



HAL
open science

Rôle de la surdité précoce et de la langue des signes dans la plasticité fonctionnelle du champ visuel

Chloé Stoll

► **To cite this version:**

Chloé Stoll. Rôle de la surdité précoce et de la langue des signes dans la plasticité fonctionnelle du champ visuel. Psychologie. Université Grenoble Alpes, 2017. Français. NNT : 2017GREAS040 . tel-01731551

HAL Id: tel-01731551

<https://theses.hal.science/tel-01731551>

Submitted on 14 Mar 2018

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

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR de la Communauté de l'Université
Grenoble-Alpes**

Spécialité : Sciences cognitives, Psychologie & Neurocognition

Arrêté ministériel : 25 mai 2016

Présentée par

Chloé STOLL

Thèse dirigée par **Olivier PASCALIS**

et codirigée par **Richard PALLUEL-GERMAIN**

préparée au sein du Laboratoire de Psychologie et de NeuroCognition
(CNRS UMR5105)

et de l'École Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et
l'Environnement

Rôle de la surdité précoce et de la langue des signes dans la plasticité fonctionnelle du champ visuel

Thèse soutenue publiquement le 29 Novembre 2017

devant le jury composé de :

M. Francesco PAVANI

Professeur, Université de Trento (Italie), Rapporteur

M. Pascal BARONE

Directeur de Recherche CNRS, Université Toulouse 3, Président

Mme Carole PEYRIN

Chargée de Recherche CNRS, Université Grenoble-Alpes, Examinatrice

M. Olivier PASCALIS

Directeur de Recherche CNRS, Université Grenoble-Alpes, Directeur de
thèse

Membre invité :

M. Richard PALLUEL-GERMAIN

Maître de Conférences, Université Grenoble-Alpes, co-encadrant de
thèse



Remerciements

Une soutenance de thèse est l'aboutissement de 8 années d'études mais également le résultat d'un nombre importants d'événements et de rencontres. Ces rencontres sont les personnes sans qui je n'aurais pas eu la chance de mener à bien mes projets et sans qui je ne serais pas derrière mon clavier à l'heure actuelle pour rédiger ces quelques lignes. A toutes ces personnes je voudrais dire merci.

Je voudrais tout d'abord remercier le jury pour avoir accepté de relire et de commenter mon travail de thèse. Merci à Jacqueline Leybaert et Francesco Pavani d'avoir accepté d'être rapporteurs et merci à Pascal Barone et Carole Peyrin d'avoir accepté d'être examinateurs. Merci à vous d'avoir fait le déplacement jusqu'à Grenoble.

Merci du fond du cœur à mes deux directeurs de thèse Richard Palluel-Germain et Olivier Pascalis (je précise Olivier que le choix de l'ordre s'est fait arbitrairement selon l'ordre alphabétique et non pas selon une quelconque préférence !). Merci votre temps, votre confiance, vos conseils, votre patience, vos encouragements, votre disponibilité et tant d'autres... Grâce à vous j'ai appris beaucoup de choses notamment la patience face aux nombreuses tentatives d'humour (souvent ratées, quelque fois réussies). Merci pour ces conditions de travail quasi idéales, je savais que je pouvais toujours compter sur vous dans les moments positifs et surtout dans les moments plus compliqués ou stressants qui ne sont pas rares pendant une thèse. Vous serez toujours une sorte de référence pour moi. Si un jour j'ai la chance d'encadrer des étudiants en thèse, j'espère qu'ils se sentiront aussi bien avec moi que je me suis sentie avec vous.

Merci aussi à Matt Dye, que je considère un peu comme mon troisième directeur américain. Merci de m'avoir accueilli dans ton lab et dans ta vie l'espace de quelques mois. Tu m'as donné l'opportunité unique de découvrir l'univers de la surdité et de la langue des signes d'une façon impensable aujourd'hui en France. Ces six mois au NTID m'ont apporté bien plus que des données expérimentales et j'espère qu'on aura l'occasion de retravailler un jour ensemble.

Merci à Roberto Caldara et à Junpeng Lao pour leur aide et leurs conseils pour la rédaction de l'article sur les visages. Merci également de m'avoir impliqué dans votre projet FNS, j'ai eu grand plaisir à apprendre l'eye-tracker pour cette jolie étude.

Merci au Prof. Florent Aptel d'avoir accepté de collaborer avec nous et de nous avoir ouvert les portes du service d'ophtalmologie du CHU de Grenoble. Merci à Georges Zataar, François-Xavier Guériot et à toutes les orthoptistes du service pour leur aide et leur savoir.

Merci au Dr Benoit Mongourdin et à toute l'unité de soins et d'accueil pour les sourds du CHU, vous avez été des participants fantastiques ! Merci à Celine Lajarrige pour l'interprétation des consignes en LSF et pour sa gentillesse à toutes épreuves.

Merci à l'EDISCE de m'avoir donné la chance de faire une thèse et merci à la Commission Fulbright Franco-Américaine sans qui je n'aurais pas pu passer six mois aux USA.

Merci à Sarah Fraser qui m'a fait découvrir et aimer la recherche quand j'étais en L3. Merci de m'avoir proposé d'être ton assistante de recherche pendant quelques mois !

Tout ce travail n'aurait pas été possible sans le LPNC. Merci Monica, Claire (désolée pour l'ordre de mission...), Karima et Guylaine de faire en sorte que l'on puisse travailler dans les meilleures conditions possibles. Merci aussi à tous les membres du labo pour cette ambiance conviviale de travail. Merci pour votre disponibilité pour répondre aux questions ou donner des coups de main (David, Martial, Eric, Alan, Carole, Eve, Raphaël, David, Stéphane, ...)

