evaluation of the role of word shape in word recognition. *Memory & Cognition*, *20*(2), 141-150.
- Hegd , J., & Kersten, D. (2010). A link between visual disambiguation and visual memory. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *30*(45), 15124-15133. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4415-09.2010>
- Heiervang, E., Stevenson, J., & Hugdahl, K. (2002). Auditory processing in children with dyslexia. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *43*(7), 931-938. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00097>
- Henderson, L., & Henderson, S. E. (1975). Visual comparison of words and random letter strings: Effects of number and position of letters different. *Memory & Cognition*, *3*(1), 97-101. <https://doi.org/10.3758/BF03198216>
- Hendry, S. H. C., & Reid, R. C. (2000). The Koniocellular Pathway in Primate Vision. *Annual Review of Neuroscience*, *23*(1), 127-153. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.23.1.127>
- Henson, R. N. A., Shallice, T., Gorno-Tempini, M. L., & Dolan, R. J. (2002). Face repetition effects in implicit and explicit memory tests as measured by fMRI. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, *12*(2), 178-186.
- Herault, J., Oliva, A., & Guérin-Dugu , A. (1997). Scene categorisation by curvilinear component analysis of low frequency spectra. In *European symposium on artificial neural networks*. Bruges, BL.

- Hervé, P.-Y., Zago, L., Petit, L., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2013). Revisiting human hemispheric specialization with neuroimaging. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(2), 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.12.004>
- Hicks, T. P., Lee, B. B., & Vidyasagar, T. R. (1983). The responses of cells in macaque lateral geniculate nucleus to sinusoidal gratings. *The Journal of Physiology*, 337, 183-200.
- Hoover, W. A., & Gough, P. B. (1990). The simple view of reading. *Reading and Writing*, 2(2), 127-160. <https://doi.org/10.1007/BF00401799>
- Howes, D. H., & Solomon, R. L. (1951). Visual duration threshold as a function of word-probability. *Journal of Experimental Psychology*, 41(6), 401-410. <https://doi.org/10.1037/h0056020>
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1977). Ferrier lecture. Functional architecture of macaque monkey visual cortex. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 198(1130), 1-59.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1979). Brain mechanisms of vision. *Scientific American*, 241(3), 150-162.
- Hudson, P. T. W., & Bergman, M. W. (1985). Lexical knowledge in word recognition: Word length and word frequency in naming and lexical decision tasks. *Journal of Memory and Language*, 24(1), 46-58. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(85\)90015-4](https://doi.org/10.1016/0749-596X(85)90015-4)
- Hughes, H. C., Layton, W. M., Baird, J. C., & Lester, L. S. (1984). Global precedence in visual pattern recognition. *Perception & Psychophysics*, 35(4), 361-371. <https://doi.org/10.3758/BF03206340>
- Hughes, H. C., Nozawa, G., & Kitterle, F. (1996). Global precedence, spatial frequency channels, and the statistics of natural images. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(3), 197-230. <https://doi.org/10.1162/jocn.1996.8.3.197>
- Hulme, C. (1988). The implausibility of low-level visual deficits as a cause of children's reading difficulties. *Cognitive Neuropsychology*, 5(3), 369-374. <https://doi.org/10.1080/02643298808252942>
- Humphreys, G. W., & Bruce, V. (1989). *Visual Cognition: Computational, Experimental, and Neuropsychological Perspectives*. Psychology Press.
- Humphreys, G. W., Evett, L. J., & Quinlan, P. T. (1990). Orthographic processing in visual word identification. *Cognitive Psychology*, 22(4), 517-560.
- Humphreys, G. W., Mayall, K., & Cooper, A. C. G. (2003). The PIG in sPrInG: evidence on letter grouping from the reading of buried words. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10(4), 939-946.

- Humphreys, G. W., Riddoch, M. J., & Price, C. J. (1997). Top-down processes in object identification: evidence from experimental psychology, neuropsychology and functional anatomy. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 352(1358), 1275-1282. <https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0110>
- Hutzler, F., & Wimmer, H. (2004). Eye movements of dyslexic children when reading in a regular orthography. *Brain and Language*, 89(1), 235-242. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(03\)00401-2](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(03)00401-2)
- Hyönä, J., & Olson, R. K. (1995). Eye fixation patterns among dyslexic and normal readers: effects of word length and word frequency. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(6), 1430-1440.
- Iles, J., Walsh, V., & Richardson, A. (2000). Visual search performance in dyslexia. *Dyslexia (Chichester, England)*, 6(3), 163-177. [https://doi.org/10.1002/1099-0909\(200007/09\)6:3<163::AID-DYS150>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/1099-0909(200007/09)6:3<163::AID-DYS150>3.0.CO;2-U)
- Inhoff, A. W., & Eiter, B. M. (2003). Knowledge of word length does not constrain word identification. *Psychological Research*, 67(1), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s00426-002-0095-4>
- Jacobs, A. M., & Grainger, J. (1992). Testing a semistochastic variant of the interactive activation model in different word recognition experiments. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(4), 1174-1188.
- Jacoby, L. L., & Hayman, C. A. G. (1987). Specific visual transfer in word identification. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(3), 456-463. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.13.3.456>
- Jaffré, J.-P., & Fayol, M. (1997). *Orthographes : des systèmes aux usages*. Paris: Flammarion.
- Joanisse, M. F., Manis, F. R., Keating, P., & Seidenberg, M. S. (2000). Language deficits in dyslexic children: speech perception, phonology, and morphology. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77(1), 30-60. <https://doi.org/10.1006/jecp.1999.2553>
- Johnson, N. F., & Pugh, K. R. (1994). A cohort model of visual word recognition. *Cognitive Psychology*, 26(3), 240-346. <https://doi.org/10.1006/cogp.1994.1008>
- Johnston, R. C., Anderson, M., & Duncan, L. G. (1991). Phonological and visual segmentation skills in poor readers. In M. Snowling & M. Thompson (Éd.), *Dyslexia: Integrating theory and practice* (p. 154-164). London: WHURR PUBL LTD.
- Jordan, T. R. (1990). Presenting Words Without Interior Letters: Superiority Over Single Letters and Influence of Postmask Boundaries. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 16(4), 893.
- Jordan, T. R., Sherman, S. M., & Tonkin, R. P. (2007). Constructing isoluminant stimuli for word recognition research: a precautionary study. *Behavior Research Methods*, 39(3),

494-501.

- Joseph, J. E., Gathers, A. D., & Piper, G. A. (2003). Shared and dissociated cortical regions for object and letter processing. *Cognitive Brain Research*, 17(1), 56-67. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(03\)00080-6](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(03)00080-6)
- Juphard, A., Carbonnel, S., Ans, B., & Valdois, S. (2006). Length effect in naming and lexical decision: the multitrace memory model's account. *Current Psychology Letters. Behaviour, Brain & Cognition*, (19, Vol. 2, 2006). Consulté à l'adresse <http://cpl.revues.org/1005>
- Juphard, A., Carbonnel, S., & Valdois, S. (2004). Length effect in reading and lexical decision: Evidence from skilled readers and a developmental dyslexic participant. *Brain and Cognition*, 55(2), 332-340. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2004.02.035>
- Kaplan, E. (1991). The receptive field of retinal ganglion cells in cat and monkey. In A. G. Leventhan (Éd.), *Vision and visual dysfunction* (p. 10-40). Boston, MA: CRC Press.
- Kaplan, E. (2004). The M, P and K pathways of the primate visual system. In L. M. Chalupa & J. S. Werner (Éd.), *The visual neuroscience* (p. 481-494). Cambridge, MA, USA: MIT.
- Kaplan, E. (2008). 1.16 - The P, M and K Streams of the Primate Visual System: What Do They Do for Vision? A2 - Masland, Richard H. In T. D. Albright, T. D. Albright, R. H. Masland, P. Dallos, D. Oertel, S. Firestein, ... E. P. Gardner (Éd.), *The Senses: A Comprehensive Reference* (p. 369-381). New York: Academic Press. Consulté à l'adresse <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123708809002747>
- Kaplan, E., & Shapley, R. M. (1982). X and Y cells in the lateral geniculate nucleus of macaque monkeys. *The Journal of Physiology*, 330, 125-143.
- Kaplan, E., & Shapley, R. M. (1986). The primate retina contains two types of ganglion cells, with high and low contrast sensitivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 83(8), 2755-2757.
- Karnath, H.-O., Rüter, J., Mandler, A., & Himmelbach, M. (2009). The anatomy of object recognition--visual form agnosia caused by medial occipitotemporal stroke. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 29(18), 5854-5862. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5192-08.2009>
- Keating, E. G. (1975). Effects of prestriate and striate lesions on the monkey's ability to locate and discriminate visual forms. *Experimental Neurology*, 47(1), 16-25. [https://doi.org/10.1016/0014-4886\(75\)90233-2](https://doi.org/10.1016/0014-4886(75)90233-2)
- Kelemen, O., Kiss, I., Benedek, G., & Kéri, S. (2013). Perceptual and cognitive effects of antipsychotics in first-episode schizophrenia: the potential impact of GABA concentration in the visual cortex. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, 47, 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2013.07.024>

- Kennedy, A., Pynte, J., & Ducrot, S. (2002). Parafoveal-on-foveal interactions in word recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 55(4), 1307-1337. <https://doi.org/10.1080/02724980244000071>
- Kennedy, A., Radach, R., Heller, D., & Pynte, J. (2000). Reading as a Perceptual Process? In *Reading as a Perceptual Process* (p. v-vii). Oxford: North-Holland. <https://doi.org/10.1016/B978-008043642-5/50001-2>
- Keuleers, E., Diependaele, K., & Brysbaert, M. (2010). Practice effects in large-scale visual word recognition studies: a lexical decision study on 14,000 dutch mono- and disyllabic words and nonwords. *Frontiers in Psychology*, 1, 174. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2010.00174>
- Keuleers, E., Lacey, P., Rastle, K., & Brysbaert, M. (2011). The British Lexicon Project: Lexical decision data for 28,730 monosyllabic and disyllabic English words. *Behavior Research Methods*, 44(1), 287-304. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0118-4>
- Kinoshita, S. (1987). Case alternation effect: Two types of word recognition? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 39(4), 701-720. <https://doi.org/10.1080/14640748708401810>
- Kinsey, K., Rose, M., Hansen, P., Richardson, A., & Stein, J. (2004). Magnocellular mediated visual-spatial attention and reading ability. *NeuroReport*, 15(14), 2215-2218.
- Kleiner, M., Brainard, D. H., & Pelli, D. G. (2007). What's new in Psychtoolbox-3? In *Perception* (Vol. 36, p. Abstract Supplement).
- Klinger, M. R., Burton, P. C., & Pitts, G. S. (2000). Mechanisms of unconscious priming: I. Response competition, not spreading activation. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 26(2), 441-455.
- Knoblauch, K., Arditi, A., & Szlyk, J. (1991). Effects of chromatic and luminance contrast on reading. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics and Image Science*, 8(2), 428-439.
- Krueger, L. E. (1983). Probing Proctor's priming principle: the effect of simultaneous and sequential presentation on same-different judgments. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 9(3), 511-523.
- Kujala, T., Myllyviita, K., Tervaniemi, M., Alho, K., Kallio, J., & Näätänen, R. (2000). Basic auditory dysfunction in dyslexia as demonstrated by brain activity measurements. *Psychophysiology*, 37(2), 262-266.
- Kveraga, K., Boshyan, J., & Bar, M. (2007). Magnocellular Projections as the Trigger of Top-Down Facilitation in Recognition. *The 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>
- Kwon, M., Legge, G. E., & Dubbels, B. R. (2007). Developmental changes in the visual span for reading. *Vision Research*, *47*(22), 2889-2900. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2007.08.002>
- Lamme, V. A. F. (2010). How neuroscience will change our view on consciousness. *Cognitive Neuroscience*, *1*(3), 204-220. <https://doi.org/10.1080/17588921003731586>
- Lawton, T. (2011). Improving magnocellular function in the dorsal stream remediates reading deficits. *Optometry and Vision Development*, *42*(3), 142-154.
- Lawton, T. (2016). Improving Dorsal Stream Function in Dyslexics by Training Figure/Ground Motion Discrimination Improves Attention, Reading Fluency, and Working Memory. *Frontiers in Human Neuroscience*, *10*, 397. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00397>
- Leat, S. J., Yadav, N. K., & Irving, E. L. (2009). Development of Visual Acuity and Contrast Sensitivity in Children. *Journal of Optometry*, *2*(1), 19-26. <https://doi.org/10.3921/joptom.2009.19>
- Lebreton, K. (2002). Mémoire implicite et effets d'amorçage. Conceptions théoriques, données d'imageire fonctionnelle cérébrale. In S. Vinter & P. Perruchet (Éd.), *Mémoire et apprentissages implicites* (p. 23-49). Besançon: PUFC.
- Lee, B. B. (1996). Receptive field structure in the primate retina. *Vision Research*, *36*(5), 631-644. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(95\)00167-0](https://doi.org/10.1016/0042-6989(95)00167-0)
- Lee, B. B., Pokorny, J., Smith, V. C., Martin, P. R., & Valberg, A. (1990). Luminance and chromatic modulation sensitivity of macaque ganglion cells and human observers. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics and Image Science*, *7*(12), 2223-2236.
- Leeuwen, C. V., & Lachmann, T. (2004). Negative and positive congruence effects in letters and shapes. *Perception & Psychophysics*, *66*(6), 908-925. <https://doi.org/10.3758/BF03194984>
- Lefavrais, P. (2005). *Alouette R*. Paris, France: les Éd. du Centre de psychologie appliquée.
- Legge, G. E. (1978). Sustained and transient mechanisms in human vision: Temporal and spatial properties. *Vision Research*, *18*(1), 69-81. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(78\)90079-2](https://doi.org/10.1016/0042-6989(78)90079-2)
- Legge, G. E., Ahn, S. J., Klitz, T. S., & Luebker, A. (1997). Psychophysics of reading—XVI. The visual span in normal and low vision. *Vision Research*, *37*(14), 1999-2010. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(97\)00017-5](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(97)00017-5)

- Legge, G. E., Parish, D. H., Luebker, A., & Wurm, L. H. (1990). Psychophysics of reading. XI. Comparing color contrast and luminance contrast. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics and Image Science*, 7(10), 2002-2010.
- Legge, G. E., Pelli, D. G., Rubin, G. S., & Schleske, M. M. (1985). Psychophysics of reading—I. Normal vision. *Vision Research*, 25(2), 239-252. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(85\)90117-8](https://doi.org/10.1016/0042-6989(85)90117-8)
- Lehky, S. R. (2000). Fine discrimination of faces can be performed rapidly. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 848-855.
- Lenoble, Q., Amieva, H., & Delord, S. (2012). Alterations of the contrast gain during normal aging : a dissociation between the magnocellular and parvocellular signatures for old and very-old groups. *Journal of Vision*, (12), 1214. <https://doi.org/10.1167/12.9.1214>
- Lenoble, Q., Bordaberry, P., Rougier, M.-B., Boucart, M., & Delord, S. (2013). Influence of visual deficits on object categorization in normal aging. *Experimental Aging Research*, 39(2), 145-161. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2013.761910>
- Leonova, A., Pokorny, J., & Smith, V. C. (2003). Spatial frequency processing in inferred PC- and MC-pathways. *Vision Research*, 43(20), 2133-2139. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(03\)00333-X](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(03)00333-X)
- Lété, B., & Pynte, J. (2003). Word-shape and word-lexical-frequency effects in lexical-decision and naming tasks. *Visual Cognition*, 10(8), 913-948. <https://doi.org/10.1080/13506280344000112>
- Lété, B., Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2004). MANULEX: a grade-level lexical database from French elementary school readers. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers: A Journal of the Psychonomic Society, Inc*, 36(1), 156-166.
- Levy, T., Walsh, V., & Lavidor, M. (2010). Dorsal stream modulation of visual word recognition in skilled readers. *Vision Research*, 50(9), 883-888. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.02.019>
- Leybaert, J., & Content, A. (1995). Reading and spelling acquisition in two different teaching methods: A test of the independence hypothesis. *Reading and Writing*, 7(1), 65-88. <https://doi.org/10.1007/BF01026948>
- Lim, S. W. H. (2016). The Influence of Orthographic Neighborhood Density and Word Frequency on Visual Word Recognition: Insights from RT Distributional Analyses. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00401>
- Livingstone, M. S., & Hubel, D. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science (New York, N.Y.)*, 240(4853), 740-749.
- Livingstone, M. S., & Hubel, D. H. (1987). Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *The Journal of Neuroscience: The*

- Official Journal of the Society for Neuroscience*, 7(11), 3416-3468.
- Livingstone, M. S., Rosen, G. D., Drislane, F. W., & Galaburda, A. M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88(18), 7943-7947.
- Longcamp, M., Anton, J.-L., Roth, M., & Velay, J.-L. (2003). Visual presentation of single letters activates a premotor area involved in writing. *NeuroImage*, 19(4), 1492-1500.
- Lovegrove, W. J., Bowling, A., Badcock, D., & Blackwood, M. (1980). Specific reading disability: differences in contrast sensitivity as a function of spatial frequency. *Science (New York, N.Y.)*, 210(4468), 439-440.
- Luna, D., & Montoro, P. R. (2008). The distortion of spatial relationships between local elements in hierarchical patterns decreases the global advantage effect. *Psychological Research*, 72(2), 168-175. <https://doi.org/10.1007/s00426-006-0099-6>
- Lupker, S. J. (2005). Visual Word Recognition: Theories and Findings. In Margaret J. Snowling & C. Hulme (Éd.), *The Science of Reading: A Handbook* (p. 39-60). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470757642.ch3>
- Lupyan, G., Thompson-Schill, S. L., & Swingle, D. (2010). Conceptual Penetration of Visual Processing. *Psychological science*, 21(5), 682-691. <https://doi.org/10.1177/0956797610366099>
- Lyon, G. R. (1995). Toward a definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 45(1), 1-27. <https://doi.org/10.1007/BF02648210>
- Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53(1), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11881-003-0001-9>
- Macé, M. J.-M., Thorpe, S. J., & Fabre-Thorpe, M. (2005). Rapid categorization of achromatic natural scenes: how robust at very low contrasts? *The European Journal of Neuroscience*, 21(7), 2007-2018. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2005.04029.x>
- MacLeod, C. M., & Kampe, K. E. (1996). Word frequency effects on recall, recognition, and word fragment completion tests. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 22(1), 132-142.
- Majaj, N. J., Pelli, D. G., Kurshan, P., & Palomares, M. (2002). The role of spatial frequency channels in letter identification. *Vision Research*, 42(9), 1165-1184. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(02\)00045-7](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(02)00045-7)
- Makris, N., & Pandya, D. N. (2009). The extreme capsule in humans and rethinking of the language circuitry. *Brain structure & function*, 213(3), 343-358. <https://doi.org/10.1007/s00429-008-0199-8>

- Marcel, A. J. (1983). Conscious and unconscious perception: Experiments on visual masking and word recognition. *Cognitive Psychology*, 15(2), 197-237. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(83\)90009-9](https://doi.org/10.1016/0010-0285(83)90009-9)
- Marendaz, C., Rousset, S., & Charnallet, A. (2003). La reconnaissance des scènes et des visages. In *Perception et réalité, une introduction à la psychologie des perceptions* (p. 247-274). Paris: De Boeck. Consulté à l'adresse https://www.cairn.info/load_pdf.php?download=1&ID_ARTICLE=DBU_DELOR_2003_01_0247
- Marr, D. (1983). *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. San Francisco, CA: Henry Holt and Company.
- Marr, D., & Nishihara, H. K. (1978). Representation and Recognition of the Spatial Organization of Three-Dimensional Shapes. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 200(1140), 269-294. <https://doi.org/10.1098/rspb.1978.0020>
- Marshall, J. C., & Newcombe, F. (1973). Patterns of paralexia: A psycholinguistic approach. *Journal of Psycholinguistic Research*, 2(3), 175-199. <https://doi.org/10.1007/BF01067101>
- Martens, V. E. G., & de Jong, P. F. (2006). The effect of word length on lexical decision in dyslexic and normal reading children. *Brain and Language*, 98(2), 140-149. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2006.04.003>
- Martin, A., Schurz, M., Kronbichler, M., & Richlan, F. (2015). Reading in the brain of children and adults: A meta-analysis of 40 functional magnetic resonance imaging studies. *Human Brain Mapping*, 36(5), 1963-1981. <https://doi.org/10.1002/hbm.22749>
- Masland, R. H. (2001). The fundamental plan of the retina. *Nature Neuroscience*, 4(9), nn0901-877-877. <https://doi.org/10.1038/nn0901-877>
- Masson, M. E. J. (1986). Comprehension of rapidly presented sentences: The mind is quicker than the eye. *Journal of Memory and Language*, 25(5), 588-604. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(86\)90013-6](https://doi.org/10.1016/0749-596X(86)90013-6)
- Masterson, J., Laxon, V., & Stuart, M. (1992). Beginning reading with phonology. *British Journal of Psychology*, 83(1), 1-12. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1992.tb02420.x>
- Mathey, S. (2001). The influence of visualization of orthography on the recognition of written words. *Canadian journal of experimental psychology = Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 55(1), 1-23.
- Mathey, S., Rativeau, S., Jourdain, C., & Zagar, D. (2000). L'évaluation des compétences en lecture des enfants : utilisation de mesures chronométriques. *Revue de Psychologie de l'éducation*, 1, 1-17.
- Mathey, S., & Zagar, D. (1996). Rôle du voisinage orthographique lors de la reconnaissance