Que serait le LPNC sans les doctorant.e.s? De collègues de travail certains sont devenus des amis, grâce notamment à la bière réconfortante après une dure semaine ou journée (toi-même tu sais Hélène Mottier). Gros big up à Cindy, Violette et Morgane avec qui on partage la même galère depuis au moins 4 ans. On a réussi les filles !!!! Merci Cindy pour ta culture musicale de haute qualité, Merci Morgane pour ta maîtrise de l'orthographe et de la sémantique et Merci Violette de nous avoir fait rire avec tes gaffes et tes expressions sorties de nulle part ! Merci à tous les doctorants d'avant et de maintenant (la liste est trop longue pour tous vous citer sans oublier personne, mais le cœur y est vraiment) pour les rires, les post-it, les conversations sur les stats et les "idées de manip" géniales qu'on n'a jamais faites. Continuez à faire perdurer cette bonne ambiance qui fait qu'on a toujours envie de venir au labo même si c'est juste pour boire un café et discuter. Merci à l'équipe de foot des Furies du LPNC et à ses capitaines Ladislas et Amélie pour ses prouesses sportives. Merci Cédric B pour les modèles mixtes et ton super soutien !

Merci aux copains du lycée Adeline, Elena, Elie, Max, Olivier, Ben, Gaël, Dahn qui ont bien souvent fait semblant de s'intéresser à mes galères de thésarde mais qui étaient toujours dispos pour un barbecue. Désolée les gars d'être devenue une citadine. Chouquette quand tu seras en thèse, tu pourras toujours compter sur moi.

Merci aussi aux copains de la fac, Cec', Loriane, Sophie, Elise, Robin, Manon, David, Thomas, Mohamed ... Partager les bancs de la fac ensemble a fortement contribué à faire de ces années une super période de ma vie. Merci pour les TDs de AIDE, de stats, ou de réseaux de neurones artificiels, les révisions à la BU, les parties de cartes à EVE qui nous ont fait manquer pas mal de cours de psychopatho, le jardin du thé, l'appart à St Ferjus, les soirées Game of Thrones ou Star Wars, les vacances ensemble et un grand merci pour toutes ces conversations qui ont accompagné les nombreuses pintes de bières que l'on a partagé. J'espère que l'on en partagera

encore un grand nombre ! Et puis merci aux copains tous frais mais supers Kevin, Antoine et Guillaume. Dédicace spéciale à Mr P qui m'a prêté son appart en août pour que je puisse rédiger dans de bonnes conditions à l'abri de la chaleur accablante grenobloise.

Leslie, toute une trilogie ne suffirait pas pour résumer notre amitié. Je ne sais même pas quoi écrire pour te remercier de ta présence et d'être mon amie en toutes circonstances. Merci pour les soirées ratées, pour la crapette, pour les yeux qui brûlent, pour la visite des grottes en Italie, pour Rochester, New-York, USA ... Et surtout merci pour ton humour et ta maîtrise du verbe d'une rare qualité. On ne se dit jamais qu'on s'aime, mais je pense pouvoir te dire que je t'aime au moins autant que la coupe du monde de biathlon et qu'un 20/20 de Martin Fourcade alors qu'il n'est pas en forme. Bon courage pour la rédaction ma Chouna !

Et enfin merci à la famille. Et surtout merci à toi Maman. Tu as toujours été là pour moi, tu m'as écouté me plaindre, pleurer, angoisser, te rabâcher des choses. Tu as toujours été compatissante et bienveillante même quand mes projets étaient clairement nuls. Tu m'as toujours soutenue. Merci d'être là pour moi, tout simplement.

Résumé

L'expérience sensorielle précoce atypique ou l'expertise dans un domaine sont des phénomènes connus pour modifier certains aspects du traitement visuel. La surdité précoce profonde et la pratique de la langue des signes pourraient ainsi être deux sources distinctes de modulation du traitement visuel. Cette thèse s'intéresse à déterminer l'impact respectif de la surdité et de l'impact de la langue des signes dans le traitement de l'espace visuel périphérique et le traitement des visages et des expressions faciales. Ces processus ont été choisis puisqu'ils sont sollicités dans la communication en langue des signes. En effet, les signes de paroles sont perçus par le champ visuel périphérique inférieur et il est en même temps nécessaire de porter une attention particulière au visage de son interlocuteur qui délivre des informations syntaxiques, grammaticales ou encore affectives indispensables à la compréhension du discours.

Pour cela, une première série d'études explore l'effet de la surdité et de la langue des signes sur le traitement visuel périphérique et notamment dans l'espace périphérique inférieur. Les résultats montrent que la pratique de la langue des signes chez les entendants peut influencer des aspects spécifiques du traitement visuel de l'espace inférieur et que principalement la rapidité du traitement visuel de bas niveau. La deuxième série d'études explore l'effet de la surdité et de la langue des signes sur le traitement des visages et notamment la reconnaissance des visages et des expressions faciales. Les résultats montrent des différences dans la stratégie d'exploration des visages pour la reconnaissance des visages chez les sourds signeurs avec un effet de la pratique de la langue des signes dans les mécanismes de prise de décision de reconnaissance des visages. Enfin, la surdité associée à la pratique de la langue des signes ne semble pas affecter les seuils de catégorisation d'émotions. Les résultats de nos six études enrichissent la littérature actuelle sur la plasticité sensorielle chez les personnes sourdes signeuses et illustrent l'importance de contrôler systématiquement l'effet de la langue des signes puisqu'elle semble induire des modifications dans le traitement visuel qui lui sont propres.