- visuelle de mots de 4, 6 et 8 lettres. *Revue de Neuropsychologie*, 6(2), 205-217.
- Mathey, S., & Zagar, D. (2000). The neighborhood distribution effect in visual word recognition: Words with single and twin neighbors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(1), 184-205. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.26.1.184>
- Mathey, S., & Zagar, D. (2006). The orthographic neighbourhood frequency effect in French: a letter-case manipulation study. *Canadian Journal of Experimental Psychology = Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 60(2), 159-165.
- Maunsell, J. H., Nealey, T. A., & DePriest, D. D. (1990). Magnocellular and parvocellular contributions to responses in the middle temporal visual area (MT) of the macaque monkey. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 10(10), 3323-3334.
- Mayall, K. (2002). Case-mixing effects on children's word recognition: lexical feedback and development. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 55(2), 525-542. <https://doi.org/10.1080/02724980143000334>
- Mayall, K., & Humphreys, G. W. (1996). Case mixing and the task-sensitive disruption of lexical processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22(2), 278-294. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.22.2.278>
- Mayall, K., Humphreys, G. W., & Olson, A. (1997). Disruption to word or letter processing? The origins of case-mixing effects. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 23(5), 1275-1286.
- Mazoyer, B. M., Tzourio, N., Frak, V., Syrota, A., Murayama, N., Levrier, O., ... Mehler, J. (1993). The cortical representation of speech. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5(4), 467-479. <https://doi.org/10.1162/jocn.1993.5.4.467>
- McAnany, J. J., & Alexander, K. R. (2006). Contrast sensitivity for letter optotypes vs. gratings under conditions biased toward parvocellular and magnocellular pathways. *Vision Research*, 46(10), 1574-1584. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.08.019>
- McAnany, J. J., & Alexander, K. R. (2008). Spatial frequencies used in Landolt C orientation judgments: Relation to inferred magnocellular and parvocellular pathways. *Vision Research*, 48(26), 2615-2624. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.02.012>
- McCandliss, B. D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(7), 293-299. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00134-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00134-7)
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: I. An account of basic findings. *Psychological Review*, 88(5), 375-407. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.88.5.375>

- McCloskey, M., & Schubert, T. (2014). Shared versus separate processes for letter and digit identification. *Cognitive Neuropsychology*, *31*(5-6), 437-460. <https://doi.org/10.1080/02643294.2013.869202>
- McConkie, G. W., & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, *17*(6), 578-586. <https://doi.org/10.3758/BF03203972>
- McCulloch, D. L., & Skarf, B. (1991). Development of the human visual system: monocular and binocular pattern VEP latency. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *32*(8), 2372-2381.
- Mcginnies, E., Comer, P. B., & Lacey, O. L. (1952). Visual-recognition thresholds as a function of word length and word frequency. *Journal of Experimental Psychology*, *44*(2), 65-69.
- 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>
- McNorgan, C., Alvarez, A., Bhullar, A., Gayda, J., & Booth, J. R. (2011). Prediction of reading skill several years later depends on age and brain region: implications for developmental models of reading. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *31*(26), 9641-9648. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0334-11.2011>
- Merigan, W. H., & Eskin, T. A. (1986). Spatio-temporal vision of macaques with severe loss of P β retinal ganglion cells. *Vision Research*, *26*(11), 1751-1761. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(86\)90125-2](https://doi.org/10.1016/0042-6989(86)90125-2)
- Merigan, W. H., Katz, L. M., & Maunsell, J. H. (1991). The effects of parvocellular lateral geniculate lesions on the acuity and contrast sensitivity of macaque monkeys. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *11*(4), 994-1001.
- Merigan, W. H., & Maunsell, J. H. (1993). How parallel are the primate visual pathways? *Annual Review of Neuroscience*, *16*, 369-402. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.16.030193.002101>
- Merikle, P. M., & Joordens, S. (1997). Parallels between Perception without Attention and Perception without Awareness. *Consciousness and Cognition*, *6*(2-3), 219-236. <https://doi.org/10.1006/ccog.1997.0310>
- Michimata, C., Okubo, M., & Mugishima, Y. (1999). Effects of background color on the global and local processing of hierarchically organized stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *11*(1), 1-8.

- Miles, T. R., & Miles, E. (1990). *Dyslexia: A Hundred Years on*. McGraw-Hill Education (UK).
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1996). *The Visual Brain in Action*. Oxford University Press.
- Milner, B. (1968). Visual recognition and recall after right temporal-lobe excision in man. *Neuropsychologia*, *6*(3), 191-209. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(68\)90019-5](https://doi.org/10.1016/0028-3932(68)90019-5)
- 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)
- Monk, A. F., & Hulme, C. (1983). Errors in proofreading: Evidence for the use of word shape in word recognition. *Memory & Cognition*, *11*(1), 16-23. <https://doi.org/10.3758/BF03197657>
- Morais, J. (1994). *L'art de lire* (Odile Jacob). Paris.
- Morris, R. K., Rayner, K., & Pollatsek, A. (1990). Eye movement guidance in reading: the role of parafoveal letter and space information. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*(2), 268-281.
- Mueller, S. T., & Weidemann, C. T. (2012). Alphabetic letter identification: Effects of perceivability, similarity, and bias. *Acta Psychologica*, *139*(1), 19-37. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2011.09.014>
- Nassi, J. J., & Callaway, E. M. (2007). Specialized Circuits from Primary Visual Cortex to V2 and Area MT. *Neuron*, *55*(5), 799-808. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.07.037>
- Nassi, J. J., & Callaway, E. M. (2009). Parallel processing strategies of the primate visual system. *Nature Reviews. Neuroscience*, *10*(5), 360-372. <https://doi.org/10.1038/nrn2619>
- Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, *9*(3), 353-383. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(77\)90012-3](https://doi.org/10.1016/0010-0285(77)90012-3)
- Navon, D. (2003). What does a compound letter tell the psychologist's mind? *Acta Psychologica*, *114*(3), 273-309. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2003.06.002>
- Nazir, T. A. (1991). On the role of refixations in letter strings: the influence of oculomotor factors. *Perception & Psychophysics*, *49*(4), 373-389.
- Nazir, T. A. (2000). Traces of print along the visual pathway. In A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte (Éd.), *Reading as a perceptual process* (p. 3-22). Amsterdam, Netherlands: North-Holland/Elsevier Science Publishers.
- Nazir, T. A., Ben-Boutayab, N., Decoppet, N., Deutsch, A., & Frost, R. (2004). Reading habits, perceptual learning, and recognition of printed words. *Brain and Language*,

- 88(3), 294-311. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(03\)00168-8](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(03)00168-8)
- Nazir, T. A., Heller, D., & Sussmann, C. (1992). Letter visibility and word recognition: The optimal viewing position in printed words. *Perception & Psychophysics*, 52(3), 315-328. <https://doi.org/10.3758/BF03209148>
- Nazir, T. A., & Huckauf, A. (2006). The Visual Skill “Reading”. In *Single Word reading : Cognitive, Behavioral and Biological Perspectives* (LEA Books). Grigorenko & Naples. Consulté à l'adresse https://www.researchgate.net/publication/229001738_The_Visual_Skill_Reading
- Nazir, T. A., O'Regan, J. K., & Jacobs, A. M. (1991). On words and their letters. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 29(2), 171-174. <https://doi.org/10.3758/BF03335227>
- Nealey, T. A., & Maunsell, J. H. (1994). Magnocellular and parvocellular contributions to the responses of neurons in macaque striate cortex. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 14(4), 2069-2079.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- New, B., Ferrand, L., Pallier, C., & Brysbaert, M. (2006). Reexamining the word length effect in visual word recognition: new evidence from the English Lexicon Project. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(1), 45-52.
- New, B., Pallier, C., Ferrand, L., & Matos, R. (2001). Une base de données lexicales du français contemporain sur internet : LEXIQUETM//A lexical database for contemporary french : LEXIQUETM. *L'année psychologique*, 101(3), 447-462. <https://doi.org/10.3406/psy.2001.1341>
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Dean, P. (2001). Developmental dyslexia: the cerebellar deficit hypothesis. *Trends in Neurosciences*, 24(9), 508-511.
- Nowak, L. G., Munk, M. H., Girard, P., & Bullier, J. (1995). Visual latencies in areas V1 and V2 of the macaque monkey. *Visual Neuroscience*, 12(2), 371-384.
- O'Donnell, B. F., Swearer, J. M., Smith, L. T., Nestor, P. G., Shenton, M. E., & McCarley, R. W. (1996). Selective deficits in visual perception and recognition in schizophrenia. *The American Journal of Psychiatry*, 153(5), 687-692. <https://doi.org/10.1176/ajp.153.5.687>
- Ojanpää, H., & Näsänen, R. (2003). Utilisation of spatial frequency information in face search. *Vision Research*, 43(24), 2505-2515.
- Oliva, A., & Schyns, P. G. (1997). Coarse Blobs or Fine Edges? Evidence That Information Diagnosticity Changes the Perception of Complex Visual Stimuli. *Cognitive Psychology*, 34(1), 72-107. <https://doi.org/10.1006/cogp.1997.0667>
- Omtzigt, D., Hendriks, A. W., & Kolk, H. H. . (2002). Evidence for magnocellular involvement in the identification of flanked letters. *Neuropsychologia*, 40(12),

- 1881-1890. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00069-6](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00069-6)
- O'Regan, J. K. (1992). Solving the « real » mysteries of visual perception: the world as an outside memory. *Canadian Journal of Psychology*, *46*(3), 461-488.
- O'Regan, J. K., & Jacobs, A. M. (1992). Optimal Viewing Position Effect in Word Recognition: A Challenge to Current Theory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*(1), 185-197.
- O'Regan, J. K., Lévy-Schoen, A., & Jacobs, A. M. (1983). The effect of visibility on eye-movement parameters in reading. *Perception & Psychophysics*, *34*(5), 457-464. <https://doi.org/10.3758/BF03203061>
- O'Regan, J. K., Lévy-Schoen, A., Pynte, J., & Brugailière, B. (1984). Convenient fixation location within isolated words of different length and structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *10*(2), 250-257. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.10.2.250>
- O'Regan, K., & Lévy-Schoen, A. (1978). Les mouvements des yeux au cours de la lecture. *L'année psychologique*, *78*(2), 459-491. <https://doi.org/10.3406/psy.1978.28259>
- Ortega, E., & Lété, B. (2010). eManulex: Electronic version of Manulex and Manulex-infra databases. Consulté à l'adresse <http://www.manulex.org>
- Overgaard, M., FehI, K., Mouridsen, K., Bergholt, B., & Cleeremans, A. (2008). Seeing without Seeing? Degraded Conscious Vision in a Blindsight Patient. *PLoS ONE*, *3*(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003028>
- Paap, K. R., Newsome, S. L., McDonald, J. E., & Schvaneveldt, R. W. (1982). An activation-verification model for letter and word recognition: the word-superiority effect. *Psychological Review*, *89*(5), 573-594.
- Paap, K. R., Newsome, S. L., & Noel, R. W. (1984). Word shape's in poor shape for the race to the lexicon. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *10*(3), 413-428. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.10.3.413>
- Pammer, K., Hansen, P. C., Kringelbach, M. L., Holliday, I., Barnes, G., Hillebrand, A., ... Cornelissen, P. L. (2004). Visual word recognition: the first half second. *NeuroImage*, *22*(4), 1819-1825. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.05.004>
- Pammer, K., & Vidyasagar, T. R. (2005). Integration of the visual and auditory networks in dyslexia: a theoretical perspective. *Journal of Research in Reading*, *28*(3), 320-331. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2005.00272.x>
- Pasupathy, A., & Connor, C. E. (1999). Responses to contour features in macaque area V4. *Journal of Neurophysiology*, *82*(5), 2490-2502.
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: transforming