Mots clés : Surdité, langue des signes, plasticité visuelle, périphérie visuelle, reconnaissance des visages, reconnaissances des  motions

Abstract

Our visual system presents some flexibility and experience has been shown to tune it. Early profound deafness and sign language experience can therefore be considered as two potential sources of visual plasticity. The aim of this thesis is to untangle the respective impact of deafness (or auditory deprivation) and sign language experience on peripheral visual field perception and face processing and facial expressions recognition; two crucial mechanisms for sign language communication. Signs are indeed perceived in the lower part of the peripheral visual field and faces provided syntactic, grammatical or affective information to precise or nuances linguistic gestures. A first series of studies explores deafness and sign language experience effects on peripheral visual perception and more particularly in the lower visual space from basic to more complex visual processing. Results suggest that sign language experience in hearing population can affect some aspect of lower visual field processing and that early deafness mainly increase speed of low-level visual processing. The second series of studies explores deafness and sign language experience impact on face processing and more particularly on face recognition and expression recognition. Results suggest a difference in gaze strategy to explore and recognize face in deaf signers supported by a shift in decision-making strategy in both deaf and hearing signers for face recognition. Finally, deafness combined to sign language experience doesn't seem to affect thresholds for facial expression recognition and categorization. Altogether the results from these six studies provide new insight in our current knowledge about visual perception in early deaf signers and highlight the importance to systematically control sign language experience since its experience can have an impact in both hearing and deaf signers.

Key words: Deafness, sign language, visual plasticity, visual periphery, face recognition, facial expression recognition

Table des matières

Préambule

Chapitre 1 : Introduction

Compensation sensorielle de la surdité précoce

1. L'impact de la privation sensorielle précoce	2
i. La perception multisensorielle de l'environnement.....	2
ii. Hypothèse du déficit sensoriel.....	4
iii. Hypothèse de la compensation sensorielle.....	4
2. La surdité	6
i. Rappels sur le fonctionnement du système auditif.....	6
1. Le système auditif périphérique.....	6
2. Le système auditif central.....	9
ii. Les atteintes du système auditif.....	10
1. L'acuité auditive.....	10
2. Les différents types de surdité.....	11
3. Les aides auditives.....	12
3. Plasticité perceptive chez les sourds précoces profonds	15
i. Le toucher.....	15
ii. La vision.....	16

La langue des signes : pratique et expertise d'une langue visuo-motrice

1. L'expertise	18
i. La pratique du sport.....	18
ii. La pratique de la musique.....	19
iii. La pratique des jeux vidéo.....	20
2. La langue des signes	22
i. Généralités et description de la langue des signes.....	22
1. Une diversité de langues des signes.....	22
2. Les différents gestes de la parole.....	24
ii. Une langue (presque) comme les autres.....	26
iii. Les contraintes visuo-spatiales de la langue des signes.....	27
iv. Déterminer l'influence respective de la surdité et de la langue des signes.....	29

Chapitre 2 : La perception dans le champ visuel périphérique

Section théorique

1. Le champ visuel: définitions et caractéristiques	32
i. Rappels sur le fonctionnement du système visuel.....	32
1. Le système visuel périphérique.....	32
2. Le système visuel central.....	34
ii. Le champ visuel.....	35
1. L'acuité visuelle.....	35
2. Champ visuel central et champ visuel périphérique.....	36
iii. Les asymétries de perception.....	38
1. Les asymétries latérales.....	38
2. Les asymétries verticales.....	38
2. La plasticité du traitement visuel chez la personne sourde signeuse	40
i. La spécificité du champ visuel périphérique.....	40
ii. La taille du champ visuel.....	42
iii. La détection de cibles.....	43
1. Détection sans interférence.....	44
2. Détection avec interférence.....	47
iv. La discrimination de cibles.....	54
1. Discrimination du mouvement.....	54
2. Discrimination de cibles statiques.....	57
v. Identification et localisation de cibles en situation d'interférence.....	58
vi. Identification et localisation de cibles en double-tâche.....	62
vii. Plasticité du système nerveux central et périphérique.....	65
viii. Implications théoriques.....	67

Section expérimentale

Etude 1 : Taille du champ visuel et micro-structure de la rétine chez les entendants signeurs	71
Problématique et hypothèses.....	72
Première partie : Etude du champ visuel entre 0° et 30°	
Méthode.....	74
Résultats.....	77
Discussion.....	79
Deuxième partie : Etude du champ visuel entre 30° et 50°	
Méthode.....	83
Résultats.....	85
Discussion.....	86

Troisième partie : Observation de la micro-structure de la rétine	
Méthode.....	87
Résultats.....	88
Discussion.....	90
Discussion générale de l'étude 1.....	92
Etude 2 : Détection et discrimination de cibles dans le champ visuel	
périphérique chez les sourds et les entendants signeurs.....	95
Problématique et hypothèses.....	96
Première partie : Détection de cibles	
Méthode.....	97
Résultats.....	101
Discussion.....	104
Deuxième partie : Discrimination de cibles	
Méthode.....	105
Résultats.....	105
Discussion.....	109
Discussion générale de l'étude 2.....	110
Etude 3 : Distribution de l'attention visuelle chez les sourds signeurs et les	
CODAs.....	113
Problématique et hypothèses.....	114
Méthode.....	115
Résultats.....	118
Discussion de l'étude 3.....	124
Conclusion du chapitre 2.....	129
Chapitre 3 : Le traitement des visages et reconnaissance des expressions	
faciales	
Section théorique	
1. Le traitement et la reconnaissance d'un visage.....	136
i. Contexte théorique général.....	136
ii. Le traitement des visages chez les sourds signeurs.....	140
1. Discrimination des caractéristiques interne d'un visage.....	141
2. Effet d'inversion et effet composite.....	142
3. Asymétries des champs visuels dans le traitement des visages.....	143
4. Mémorisation et appariement des visages.....	147
2. Reconnaître une émotion et son expression.....	149
i. Contexte théorique général.....	149
1. Qu'est-ce qu'une émotion ?.....	149

2. Le visage d'une émotion.....	151
ii. La reconnaissance des émotions chez les sourds signeurs.....	152
1. Les expressions faciales linguistiques et émotionnelles.....	152
2. Catégorisation des émotions et jugement de valence émotionnelle.....	155
3. Saillance des différentes parties d'un visage émotionnel.....	157

Section expérimentale

Etude 4 : Traitement superordinal et subordinal du visage chez les sourds et les entendants signeurs	161
Problématique et hypothèses.....	162
Méthode.....	165
Résultats.....	169
Discussion de l'étude 4	174
Etude 5 : Stratégie d'exploration visuelle pour la reconnaissance d'un visage chez les sourds signeurs	181
Problématique et hypothèses.....	182
Méthode.....	184
Résultats.....	188
Discussion de l'étude 5	193
Etude 6 : Catégorisation des expressions faciales émotionnelles	197
Problématique et hypothèses.....	198
Méthode.....	199
Résultats.....	202
Discussion de l'étude 6	205
Conclusion du chapitre 3	209
Synthèse et perspectives de recherche	213
Encarts	219
La périmétrie cinétique manuelle de Goldman.....	220
La périmétrie statique et automatique de Humprey.....	222
La pratique de la LSF chez les personnes sourdes et entendants.....	225
Les contrastes d'Helmert.....	226
Le Hierachichal Drift Diffusion model (HDDm).....	227
Références bibliographiques	231
Annexes	247

Depuis une trentaine d'années et le travail séminal de Helen Neville et Donald Lawson en 1987, les études comportementales et de neuroimageries ont permis d'identifier certains mécanismes ou processus visuels particulièrement sensibles à la surdité. Il fait désormais consensus que les sourds développent des capacités spécifiques dans le traitement visuel périphérique et dans le traitement des visages et certaines données laissent à penser que la langue des signes jouerait un rôle important dans de tels phénomènes. Son influence indépendamment de la surdité n'a cependant pas été systématiquement évaluée expérimentalement. Il est pourtant nécessaire de dissocier l'influence de la surdité et de la langue des signes sur la modification du traitement visuel. Une modification propre aux personnes sourdes pourrait provenir de mécanismes de compensation sensorielle alors qu'une modification observée chez les personnes sourdes et entendantes pratiquant la langue des signes pourrait s'expliquer par l'expérience et l'expertise dans une langue visuo-motrice. Cette thèse a pour objectif de différencier la plasticité perceptive inhérente à la surdité profonde de celle inhérente à la pratique de la langue des signes dans le traitement visuel périphérique et le traitement des visages. Ces deux aspects ont été spécifiquement choisis puisqu'ils sont essentiels à la communication en langue des signes.

Le premier chapitre de cette thèse est une introduction décrivant la surdité profonde et la langue des signes. Ce chapitre traite ainsi, dans une première partie, des différents mécanismes de compensation sensorielle, de la plasticité du traitement sensoriel chez les personnes sourdes, et également des différents types d'aides auditives disponibles

actuellement. Une seconde partie s'intéresse plus spécifiquement à la langue des signes en décrivant son fonctionnement, son traitement cérébral ainsi que les contraintes visuo-motrices induites par sa pratique. Le premier chapitre a donc pour but de présenter pourquoi il nous a semblé intéressant d'étudier à la fois le traitement visuel périphérique et le traitement des visages dans un même travail.

Le chapitre 2 porte sur la perception visuelle périphérique. Une première section théorique définit les notions importantes de perception visuelle et du champ visuel périphérique puis présente la littérature concernant la plasticité visuelle périphérique chez les sourds et les signeurs (sourds ou entendants). La section expérimentale est constituée de 3 études. Dans l'étude 1 nous nous sommes intéressés à la sensibilité aux contrastes de luminance chez les entendants signeurs dans différentes portions du CV. Grâce à des méthodes d'imagerie d'ophtalmologie, nous avons également exploré la microstructure de la rétine de nos participants de l'étude 1. Dans l'étude 2 nous avons comparé les performances en détection et discrimination de cibles sur un large spectre d'excentricité visuelles de sourds signeurs, entendants signeurs et entendants non-signeurs. Enfin, dans l'étude 3 nous avons comparé la distribution de l'attention visuelle périphérique dans ces 3 mêmes groupes de participants.

Le chapitre 3 de cette thèse porte sur le traitement des visages et des expressions faciales. La section théorique résume les notions importantes et les aspects essentiels du traitement des visages et des expressions faciales. La dernière partie de la section théorique propose une revue de la littérature sur le traitement des visages et des expressions chez les sourds et les signeurs (sourds ou entendants). La section expérimentale est également constituée de 3 études. Dans la première étude, nous avons comparé les performances de différents niveaux de traitement des visages entre les sourds signeurs, entendants signeurs et entendants non-signeurs. Dans l'étude 2, nous avons voulu approfondir les premières observations en s'intéressant à la stratégie d'exploration d'un visage dans une tâche de reconnaissance de visages en utilisant un outil de contingence visuelle. Enfin la troisième et dernière étude compare les seuils de quantité et de qualité d'informations nécessaires pour catégoriser les 6 émotions universelles d'Ekman chez les sourds signeurs et les entendants non-signeurs. Cette thèse se termine enfin par une synthèse des principaux résultats observés et propose des perspectives de recherche.