- numbers into movies. *Spatial Vision*, 10(4), 437-442.
- Pelli, D. G., Farell, B., & Moore, D. C. (2003). The remarkable inefficiency of word recognition. *Nature*, 423(6941), 752-756. <https://doi.org/10.1038/nature01516>
- Pellicano, E., & Gibson, L. Y. (2008). Investigating the functional integrity of the dorsal visual pathway in autism and dyslexia. *Neuropsychologia*, 46(10), 2593-2596. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.04.008>
- Perea, M., & Pollatsek, A. (1998). The effects of neighborhood frequency in reading and lexical decision. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 24(3), 767-779.
- Perea, M., & Rosa, E. (2002). Does “whole-word shape” play a role in visual word recognition? *Perception & Psychophysics*, 64(5), 785-794. <https://doi.org/10.3758/BF03194745>
- Peyrin, C., Baciú, M., Segebarth, C., & Marendaz, C. (2004). Cerebral regions and hemispheric specialization for processing spatial frequencies during natural scene recognition. An event-related fMRI study. *NeuroImage*, 23(2), 698-707. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.06.020>
- Peyrin, C., Chauvin, A., Chokron, S., & Marendaz, C. (2003). Hemispheric specialization for spatial frequency processing in the analysis of natural scenes. *Brain and Cognition*, 53(2), 278-282.
- Peyrin, C., Michel, C. M., Schwartz, S., Thut, G., Seghier, M., Landis, T., ... Vuilleumier, P. (2010). The Neural Substrates and Timing of Top-Down Processes during Coarse-to-Fine Categorization of Visual Scenes: A Combined fMRI and ERP Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(12), 2768-2780. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21424>
- Peyrin, C., Schwartz, S., Seghier, M., Michel, C., Landis, T., & Vuilleumier, P. (2005). Hemispheric specialization of human inferior temporal cortex during coarse-to-fine and fine-to-coarse analysis of natural visual scenes. *NeuroImage*, 28(2), 464-473. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.06.006>
- Plainis, S., & Murray, I. . (2000). Neurophysiological interpretation of human visual reaction times: effect of contrast, spatial frequency and luminance. *Neuropsychologia*, 38(12), 1555-1564. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(00\)00100-7](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(00)00100-7)
- Plaut, D. C., & Booth, J. R. (2000). Individual and Developmental Differences in Semantic Priming: Empirical and Computational Support for a Single-Mechanism Account of Lexical Processing. *Psychological Review*, 107(4), 786-823.
- Poirel, N., Pineau, A., & Mellet, E. (2008). What does the nature of the stimuli tell us about the Global Precedence Effect? *Acta Psychologica*, 127(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2006.12.001>

- Pokorny, J. (2011). Review: Steady and pulsed pedestals, the how and why of post-receptoral pathway separation. *Journal of Vision*, *11*(5). <https://doi.org/10.1167/11.5.7>
- Pokorny, J., & Smith, V. C. (1997). Psychophysical signatures associated with magnocellular and parvocellular pathway contrast gain. *Journal of the Optical Society of America A*, *14*(9), 2477-2486. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.14.002477>
- Polk, T. A., Stallcup, M., Aguirre, G. K., Alsop, D. C., D'Esposito, M., Detre, J. A., & Farah, M. J. (2002). Neural specialization for letter recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*(2), 145-159. <https://doi.org/10.1162/089892902317236803>
- Pollatsek, A., Perea, M., & Carreiras, M. (2005). Does conal prime CANAL more than cinal? Masked phonological priming effects in Spanish with the lexical decision task. *Memory & Cognition*, *33*(3), 557-565.
- Pomerantz, J. R. (2007). Piecemeal Perception and Hochberg's Window: Grouping of Stimulus Elements over Distances. In M. A. Peterson, B. Gilliam, & H. A. Sedgwick (Éd.), *the Mind's Eye: Julian Hochberg's Contributions to Our Understanding of the Perception of Pictures, Film, and the World*. New-York: Oxford University Press.
- Pöppel, E., Held, R., & Frost, D. (1973). Residual Visual Function after Brain Wounds involving the Central Visual Pathways in Man. *Nature*, *243*(5405), 295-296. <https://doi.org/10.1038/243295a0>
- Protopapas, A., & Kapnoula, E. C. (2016). Short-term and long-term effects on visual word recognition. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *42*(4), 542-565. <https://doi.org/10.1037/xlm0000191>
- Puce, A., Allison, T., Asgari, M., Gore, J. C., & McCarthy, G. (1996). Differential sensitivity of human visual cortex to faces, letterstrings, and textures: a functional magnetic resonance imaging study. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *16*(16), 5205-5215.
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., ... Shaywitz, B. A. (2000). Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, *6*(3), 207-213. [https://doi.org/10.1002/1098-2779\(2000\)6:3<207::AID-MRDD8>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1098-2779(2000)6:3<207::AID-MRDD8>3.0.CO;2-P)
- Rack, J. P., Snowling, M. J., & Olson, R. K. (1992). The Nonword Reading Deficit in Developmental Dyslexia: A Review. *Reading Research Quarterly*, *27*(1), 29-53. <https://doi.org/10.2307/747832>
- Rakic, P. (1977). Prenatal Development of the Visual System in Rhesus Monkey. *PubMed Labs*. Consulté à l'adresse <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/labs/pubmed/19781/>
- Ramus, F. (2001). Outstanding questions about phonological processing in dyslexia. *Dyslexia (Chichester, England)*, *7*(4), 197-216. <https://doi.org/10.1002/dys.205>

- Ramus, F. (2003). Dyslexie développementale : déficit phonologique spécifique ou trouble sensorimoteur global ? *Médecine & enfance*, 23(4), 255-258.
- Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain: A Journal of Neurology*, 126(Pt 4), 841-865.
- Rasengane, T. A., Allen, D., & Manny, R. E. (1997). Development of temporal contrast sensitivity in human infants. *Vision Research*, 37(13), 1747-1754. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(96\)00300-8](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(96)00300-8)
- Rauschecker, J. P., & Scott, S. K. (2009). Maps and streams in the auditory cortex: nonhuman primates illuminate human speech processing. *Nature neuroscience*, 12(6), 718-724. <https://doi.org/10.1038/nn.2331>
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422.
- Rayner, K., & McConkie, G. W. (1976). What guides a reader's eye movements? *Vision Research*, 16(8), 829-837. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(76\)90143-7](https://doi.org/10.1016/0042-6989(76)90143-7)
- Rayner, K., Pollatsek, A., Ashby, J., & Clifton, C. J. (2012). *Psychology of Reading: 2nd Edition*. Psychology Press.
- Rayner, K., Sereno, S. C., & Raney, G. E. (1996). Eye movement control in reading: a comparison of two types of models. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 22(5), 1188-1200.
- Rayner, K., Well, A. D., Pollatsek, A., & Bertera, J. H. (1982). The availability of useful information to the right of fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, 31(6), 537-550. <https://doi.org/10.3758/BF03204186>
- Reitsma, P. (1978). Changes in letter processing in beginning readers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 25(2), 315-325. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(78\)90085-1](https://doi.org/10.1016/0022-0965(78)90085-1)
- Rensink, R. A. (2000). Seeing, sensing, and scrutinizing. *Vision Research*, 40(10-12), 1469-1487. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(00\)00003-1](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(00)00003-1)
- Richards, L. G., & Heller, F. P. (1976). Recognition Thresholds as a Function of Word Length. *The American Journal of Psychology*, 89(3), 455-466. <https://doi.org/10.2307/1421618>
- Riesenhuber, M., & Poggio, T. (2000). Models of object recognition. *Nature Neuroscience*, 3, 1199-1204. <https://doi.org/10.1038/81479>
- Riesenhuber, M., & Poggio, T. (2002). Neural mechanisms of object recognition. *Current Opinion in Neurobiology*, 12(2), 162-168. <https://doi.org/10.1016/S0959->

4388(02)00304-5

- Robert, C., & Mathey, S. (2012). The effect of prime duration in masked orthographic priming depends on neighborhood distribution. *Language and Speech, 55*(2), 249-262. <https://doi.org/10.1177/0023830911417796>
- Robertson, L. C., Lamb, M. R., & Knight, R. T. (1988). Effects of lesions of temporal-parietal junction on perceptual and attentional processing in humans. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience, 8*(10), 3757-3769.
- Rodieck, R. W. (1998). *The First Steps in Seeing* (1st edition). Sunderland, Mass: Sinauer Associates is an imprint of Oxford University Press.
- Roe, A. W., & Ts'o, D. Y. (1995). Visual topography in primate V2: multiple representation across functional stripes. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience, 15*(5 Pt 2), 3689-3715.
- Roediger, H. L., & Blaxton, T. A. (1987). Effects of varying modality, surface features, and retention interval on priming in word-fragment completion. *Memory & Cognition, 15*(5), 379-388. <https://doi.org/10.3758/BF03197728>
- Rosenthal, V., & Visetti, Y.-M. (1999). Sens et temps de la Gestalt. *Intellectica, (1)*, 148-227.
- Rubenstein, H., Garfield, L., & Millikan, J. A. (1970). Homographic entries in the internal lexicon. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 9*(5), 487-494.
- Rueckl, J. G., & Seidenberg, M. S. (2009). Computational modeling and the neural bases of reading and reading disorders. In K. R. Pugh & P. McCardle (Éd.), *How children learn to read: Current issues and new directions in the integration of cognition, neurobiology and genetics of reading and dyslexia research and practice* (p. 101-133). New York: Psychology Press.
- Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1982). An interactive activation model of context effects in letter perception: II. The contextual enhancement effect and some tests and extensions of the model. *Psychological Review, 89*(1), 60-94. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.89.1.60>
- Salmelin, R., Service, E., Kiesilä, P., Uutela, K., & Salonen, O. (1996). Impaired visual word processing in dyslexia revealed with magnetoencephalography. *Annals of Neurology, 40*(2), 157-162. <https://doi.org/10.1002/ana.410400206>
- Samuels, S. J., LaBerge, D., & Bremer, C. D. (1978). Units of word recognition: Evidence for developmental changes. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 17*(6), 715-720. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(78\)90433-4](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(78)90433-4)
- Sandack, R., Frost, S. J., Rueckl, J. G., Landi, N., Mencl, W. E., Katz, L., & R. Pugh, K. (2012). How does the brain read words? In M. Spivey, M. F. Joanisse, & K. McRae (Éd.), *The Cambridge handbook of psycholinguistics* (p. 218-235). New York:

Cambridge University Press.