CHAPITRE 1 : Introduction

Compensation sensorielle de la surdité et pratique de la langue des signes

Compensation sensorielle de la surdité précoce

1. L'impact de la privation sensorielle précoce

i. La perception multisensorielle de l'environnement

Nous utilisons les informations perçues par nos sens pour construire une représentation cohérente de notre environnement et ainsi pouvoir (inter)agir de façon optimale (figure 1.1). Il existe souvent une redondance de l'information entre les différentes modalités sensorielles, c'est-à-dire qu'une même information va être traitée par deux système sensoriels différents. Par exemple, la perception de la parole est audio-visuelle. La perception de la parole est optimale quand les informations sonores et visuelles sont toutes deux disponibles et cohérentes et l'effet McGurk (McGurk & Macdonald, 1976) illustre ce phénomène d'intégration multisensorielle de la parole. Dans un premier temps le participant doit simplement identifier un phonème uniquement par la modalité auditive (e.g., /ga/) puis un autre phonème uniquement avec la lecture labiale (e.g., /ba/). Dans chacune des deux conditions, la reconnaissance du phonème est très facile. Mais si l'on présente simultanément au participant une information visuelle et auditive différente, il est possible de biaiser la perception du participant. En présentant le phonème audio /ga/ en parallèle d'une production labiale /ba/, le participant n'entendra ni /ga/ ni /ba/, mais plutôt un /da/. Ces trois consonnes sont des occlusives voisées dont la seule différence est le lieu d'articulation avec le/d/ se produisant entre le /b/ et le /g/. Le système d'intégration des informations de la parole va donc essayer de remédier à la dissonance crée par la perception de deux informations proches incongruentes (habituellement redondantes) en produisant un troisième percept hybride. Le système d'intégration sensorielle va également pondérer l'importance d'une entrée sensorielle en fonction de la situation environnementale. Cette pondération peut s'illustrer encore une fois avec l'exemple de la

perception de la parole. Dans une situation très bruitée et afin de comprendre correctement la parole, le système perceptif va s'appuyer davantage sur les informations visuelles et la lecture labiale qu'en situation non bruitée. Au contraire, si l'environnement ne fournit pas peu ou pas d'information visuelle (comme au téléphone par exemple) la compréhension de la parole se base uniquement sur les informations auditives.

Il semble ainsi que la perception de notre environnement se base sur un ensemble de différentes informations sensorielles. Les cas de privations sensorielles précoces sont alors des situations particulièrement intéressantes pour observer et comprendre l'adaptation de ce système complexe suite à l'absence d'une modalité sensorielle. Il existe deux grandes hypothèses sur les conséquences possibles d'une telle absence : l'hypothèse du déficit sensoriel et l'hypothèse de la compensation sensorielle. Il est toutefois important de noter que ces hypothèses et considérations théoriques concernent principalement les cas de cécité et surdité précoce.

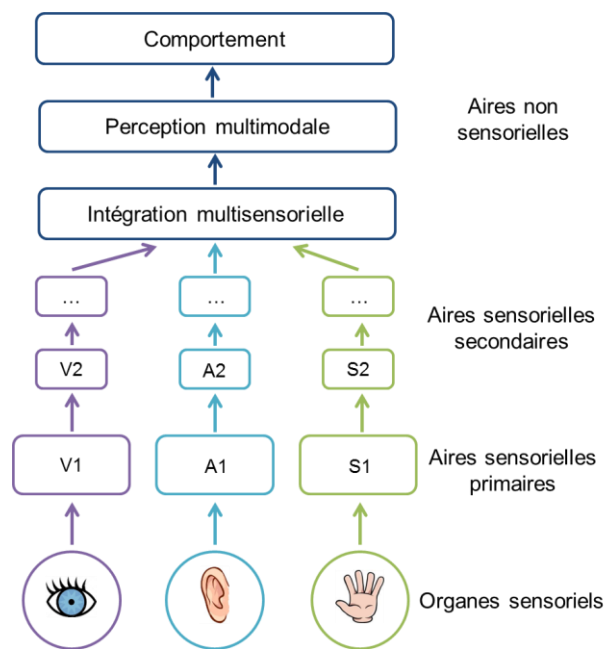


Figure 1.1 : Exemple simplifié de l'intégration multisensorielle avec la vue, l'audition et la somesthésie. Des relations transversales, ascendantes et descendantes existent entre les différentes aires des différentes modalités sensorielles, mais ne sont pas reportées sur ce schéma dans un souci de lisibilité.

ii. L'hypothèse du déficit sensoriel

Selon cette première hypothèse, le manque d'une modalité sensorielle entraînerait des déficits dans le développement des modalités restantes avec comme conséquences des lacunes ou des difficultés dans la réalisation de certaines tâches. Le système sensoriel ne pourrait se passer d'une modalité sensorielle puisque le système fonctionnerait sur un modèle de "division du travail" entre les différentes modalités. L'absence de "travail" de l'une d'entre elles entraînerait un manque de redondance sensorielle et un déséquilibre dans l'intégration sensorielle. Ce déséquilibre créerait alors un déficit dans le fonctionnement normal des autres modalités sensorielles et/ou de la cognition plus généralement. Par exemple, les aveugles semblent présenter un déficit dans la gestion d'informations spatiales complexes comme dans la mémorisation et le rappel de matrices apprises par le toucher (Vecchi, Tinti, & Cornoldi, 2004).

iii. Hypothèse de la compensation sensorielle

La seconde hypothèse est l'hypothèse de la compensation ou vicariance sensorielle. Selon cette hypothèse le manque d'une modalité sensorielle entraînerait une augmentation de la sensibilité et de l'efficacité des modalités restantes pour compenser le manque d'informations habituelles délivrées par celle manquante. Cette compensation entraînerait ainsi une plasticité des systèmes sensoriels cérébraux. Pour Pavani et R der (2012), cette compensation sensorielle serait sous-tendue par 3 types de plasticité cérébrale différents. **La plasticité intramodale** est le mécanisme par lequel les aires sensorielles majoritairement dévolues aux modalités intactes se développent pour augmenter leur sensibilité et induire des changements comportementaux. Par exemple, il y aurait une augmentation de la représentation de la hauteur des sons dans le cortex auditif des aveugles qui leur permettrait une hausse de l'acuité auditive pour la discrimination des sons (Gougoux et al., 2004). Au contraire, **la plasticité intermodale** est le mécanisme par lequel les régions cérébrales principalement associées à la modalité manquante se réorganisent dans le traitement des informations provenant d'une des modalités intactes. Par exemple, le cortex visuel des personnes aveugles s'active lors d'une tâche de discrimination tactile ou de lecture du braille (Sadato et al., 1996). La plasticité et **la réorganisation des structures**

multisensorielles est le mécanisme par lequel les neurones des régions cérébrales avec des propriétés multisensorielles vont se spécialiser dans le traitement des informations sensorielles des modalités intactes. Par exemple, différentes études ont observé des activations cérébrales plus importantes chez les sourds pour le traitement d'une tâche visuelle périphérique dans des régions habituellement multisensorielles ou attentionnelles comme le sulcus temporal supérieur, le cortex pariétal postérieur ou encore le *frontal eye field* (Bavelier et al., 2001; Scott, Karns, Dow, Stevens, & Neville, 2014). À noter que l'hypothèse du déficit et de la compensation sensorielle ne sont pas mutuellement exclusives et que le manque d'une modalité sensorielle peut à la fois avoir des conséquences déficitaires sur certains aspects de la perception tout en améliorant d'autres.

Ces mécanismes de plasticité ont d'autant plus de chance de se mettre en place et d'être efficaces que la privation sensorielle est précoce puisque le cerveau va pouvoir se développer selon les contraintes sensorielles et s'adapter à un environnement atypique. Il est néanmoins important de préciser que les changements ou avantages observés chez les adultes sourds ou aveugles ne sont pas toujours présents chez les enfants sourds ou aveugles. Ainsi, et comme nous le verrons plus tard dans cette thèse, la surdité précoce entraîne une augmentation de la vitesse de traitement des informations visuelles périphériques avec une redistribution des capacités attentionnelles du champ visuel central vers la périphérie (Bavelier, Dye, & Hauser, 2006; Pavani & Bottari, 2012, revue de la littérature détaillée dans le chapitre 2). Or il semblerait que les enfants sourds ne profitent pas du même avantage que les adultes avant l'adolescence. Par exemple, la redistribution des capacités attentionnelles ne s'observe pas avant l'âge de 11 ans chez les enfants sourds (Dye, Hauser, & Bavelier, 2009). Codina, Buckley, Port, et Pascalis (2011) ont comparé les performances d'enfants sourds et entendants entre 5 et 15 ans à celles d'adultes sourds et entendants dans une tâche de localisation de cibles périphériques avec une cible dont l'intensité lumineuse était plus ou moins importante. Lorsque la luminosité de la cible était élevée ou moyenne, les auteurs ont observé que les enfants sourds avaient des performances (i.e., temps de réponse et proportion de réponses correctes) et des trajectoires développementales comparables aux enfants entendants. Par contre lorsque la cible à localiser avait une faible intensité lumineuse, les enfants sourds avaient un pourcentage de bonnes réponses inférieur à celui des entendants jusque vers l'âge de 11 ans et avaient également des temps de réponse plus lents que les entendants jusque vers l'âge

de 8 ans (figure 1.2). Enfin, les performances globales des enfants étaient similaires à celles des adultes du même statut auditif vers 12-13 ans avec les enfants sourds plus rapides que les entendants pour localiser une cible périphérique. Ces résultats suggèrent que la construction du traitement visuel périphérique dépend de l'âge et du statut auditif de la personne. Pour les auteurs, il est possible que la maturation du développement système visuel et attentionnel plus lente chez les enfants sourds soit due au manque de synergie et de redondances d'informations entre la modalité visuelle et auditive. Ce manque de synergie entre vision et audition ne serait plus un problème dès la préadolescence quand les sourds rattrapent voire surpassent les capacités visuelles des entendants.

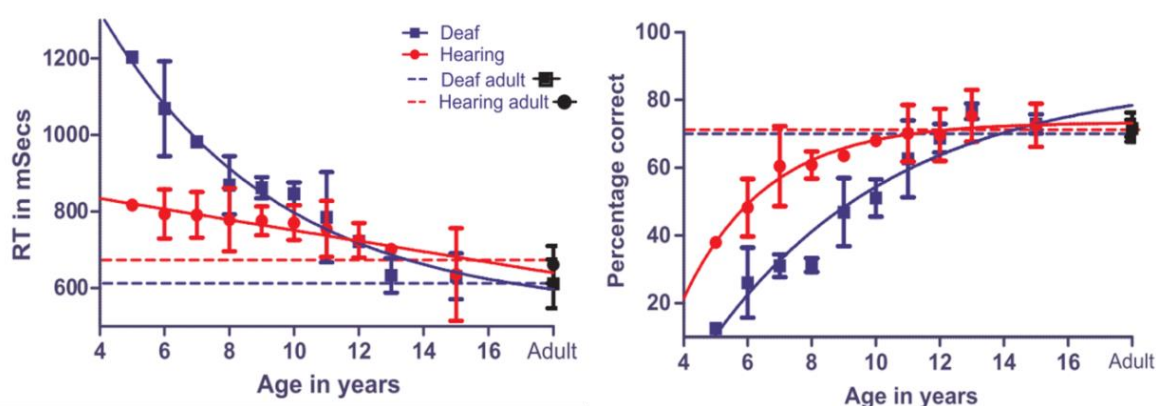


Figure 1.2: Evolution des temps de réponse moyens et du pourcentage de localisation correcte dans la condition avec peu de contrastes lumineux chez les sourds et les entendants en fonction de l'âge. (Codina et al., 2011).