- Schacter, D. L. (1990). Perceptual representation systems and implicit memory. Toward a resolution of the multiple memory systems debate. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 608, 543-567; discussion 567-571.
- Schacter, D. L. (1992). Priming and multiple memory systems: perceptual mechanisms of implicit memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(3), 244-256. <https://doi.org/10.1162/jocn.1992.4.3.244>
- Schacter, D. L. (1994). Implicit knowledge: new perspectives on unconscious processes. *International Review of Neurobiology*, 37, 271-284; discussion 285-288.
- Schacter, D. L., Bowers, J., & Booker, J. (1989). Intention, Awareness, and Implicit Memory: The Retrieval Intentionality Criterion. In S. Lewandowsky, J. M. Dunn, & K. Kirsner (Éd.), *Implicit Memory: Theoretical Issues*. Lawrence Erlbaum.
- Schacter, D. L., Cooper, L. A., & Delaney, S. M. (1990). Implicit memory for unfamiliar objects depends on access to structural descriptions. *Journal of Experimental Psychology. General*, 119(1), 5-24.
- Schiller, P. H., Logothetis, N. K., & Charles, E. R. (1990a). Functions of the colour-opponent and broad-band channels of the visual system. *Nature*, 343(6253), 68-70. <https://doi.org/10.1038/343068a0>
- Schiller, P. H., Logothetis, N. K., & Charles, E. R. (1990b). Role of the color-opponent and broad-band channels in vision. *Visual Neuroscience*, 5(4), 321-346.
- Schubert, T., Badcock, N., & Kohnen, S. (2017). Development of children's identity and position processing for letter, digit, and symbol strings: A cross-sectional study of the primary school years. *Journal of Experimental Child Psychology*, 162, 163-180. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.05.008>
- Schubert, T., & McCloskey, M. (2013). Prelexical representations and processes in reading: evidence from acquired dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 30(6), 360-395. <https://doi.org/10.1080/02643294.2014.880677>
- Schulte-Körne, G., & Bruder, J. (2010). Clinical neurophysiology of visual and auditory processing in dyslexia: a review. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 121(11), 1794-1809. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2010.04.028>
- Schulte-Körne, G., Deimel, W., Bartling, J., & Remschmidt, H. (1998). Auditory processing and dyslexia: evidence for a specific speech processing deficit. *Neuroreport*, 9(2), 337-340.
- Schyns, P. G., & Oliva, A. (1994). From Blobs to Boundary Edges: Evidence for Time- and Spatial-Scale-Dependent Scene Recognition. *Psychological Science*, 5(4), 195-200. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1994.tb00500.x>

- Schyns, P. G., & Oliva, A. (1999). Dr. Angry and Mr. Smile: when categorization flexibly modifies the perception of faces in rapid visual presentations. *Cognition*, *69*(3), 243-265.
- Segui, J., & Grainger, J. (1990). Priming word recognition with orthographic neighbors: effects of relative prime-target frequency. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *16*(1), 65-76.
- Seidenberg, M. S. (1992). Dyslexia in a computational model of word recognition in reading. In P. B. Gough, L. C. Ehri, & R. Treiman (Éd.), *Reading acquisition* (p. 243-273). Hillsdale, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Seymour, P. H. K., Aro, M., & Erskine, J. M. (2003). Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology*, *94*(2), 143-174. <https://doi.org/10.1348/000712603321661859>
- Seymour, P. H. K., & Elder, L. (1986). Beginning reading without phonology. *Cognitive Neuropsychology*, *3*(1), 1-36. <https://doi.org/10.1080/02643298608252668>
- Shapley, R. (1990). Visual Sensitivity and Parallel Retinocortical Channels. *Annual Review of Psychology*, *41*(1), 635-658. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.41.020190.003223>
- Share, D. L., Jorm, A. F., Maclean, R., & Matthews, R. (2002). Temporal processing and reading disability. *Reading and Writing*, *15*(1-2), 151-178. <https://doi.org/10.1023/A:1013876606178>
- Siegel, L. S. (2006). Perspectives on dyslexia. *Paediatrics & Child Health*, *11*(9), 581-587. <https://doi.org/10.1093/pch/11.9.581>
- Sigman, M., Pan, H., Yang, Y., Stern, E., Silbersweig, D., & Gilbert, C. D. (2005). Top-Down Reorganization of Activity in the Visual Pathway after Learning a Shape Identification Task. *Neuron*, *46*(5), 823-835. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.05.014>
- Silverstein, S., Keane, B. P., Blake, R., Giersch, A., Green, M., & Kéri, S. (2015). Vision in schizophrenia: why it matters. *Frontiers in Psychology*, *6*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00041>
- Skarratt, P. A., McDonald, S., & Lavidor, M. (2008). Evidence for word length coding during visual word recognition. *European Journal of Cognitive Psychology*, *20*(1), 12-32. <https://doi.org/10.1080/09541440601046647>
- 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)
- Skottun, B. C. (2005). Magnocellular reading and dyslexia. *Vision Research*, *45*(1), 133-134. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2003.09.039>
- Skottun, B. C. (2013a). On using isoluminant stimuli to separate magno- and parvocellular

- responses in psychophysical experiments—A few words of caution. *Behavior Research Methods*, 45(3), 637-645. <https://doi.org/10.3758/s13428-012-0290-1>
- Skottun, B. C. (2013b). On using very high temporal frequencies to isolate magnocellular contributions to psychophysical tasks. *Neuropsychologia*, 51(8), 1556-1560. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.05.009>
- 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., & Parke, L. A. (1999). The possible relationship between visual deficits and dyslexia: examination of a critical assumption. *Journal of Learning Disabilities*, 32(1), 2-5. <https://doi.org/10.1177/002221949903200101>
- Skottun, B. C., & Skoyles, J. R. (2006). Attention, reading and dyslexia. *Clinical and Experimental Optometry*, 89(4), 241-245. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2006.00052.x>
- Skottun, B. C., & Skoyles, J. R. (2008). Visual search: Magno- and parvocellular systems or color and luminance processes? *International Journal of Neuroscience*, 118(9), 1259-1267. <https://doi.org/10.1080/00207450701239434>
- 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>
- Slaghuis, W. L., & Ryan, J. F. (1999). Spatio-temporal contrast sensitivity, coherent motion, and visible persistence in developmental dyslexia. *Vision Research*, 39(3), 651-668.
- Smith, F. (1969). Familiarity of configuration vs discriminability of features in the visual identification of words. *Psychonomic Science*, 14(6), 261-262. <https://doi.org/10.3758/BF03329112>
- Smith, P. T., Jordan, T. R., & Sharma, D. (1991). A connectionist model of visual-word recognition that accounts for interactions between mask size and word length. *Psychological Research*, 53(1), 80-87. <https://doi.org/10.1007/BF00867335>
- Smith, V. C., Lee, B. B., Pokorny, J., Martin, P. R., & Valberg, A. (1992). Responses of macaque ganglion cells to the relative phase of heterochromatically modulated lights. *The Journal of Physiology*, 458, 191-221.
- Snowling, M. J. (2000). *Dyslexia* (2nd edition). Malden, MA: WB.
- Sokol, S., & Jones, K. (1979). Implicit time of pattern evoked potentials in infants: An index of maturation of spatial vision. *Vision Research*, 19(7), 747-755. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(79\)90150-0](https://doi.org/10.1016/0042-6989(79)90150-0)

- Solomon, J. A., & Pelli, D. G. (1994). The visual filter mediating letter identification. *Nature*, 369(6479), 395-397. <https://doi.org/10.1038/369395a0>
- Solomon, S. G., White, A. J. R., & Martin, P. R. (2002). Extraclassical receptive field properties of parvocellular, magnocellular, and koniocellular cells in the primate lateral geniculate nucleus. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 22(1), 338-349.
- Sperling, A. J., Lu, Z.-L., Manis, F. R., & Seidenberg, M. S. (2005). Deficits in perceptual noise exclusion in developmental dyslexia. *Nature Neuroscience*, 8(7), 862-863. <https://doi.org/10.1038/nn1474>
- Spieler, D. H., & Balota, D. A. (2000). Factors influencing word naming in younger and older adults. *Psychology and Aging*, 15(2), 225-231.
- Spinelli, D., Luca, M. D., Filippo, G. D., Mancini, M., Martelli, M., & Zoccolotti, P. (2005). Length Effect in Word Naming in Reading: Role of Reading Experience and Reading Deficit in Italian Readers. *Developmental Neuropsychology*, 27(2), 217-235. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2702_2
- Sprenger-Charolles, L. (1994). L'acquisition de la lecture en français : étude longitudinale de la première à la seconde année du primaire. *L'année psychologique*, 94(4), 553-574. <https://doi.org/10.3406/psy.1994.28788>
- Sprenger-Charolles, L. (2003). Linguistic Processes in Reading and Spelling: The Case of Alphabetic Writing Systems: English, French, German and Spanish. In T. Nunes & P. Bryant (Éd.), *Handbook of Children's Literacy* (p. 43-65). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Sprenger-Charolles, L., & Bonnet, P. (1996). New doubts on the importance of the logographic stage. *Cahiers de Psychologie Cognitive - Current Psychology of Cognition*, 15, 173-208.
- Sprenger-charolles, L., & Casalis, S. (1995). Reading and spelling acquisition in French first graders: Longitudinal evidence. *Reading and Writing*, 7(1), 39-63. <https://doi.org/10.1007/BF01026947>
- Sprenger-Charolles, L., Siegel, L. S., Béchenec, D., & Serniclaes, W. (2003). Development of phonological and orthographic processing in reading aloud, in silent reading, and in spelling: a four-year longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 84(3), 194-217.
- Sprenger-Charolles, L., Siegel, L. S., & Bonnet, P. (1998). Reading and Spelling Acquisition in French: The Role of Phonological Mediation and Orthographic Factors. *Journal of Experimental Child Psychology*, 68(2), 134-165. <https://doi.org/10.1006/jecp.1997.2422>
- Stanovich, K. E. (1988a). Explaining the differences between the dyslexic and the garden-variety poor reader: the phonological-core variable-difference model. *Journal of*