2. La surdité

i. Rappels sur le fonctionnement du système auditif

Le but de cette section est de reprendre brièvement et simplement les bases anatomiques et fonctionnelles de la perception auditive afin d'assurer une compréhension des différentes surdités et de leur prise en charge respective.

1. Le système auditif périphérique

L'organe sensoriel de la perception auditive est l'oreille. Elle a pour fonction principale de traduire l'information sonore présente dans l'environnement sous forme de vibrations

(i.e., ondes sinusoïdales) en influx nerveux qui seront par la suite interprétés par les cortex auditifs et associatifs. L'oreille est divisée en 3 parties: l'oreille externe, l'oreille moyenne et enfin l'oreille interne (voir figure 1.3).

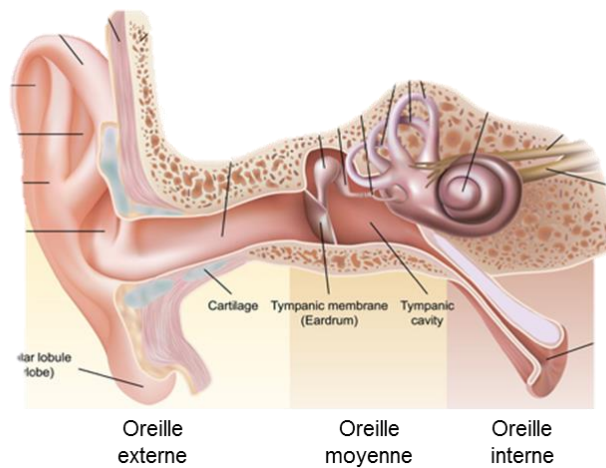


Figure 1.3: Anatomie de l'oreille.

L'oreille externe. L'oreille externe se compose du pavillon et du conduit auditif. Elle est séparée de l'oreille moyenne par le tympan. Le pavillon est l'unique partie externe de l'oreille et joue un rôle d'entonnoir; il capte et centralise les informations sonores environnantes dans le conduit auditif. Ces informations, sous forme d'ondes sonores, vont aller faire vibrer le tympan au fond du conduit auditif. L'oreille externe a également pour fonction la localisation spatiale des sons, ou stéréophonie, grâce à la différence d'intensité et de temporalité du son sur le plan interaural (i.e., différence entre les deux oreilles).

L'oreille moyenne. L'oreille moyenne se compose de la caisse tympanique dans laquelle se trouvent les osselets (i.e., le marteau, l'enclume et l'étrier) qui sont les plus petits os du corps humains (figure 1.4). L'action en chaîne de ces osselets convertit l'information vibratoire du son en information mécanique. La vibration du tympan enclenche l'action du marteau, puis de l'enclume et enfin de l'étrier. Ce dernier osselet va avoir un effet de levier et stimuler la fenêtre ovale, organe séparant l'oreille moyenne et interne. Ce phénomène dans l'oreille moyenne permet un gain dans la qualité de la transmission de l'information avec une amplification des sons pour un traitement optimal dans l'oreille interne.

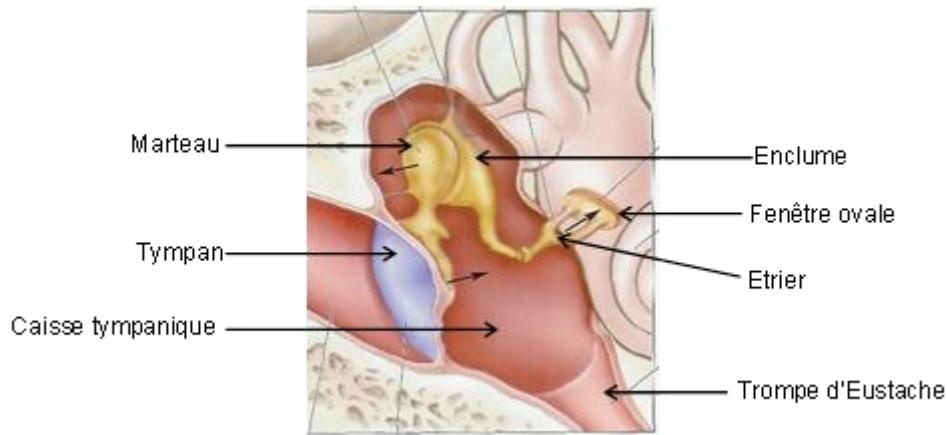


Figure I.4 : Anatomie de l'oreille moyenne.