- Learning Disabilities*, 21(10), 590-604. <https://doi.org/10.1177/002221948802101003>
- Stanovich, K. E. (1988b). The right and wrong places to look for the cognitive locus of reading disability. *Annals of Dyslexia*, 38(1), 154-177. <https://doi.org/10.1007/BF02648254>
- Stanovich, K. E., & Siegel, L. S. (1994). Phenotypic Performance Profile of Children with Reading Disabilities: A Regression-Based Tests of the Phonological-Core Variable-Difference Model. *Journal of Educational Psychology*, 86(1), 24-53.
- Starrfelt, R., Lindegaard, M., & Bundesen, C. (2015). Confusing confusability: on the problems of using psychophysical measures of letter confusability in neuropsychological research. *Cognitive Neuropsychology*, 32(5), 314-320. <https://doi.org/10.1080/02643294.2015.1061488>
- Stein, J. (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*, 7(1), 12-36. <https://doi.org/10.1002/dys.186>
- Stein, J. (2014). Dyslexia: the Role of Vision and Visual Attention. *Current Developmental Disorders Reports*, 1(4), 267-280. <https://doi.org/10.1007/s40474-014-0030-6>
- Stein, J., & Fowler, S. (1981). Visual dyslexia. *Trends in Neurosciences*, 4(Supplement C), 77-80. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(81\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0166-2236(81)90026-6)
- 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)
- Steinman, B. A., Steinman, S. B., & Lehmkuhle, S. (1997). Research Note Transient Visual Attention is Dominated by the Magnocellular Stream. *Vision Research*, 37(1), 17-23. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(96\)00151-4](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(96)00151-4)
- Sterling, P. (2004). How retinal circuits optimize the transfer of visual information. In L. M. Chalupa & J. S. Werner (Éd.), *The Visual Neurosciences* (Vol. 1, p. 234-259). Cambridge, MA, USA: MIT Press.
- Stuart, G. W., McAnally, K. I., & Castles, A. (2001). Can contrast sensitivity functions in dyslexia be explained by inattention rather than a magnocellular deficit? *Vision Research*, 41(24), 3205-3211. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00176-6](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00176-6)
- Stuebing, K. K., Fletcher, J. M., LeDoux, J. M., Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2002). Validity of IQ-Discrepancy Classifications of Reading Disabilities: A Meta-Analysis. *American Educational Research Journal*, 39(2), 469-518. <https://doi.org/10.3102/00028312039002469>
- Taft, M., & Forster, K. I. (1976). Lexical storage and retrieval of polymorphemic and polysyllabic words. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 15(6), 607-620. [https://doi.org/10.1016/0022-5371\(76\)90054-2](https://doi.org/10.1016/0022-5371(76)90054-2)

- Tagamets, M. A., Novick, J. M., Chalmers, M. L., & Friedman, R. B. (2000). A parametric approach to orthographic processing in the brain: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(2), 281-297.
- Talbot, J. B., Hansen, P. C., Assoku, E. L., & Stein, J. F. (2000). Visual motion sensitivity in dyslexia: evidence for temporal and energy integration deficits. *Neuropsychologia*, *38*(7), 935-943. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(00\)00020-8](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(00)00020-8)
- Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language*, *9*(2), 182-198.
- Tallal, P., Merzenich, M. M., Miller, S., & Jenkins, W. (1998). Language learning impairments: integrating basic science, technology, and remediation. *Experimental Brain Research*, *123*(1-2), 210-219.
- Tallal, P., Miller, S., & Fitch, R. H. (1993). Neurobiological basis of speech: a case for the preeminence of temporal processing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *682*, 27-47.
- Tanaka, J. W., & Curran, T. (2001). A neural basis for expert object recognition. *Psychological Science*, *12*(1), 43-47. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00308>
- Tapia, E., & Breitmeyer, B. G. (2011). Visual Consciousness Revisited: Magnocellular and Parvocellular Contributions to Conscious and Nonconscious Vision. *Psychological Science*, *22*(7), 934-942.
- Tarkiainen, A., Helenius, P., Hansen, P. C., Cornelissen, P. L., & Salmelin, R. (1999). Dynamics of letter string perception in the human occipitotemporal cortex. *Brain: A Journal of Neurology*, *122* (Pt 11), 2119-2132.
- Tarr, M. J., & Gauthier, I. (2000). FFA: a flexible fusiform area for subordinate-level visual processing automatized by expertise. *Nature Neuroscience*, *3*(8), 764-769. <https://doi.org/10.1038/77666>
- Thiele, A., Dobkins, K. R., & Albright, T. D. (2001). Neural correlates of chromatic motion perception. *Neuron*, *32*(2), 351-358.
- Thorn, A. S. C., Gathercole, S. E., & Frankish, C. R. (2002). Language familiarity effects in short-term memory: The role of output delay and long-term knowledge. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *55*(4), 1363-1383. <https://doi.org/10.1080/02724980244000198>
- Thorpe, S., Fize, D., & Marlot, C. (1996). Speed of processing in the human visual system. *Nature*, *381*(6582), 520-522. <https://doi.org/10.1038/381520a0>
- Titchener, E. B. (1909). *A text-book of psychology*. New-York: Macmillan.
- Tobimatsu, S., Tomoda, H., & Kato, M. (1995). Parvocellular and magnocellular

- contributions to visual evoked potentials in humans: stimulation with chromatic and achromatic gratings and apparent motion. *Journal of the Neurological Sciences*, 134(1-2), 73-82.
- Tootell, R. B., Hamilton, S. L., & Switkes, E. (1988). Functional anatomy of macaque striate cortex. IV. Contrast and magno-parvo streams. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 8(5), 1594-1609.
- Torralba, A., & Oliva, A. (2003). Statistics of natural image categories. *Network (Bristol, England)*, 14(3), 391-412.
- Townsend, J. T., Taylor, S. G., & Brown, D. R. (1971). Lateral masking for letters with unlimited viewing time. *Perception & Psychophysics*, 10(5), 375-378. <https://doi.org/10.3758/BF03207464>
- Travis, D. S., Bowles, S., Seton, J., & Peppe, R. (1990). Reading from color displays: a psychophysical model. *Human Factors*, 32(2), 147-156. <https://doi.org/10.1177/001872089003200203>
- Treisman, A., & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95(1), 15-48.
- Tulving, E., & Schacter, D. L. (1990). Priming and human memory systems. *Science (New York, N.Y.)*, 247(4940), 301-306.
- Turkeltaub, P. E., Gareau, L., Flowers, D. L., Zeffiro, T. A., & Eden, G. F. (2003). Development of neural mechanisms for reading. *Nature Neuroscience*, 6(7), 767-773. <https://doi.org/10.1038/nn1065>
- Tydgat, I., & Grainger, J. (2009). Serial position effects in the identification of letters, digits, and symbols. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 35(2), 480-498. <https://doi.org/10.1037/a0013027>
- Ungerleider, L. G. (1985). The corticocortical pathways for object recognition and spatial perception. In C. Chagas, R. Gattass, & C. G. Gross (Éd.), *Pattern Recognition Mechanisms* (p. 21-37). Vatican City: Pontifical Academy of Sciences.
- Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1994). « What » and « where » in the human brain. *Current opinion in neurobiology*, 4(2), 157-165.
- Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In M. A. Ingle, M. I. Goodale, & R. J. W. Masfiels (Éd.), *Analysis of Visual Behavior* (p. 549-586). Cambridge, MA, USA: MIT Press.
- Valdois, S. (1996). Les dyslexies développementales. In S. Carbonnel, P. Gillet, M.-D. Martory, & S. Valdois (Éd.), *Approche cognitive des troubles de la lecture et de l'écriture chez l'enfant et l'adulte* (p. 137-151). Marseille: Solal.

- van der Leij, A., & van Daal, V. H. (1999). Automatization aspects of dyslexia: speed limitations in word identification, sensitivity to increasing task demands, and orthographic compensation. *Journal of Learning Disabilities*, 32(5), 417-428. <https://doi.org/10.1177/002221949903200507>
- van Heuven, W. J. B., Dijkstra, T., & Grainger, J. (1998). Orthographic neighborhood effects in bilingual word recognition. *Journal of Memory and Language*, 39(3), 458-483. <https://doi.org/10.1006/jmla.1998.2584>
- Vellutino, F. R. (1981). *Dyslexia: Theory and Research*. Cambridge, MA, USA: MIT Press.
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 45(1), 2-40.
- Vergilino-Perez, D., Collins, T., & Doré-Mazars, K. (2004). Decision and metrics of refixations in reading isolated words. *Vision Research*, 44(17), 2009-2017. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.03.012>
- Vidyasagar, T. R. (1999). A neuronal model of attentional spotlight: parietal guiding the temporal. *Brain Research. Brain Research Reviews*, 30(1), 66-76.
- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (2010). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(2), 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.12.003>
- von Berg, J., Ziebell, O., & Stiehl, H. S. (2002). Texture segmentation performance related to cortical geometry. *Vision Research*, 42(15), 1917-1929. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(02\)00116-5](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(02)00116-5)
- Von Cramon, Y., & Kerkhoff, G. (1993). On the cerebral organization of elementary visuospatial perception. In B. Gulyas, D. Ottoson, & P. E. Roland (Éd.), *Functionnal Organization of the Human Visual Cortex* (p. 211-231). Oxford: Pergamon.
- von der Heydt, R., & Peterhans, E. (1989). Mechanisms of contour perception in monkey visual cortex. I. Lines of pattern discontinuity. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 9(5), 1731-1748.
- Wagner, G., & Boynton, R. M. (1972). Comparison of four methods of heterochromatic photometry. *Journal of the Optical Society of America*, 62(12), 1508-1515.
- Wagner, R. K., & Torgesen, J. K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, 101, 192-212. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.101.2.192>
- Walker, H. E. W. P. (1997). Multiletter Word Units in Visual Recognition: Direct Activation by Supraletter Visual Features. *Visual Cognition*, 4(1), 69-110. <https://doi.org/10.1080/135062897395606>

- Watanabe, M., & Rodieck, R. W. (1989). Parasol and midget ganglion cells of the primate retina. *The Journal of Comparative Neurology*, 289(3), 434-454. <https://doi.org/10.1002/cne.902890308>
- Waters, G. S., Seidenberg, M. S., & Bruck, M. (1984). Children's and adults' use of spelling-sound information in three reading tasks. *Memory & Cognition*, 12(3), 293-305.
- Webb, T. M., Beech, J. R., Mayall, K. M., & Andrews, A. S. (2006). It's what's on the outside that matters: An advantage for external features in children's word recognition. *Journal of Experimental Child Psychology*, 94(2), 163-181. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2006.01.005>
- Weekes, B. S. (1997). Differential Effects of Number of Letters on Word and Nonword Naming Latency. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 50(2), 439-456. <https://doi.org/10.1080/713755710>
- Weiskrantz, L., Warrington, E. K., Sanders, M. D., & Marshall, J. (1974). Visual capacity in the hemianopic field following a restricted occipital ablation. *Brain: A Journal of Neurology*, 97(4), 709-728.
- Weisser, M., & Gavens, N. (2012). Éléments pour une évaluation diagnostique des bas niveaux en littératie. *Questions Vives. Recherches en éducation*, (Vol.6 n°18), 143-158. <https://doi.org/10.4000/questionsvives.1205>
- Wertheimer, M. (1967). Gestalt theory. In W. D. Ellis (Éd.), *A source book of Gestalt psychology* (p. 1-11). New-York: Humanities Press.
- Westwood, D. A., & Goodale, M. A. (2011). Converging evidence for diverging pathways: Neuropsychology and psychophysics tell the same story. *Vision Research*, 51(8), 804-811. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.10.014>
- Whaley, C. P. (1978). Word—nonword classification time. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 17(2), 143-154. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(78\)90110-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(78)90110-X)
- Wilkins, A. J. (1995). *Visual Stress*. Oxford, New York: Oxford University Press.
- Williams, M. J., Stuart, G. W., Castles, A., & McAnally, K. I. (2003). Contrast sensitivity in subgroups of developmental dyslexia. *Vision Research*, 43(4), 467-477.
- Wimmer, H., & Hummer, P. (1990). How German-Speaking First Graders Read and Spell: Doubts on the Importance of the Logographic Stage. *Applied Psycholinguistics*, 11(4), 349-68.
- Wimmer, H., Mayringer, H., & Landerl, K. (1998). Poor Reading: A Deficit in Skill-Automatization or a Phonological Deficit? *Scientific Studies of Reading*, 2(4), 321-340. https://doi.org/10.1207/s1532799xssr0204_2
- Wimmer, H., Mayringer, H., & Raberger, T. (1999). Reading and dual-task balancing:

- evidence against the automatization deficit explanation of developmental dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 32(5), 473-478. <https://doi.org/10.1177/002221949903200513>
- Winsler, K., Holcomb, P. J., Midgley, K. J., & Grainger, J. (2017). Evidence for Separate Contributions of High and Low Spatial Frequencies during Visual Word Recognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00324>
- Wolf, M., & Katzir-Cohen, T. (2001). Reading Fluency and Its Intervention. *Scientific Studies of Reading*, 5(3), 211-38.
- Wurtz, R. H., & Kandel, E. R. (2000). Perception of motion, Depth, and Form. In E. R. Kandel, J. H. Schwartz, & T. M. Jessell (Éd.), *Principles of Neural Science* (4th éd.). New-York: McGraw Hill.
- Yabuta, N. H., Sawatari, A., & Callaway, E. M. (2001). Two functional channels from primary visual cortex to dorsal visual cortical areas. *Science (New York, N.Y.)*, 292(5515), 297-300. <https://doi.org/10.1126/science.1057916>
- Yap, M. J., & Balota, D. A. (2009). Visual word recognition of multisyllabic words. *Journal of Memory and Language*, 60(4), 502-529. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2009.02.001>
- Yarkoni, T., Balota, D., & Yap, M. (2008). Moving beyond Coltheart's N: a new measure of orthographic similarity. *Psychonomic bulletin & review*, 15(5), 971-979. <https://doi.org/10.3758/PBR.15.5.971>
- Yoonessi, A., & Yoonessi, A. (2011). Functional Assessment of Magno, Parvo and Konio-Cellular Pathways; Current State and Future Clinical Applications. *Journal of Ophthalmic & Vision Research*, 6(2), 119-126.
- Yovel, G., Levy, J., & Yovel, I. (2001). Hemispheric asymmetries for global and local visual perception: effects of stimulus and task factors. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 27(6), 1369-1385.
- Zagar, D., Jourdain, C., & Lété, B. (1993). *ECCLA: Evaluation-diagnostic des Capacités Cognitives du Lecteur Adulte*. Paris, France: Centre National de Documentation Pédagogique.
- Zagar, D., Jourdain, C., & Lété, B. (1995). Le diagnostic cognitif des capacités de lecture : le logiciel ECCLA (Evaluation diagnostic des Capacités Cognitives du Lecteur Adulte). *Revue française de pédagogie*, 113(1), 19-29. <https://doi.org/10.3406/rfp.1995.1215>
- Zahabi, S., & Arguin, M. (2014). A crowdful of letters: disentangling the role of similarity, eccentricity and spatial frequencies in letter crowding. *Vision Research*, 97, 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.02.001>
- Ziegler, J. C., Besson, M., Jacobs, A. M., Nazir, T. A., & Carr, T. H. (1997). Word, pseudoword, and nonword processing: a multitask comparison using event-related brain

- potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(6), 758-775. <https://doi.org/10.1162/jocn.1997.9.6.758>
- Ziegler, J. C., & Goswami, U. (2005). Reading acquisition, developmental dyslexia, and skilled reading across languages: a psycholinguistic grain size theory. *Psychological Bulletin*, 131(1), 3-29. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.1.3>
- Ziegler, J. C., Perry, C., Ma-Wyatt, A., Ladner, D., & Schulte-Körne, G. (2003). Developmental dyslexia in different languages: Language-specific or universal? *Journal of Experimental Child Psychology*, 86(3), 169-193. [https://doi.org/10.1016/S0022-0965\(03\)00139-5](https://doi.org/10.1016/S0022-0965(03)00139-5)
- Zmigrod, S., Zmigrod, L., & Hommel, B. (2015). Zooming into creativity: individual differences in attentional global-local biases are linked to creative thinking. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01647>
- Zoccolotti, P., De Luca, M., Di Pace, E., Gasperini, F., Judica, A., & Spinelli, D. (2005). Word length effect in early reading and in developmental dyslexia. *Brain and Language*, 93(3), 369-373. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2004.10.010>

ANNEXES

Sommaire des annexes :

ANNEXE 1	PARTICIPANTS	i
ANNEXE 2	RECAPITULATIF DES PARTICIPANTS ET ITEMS ANALYSES	ii
ANNEXE 3	MATERIELS UTILISES	iii
ANNEXE 4	LUT (LOOK UP TABLE)	vii
ANNEXE 5	TEST DE L'ALOUETTE	viii

Annexe 1 Participants

Tableau 4. Caractéristiques des participants pour chaque expérience selon leur âge, leur niveau de lecture et les seuils moyens d'isoluminance.

Etude		Age			Niveau de lecture			Valeur R		
		Moyenne	Ecart-type	Etendue	Moyenne	Ecart-type	Etendue	Moyenne	Ecart-type	Etendue
1.1	Adulte	21.2	2.1	19-26	495	83	328-653	-	-	-
1.2	Adulte	24.0	5.3	17-39	530	96	292-799	65	6	50-78
2.1	Adulte	21.9	2.3	19-30	501	84	277-672	-	-	-
2.2	Adulte	19.5	2.8	18-40	473	80	331-694	65	9	45-90
2.3	Enfant	116.3	3.7	110-123	232	72	127-407	68	5	60-83
3.1	Adulte	19.3	1.5	18-25	478	82	331-694	-	-	-
3.2	Adulte	20.4	2.1	18-29	470	72	287-631	-	-	-
3.3	Adulte	21.6	2.8	17-30	537	94	288-776	62	6	44-73
3.4	Enfant	119.4	3.7	114-130	253	63	102-456	67	5	57-82
4.1	Adulte	22.5	2.3	18-31	-	-	-	-	-	-
4.2	Adulte	19.5	2.9	18-40	477	83	331-694	65	9	45-90

Note : concernant les niveaux de lecture, le score moyen attendu pour les adultes est de 455 (ET = 88) et le score moyen attendu pour les enfants de CM1 est de 217 (ET = 77).

Annexe 2 Récapitulatif des participants et items analysés

Tableau 5. Proportions des participants et des items retirés de l'analyse des données pour chaque étude.

	Condition visuelle	Participants			Items			Mots			Pseudomots			
		N	Nb retirés	%	N	Nb retirés	%	N	Nb retirés	%	N	Nb retirés	%	
1.1	Adulte	FS	54	0	0	96	0	0	-	-	-	-	-	-
1.2	Adulte	Iso/Cont	46	6	13	128	13	10	-	-	-	-	-	-
2.1	Adulte	Normale	54	4	7	240	27	11.3	120	9	7.5	120	18	15
2.2	Adulte	Iso/Cont	78	0	0	240	23	9.5	120	9	7.5	120	14	12
2.3	Enfant	Normale	36	16	44	240	67	28	120	34	28	120	33	27.5
2.3	Enfant	Iso/Cont	36	19	53	240	78	32.5	120	53	44	120	25	21
3.1	Adulte	Normale	67	5	7	200	26	13	100	19	19	100	7	7
3.2	Adulte	Normale	67	3	4	200	22	11	100	14	14	100	8	8
3.3	Adulte	Iso/Cont	59	9	15	200	24	12	100	17	17	100	7	7
3.4	Enfant	Normale	42	8	19	200	57	28.5	100	36	36	100	21	21
3.4	Enfant	Iso/Cont	42	21	50	200	57	28.5	100	45	45	100	12	12
4.1	Adulte	FS	61	5	8	240	40	16.7	120	22	18	120	18	13
4.2	Adulte	Iso/Cont	71	14	20	240	55	23	120	36	30	120	19	16

Note : FS = filtrage des fréquences spatiales, Iso/Cont = paradigme d'isoluminance et de contraste.

Annexe 3 Items utilisés

Listes des stimuli pour l'étude 2 sur l'effet de longueur :

- Les mots de 5 lettres : abord, achat, album, alibi, autel, avoir, bahut, bazar, blond, boeuf, chère, civil, décès, dégel, degré, démon, duvet, ébène, égout, élève, éloge, enjeu, époux, essai, essor, sirop, stand, tribu, tronc, tuyau, éveil, excès, fléau, frein, futur, genou, habit, hamac, idiot, jeudi, lundi, mufle, neveu, nœud, nylon, oasis, ocean, offre, opium, outil, plomb, repli, rhume, rugby, sceau, tyran, untel, usure, vizir, zèbre.
- Les mots de 9 lettres : Aérodrome, historien, agacement, hurlement, ambassade, immensité, américain, industrie, amusement, intégrité, ascenseur, intensité, autoroute, irruption, brigadier, jardinier, carrelage, lassitude, casserole, librairie, catégorie, livraison, cérémonie, locataire, chauffage, marmelade, chaussure, merveille, chevalier, ministère, communion, nationale, démarrage, nettoyage, diplomate, parlement, éclairage, passeport, étrangeté, périmètre, excursion, princesse, exécution, processus, extrémité, promeneur, fondation, proximité, fournaise, quotidien, réconfort, splendeur, réservoir, statuette, sculpture, testament, serviteur, vaisselle, signature, voisinage.
- Les pseudomots de 5 lettres : acito; fémei, acond; fléée, aménu; glaux, apaud; gloud, artun; grupi, bluai; hombu, bralc; ilton, britu; imgon, caist; jimpe, chuin; jodre, clédu; kosti, clile; lozun, creau; lufas, cuchy; nolut, dèfle; norat, dégin; ogeté, dreau; pauil, écanu; phide, édème; pilfo, éfive; pluli, éleau; pyève, enson; qualu, erlas; quose, évèce; rezon, faphe; sannu, séfin; spola, ségos; unnul, segus; vizau, simès; vrord, soiva; yamal.

- Les pseudomots de 9 lettres : achancier, garmation, afangeain, gartavain, araispéré, greteloin, balterter, haponlane, bavelnion, heutésain, blantalon, hosgatiné, cavoitain, lettalion, chamenque, lignilone, chaveller, mafatimum, chordique, marderage, comperton, outercher, compligne, pancution, comupermi, parmelone, couterdre, parranque, déconbité, platévron, dégninain, precaquer, désortion, presmique, déticoder, printinée, diverelée, probaiste, dontetier, quarblain, éfinilain, rébriviée, éponblain, réchetion, exapation, recludélé, filacalin, recompte, garlésiée, rescrète, resprence, sepoblain, rougitone, solnonain, rourivait, soudivion, saneracte, sourgiser, senvitane, teplonade.

Listes des stimuli pour l'étude 3 sur l'effet de l'enveloppe :

- Les mots : bagage, yaourt, cactus, tapage, abbaye, acajou, bambou, idylle, compas, bonbon, slogan, ermite, brebis, absolu, oracle, landau, absent, consul, trafic, odorat, manuel, dragon, aplomb, corail, hargne, sphinx, normal, tomate, myopie, coquin, trente, spasme, menthe, druide, sultan, martyr, biceps, rituel, enclos, brevet, astuce, rictus, homard, cadran, violon, truand, intrus, jaloux, hareng, volcan, guidon, douane, argile, jargon, fusion, impact, puzzle, besace, espion, pareil, fanion, injure, persil, faucon, muguet, tympan, luxure, organe, hublot, potage, regain, budget, klaxon, thorax, blond, hibou, duvet, bazar, frein, hamac, tyran, gueux, pizza, offre, alibi, abord, stand, rhume, nylon, opium, untel, rugby, repli, enjeu, major, exode, civil, sirop, blason.
- Les pseudomots : thoud, blirme, herian, oclome, dubou, klarie, trimou, anfrac, tesul, dysper, tirmau, nupole, bucia, doblit, gilupe, copril, tanau, balpat, pilame, rigase, benec, hagoge, quebre, inpare, byven, bepipe, yarpén, vipact, joice, fanlou, paxite, majuxe, penac, doubir, jainet, nopris, ablon, horbec, grasol, seguer, etule, loibas,

prosul, arulle, abral, lirbou, iblape, soufyr, adaut, bangre, abythe, uretan, okumi, tregue, chepan, nerlas, aplon, linude, alcute, masdou, ipoin, hurate, alorit, mauloi, embil, torule, ebsant, rongou, mogby, hirche, sphond, soipre, capli, bocrit, cytran, sorele, vugre, bouint, apagre, carebi, ciuge, fesart, opasor, roumed, onete, foneng, reblon, raumil, vorat, frocia, sidret, mousel, marop, druica, acheux, ourmil, blanru, darime, sudase.

Liste des stimuli pour l'étude 4 sur le voisinage orthographique :

- Les mots ermites : actif, ethnïe, adage, geyser, agrume, goujat, athée, gramme, balèze, grêlon, barème, guêpe, blini, heaume, boxers, homard, brebis, hublot, budget, jaguar, cadets, koala, câpre, manioc, chèvre, mégalo, chiot, moulin, coyote, muguet, cumin, myope, cursus, narval, cycles, native, dégel, offre, degré, ovis, éclopé, ozone, empan, poncho, essor, préaux, semoir, pygmée, sésame, pylône, sphère, python, stand, recoin, tibia, utile, toxine, vaccine, typhon, zèbre.
- Les mots avec un VO plus fréquent : acteur, extra, agneau, filous, agrès, flocon, amont, foreur, anuité, franc, azalée, frêne, baffle, galon, basket, groin, bêtas, humour, bolide, idiome, chipie, igname, cigale, lèpre, cloché, levage, dentée, leueur, dépôt, magot, dérapé, menhir, désuni, mixeur, divins, nomade, écrin, novice, enfers, ogive, engin, onces, équité, orques, essuie, ortie, pronom, ourson, prude, phase, putois, plieur, raisin, poufs, rebond, sébum, roseau, tirade, scieur, trompe.
- Les pseudomots anagrammes : acaïca, imipe, ahruï, emploi, arecau, inidét, aunôme, innégu, aximoe, innifi, cégage, juïnor, cilvi, kinomo, ecméza, klanxo, enmyze, labavo, flonir, ligite, fludie, maneul, funot, molibe, furut, mylage, fusoin, nynol, galoze, oïfis, géllue, ottie, glança, paynas, godane, phoïbe, gopuil, pidène, gretol,

pilex, hebod, poései, senoir, polnel, sirpo, prosèc, spamse, pymaja, studoi, quiona, tunlen, regert, tynar, sécive, unoin, yarout, vilian, zéntih, volnac, zytoge.

- Les pseudomots ermites : agripo, framel, ambloi, glaux, blouka, grous, caist, grupi, carloi, ilton, chizan, jodre, clêdu, joupic, craifi, klonin, cramot, kosti, critan, lètons, cuchy, lifoul, dalkon, litoca, drouje, lozeut, erlas, lojun, faflou, lufas, faidri, norat, fartoi, orziés, fémei, ospide, filuni, pauil, fléer, piclan, foljan, pilfo, segus, poufal, spola, prioux, tipout, pyève, tipron, rafron, tocran, rengos, todrin, réstin, touive, vêtoul, tréken, vizau, valtoi, vorlin.

Annexe 4 LUT (Look Up Table)

Chaque pixel d'un écran se définit par trois dimensions (RVB), trois canaux RVB correspondant aux trois couleurs primaires : le Rouge, le Vert et le Bleu. Le coefficient s valeurs de luminance de RVB variant de 0 à 255, il y a donc 256 niveaux de luminance. La valeur « 0 » sur tous les canaux donne la luminance la plus petite possible avec ce matériel, du noir, et la valeur « 255 » donne la luminance la plus élevée (le blanc le plus clair).

La luminance de l'écran a été mesurée à l'aide d'un photomètre MINOLTA G100 C100 qui relevait l'intensité lumineuse en candéla/m² d'une surface cible dont on faisait varier l'indice RVB de 8 en 8 (voir *Figure 53*, ci-dessous), comme l'indiquent les points bleus. Une fonction puissance (en vert sur la figure) est ajustée à ces données, en déterminant 2 paramètres inconnus, le gamma et le facteur de normalisation k, spécifiques de cet écran.

$y = k * (x^g)$, avec les paramètres gamma et h calculés ci-dessous

Cette fonction n'est pas linéaire, on la rend linéaire en ne prenant en compte qu'une partie des niveaux, en partant des plus hauts, et en descendant selon une progression linéaire.

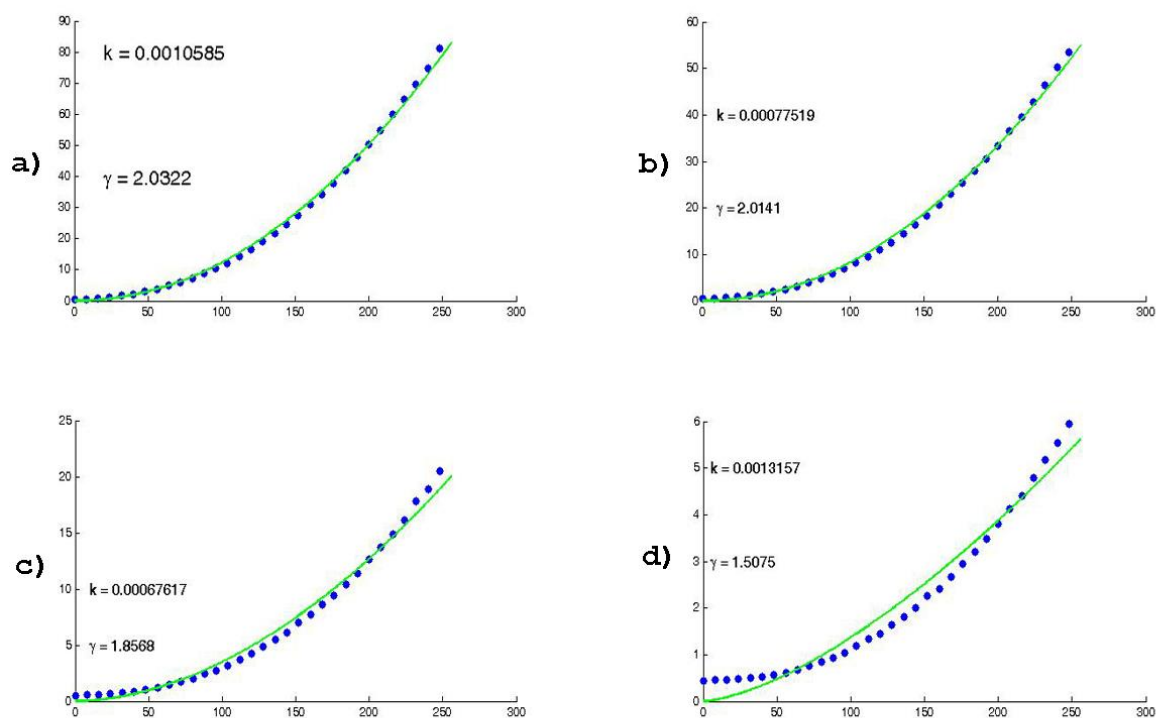


Figure 53 : Fonctions gamma de l'écran (RVB en abscisse et luminance en ordonnée) avec a) pour le gris, b) pour le vert, c) pour le rouge et d) pour le bleu.

Annexe 5 Test de l'Alouette

Le test de l'Alouette-R (Lefavrais, 2005) est une épreuve leximétrique qui fournit des indicateurs de performance en termes de précision et de rapidité lors d'une lecture à voix haute. Il est utilisé comme un outil de diagnostic des difficultés en lecture. Le lecteur doit lire un texte à voix haute, qui n'a aucune signification, comprenant des mots qui ne s'enchaînent pas de façon logique et qui sont plutôt rares, notamment pour les plus jeunes. Cela permet de prendre en compte le niveau de décodage du lecteur.

Le test comporte une feuille de passation (soit un texte imprimé de 265 mots entouré de dessins ainsi qu'une liste de voyelle et de syllabe (*Figure 54*). Les performances de chaque participant sont notées sur une feuille de cotation où sont relevées les erreurs commises ainsi que le temps de lecture chronométré. Ainsi, un âge lexique et un indice de rapidité et de précision sont obtenus pour chaque participant et permettent de le situer en termes de niveau de lecture par rapport aux lecteurs du même âge.



Figure 54 : feuille de passation (lecture) de l'Alouette-R