L'oreille interne. L'oreille interne se compose de la cochlée et du système vestibulaire impliqué dans l'équilibre (figure 1.5). Contrairement à la partie externe et moyenne, l'oreille interne est remplie d'un liquide appelé la lymphe. La cochlée est la partie de l'oreille interne appartenant au système auditif et doit son nom à sa forme hélicoïdale conique (i.e., comme une coquille d'escargot). Cette forme particulière est le résultat de l'enroulement des trois canaux ou rampes dont elle est constituée ; le canal cochléaire étant entouré par la rampe tympanique et la rampe vestibulaire. L'action mécanique des osselets sur la fenêtre ovale va faire vibrer la lymphe à l'intérieur de ces rampes et canaux. Le son initialement capté par l'oreille externe va alors se propager le long de la cochlée et être traité selon sa fréquence. La cochlée possède une organisation tonotopique, les hautes fréquences sonores sont traitées à sa base alors que les basses fréquences sont traitées à son apex ; la cochlée humaine pouvant traiter des fréquences entre 20 Hz et 20kHz.

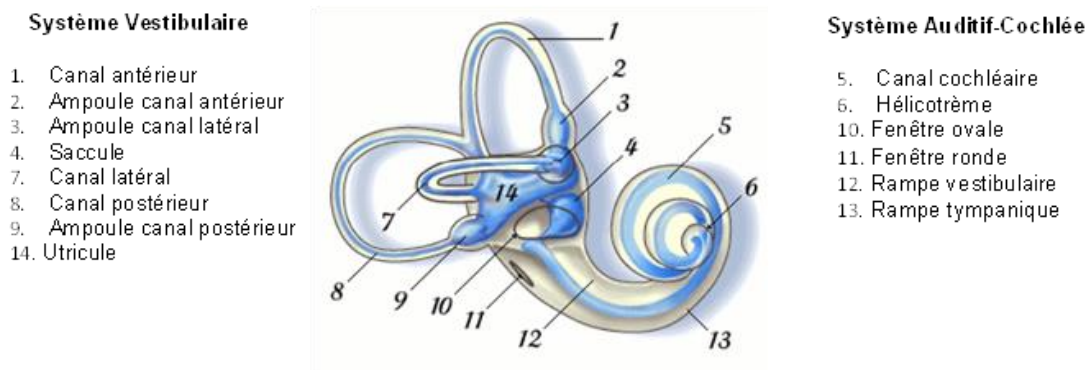


Figure I.5 : Anatomie de l'oreille interne.

Au milieu des rampes et canaux se trouve la membrane basilaire et l'organe de Corti. Ce dernier est l'organe sensoriel contenant les cellules ciliées et stéréocils (i.e., cellules vibratiles au sommet de chaque cellule ciliée) dont l'action vibratoire conjointe aux mouvements de la membrane tectoriale disposée au-dessus va délivrer le message nerveux au nerf auditif (figure 1.6). En effet, les cellules ciliées sont connectées sous forme de synapses avec les ganglions spinaux dont les axones forment ensuite le nerf auditif. Il existe 4 rangées de cellules ciliées, 3 rangées de cellules dites externes et une rangée dite interne. Les rangées externes sont constituées de cellules eff erentes (i.e., un fonctionnement bottom-up dont l'activation est liée aux stimulations environnementales) alors que la rangée interne est constituée de cellules aff erentes dont le fonctionnement top-down est activé par le système nerveux central. L'action de cette dernière permet un rétrocontrôle de l'action des synapses entre le nerf auditif et les cellules ciliées internes permettant ainsi de filtrer les sons indésirables à la situation environnementale.

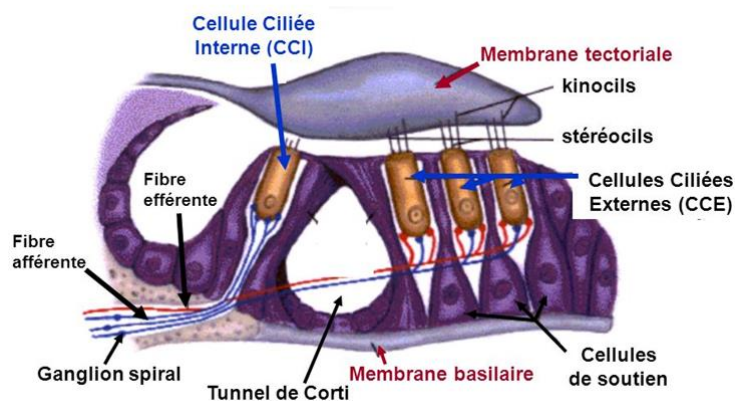


Figure 1.6: Organe de Corti.

2. Le système auditif central

Le nerf auditif va tout d'abord se projeter dans les noyaux cochléaires du tronc cérébral pour un premier traitement de l'information sonore avec notamment l'extraction des informations de durée, de fréquence et d'intensité. Les fibres vont d cuser pour ensuite se projeter dans le complexe olivaire supérieur contro-latéral (situé dans le tronc cérébral) puis dans le colliculus inférieur. Ces deux étapes permettent l'extraction d'abord grossière puis affinée des informations de localisation spatiale du son. La dernière étape des fibres auditives avant le cortex auditif primaire est dans le thalamus avec un passage par les corps

géniculés médiaux pour intégrer une grande partie des informations extraites dont notamment le décodage des phonèmes. Le cortex auditif primaire (A1) est situé dans le lobe temporal (aire de Brodmann n° 41 et 42) et est tout comme la cochlée tonotopique. Les aires auditives secondaires entourent A1 et permettent un traitement des informations auditives de haut niveau comme le traitement de la prosodie, de la musique ou encore de la tonalité ou encore la compréhension de la parole via l'aire de Wernicke.

ii. Les atteintes du système auditif

1. L'acuité auditive

La sensibilité auditive ou acuité auditive est évaluée par la construction d'un audiogramme, un graphique sur lequel est reporté le seuil de détection d'un son selon son intensité (dB) et sa fréquence (Hz, figure 1.7). Il existe différentes atteintes du système auditif classables selon leur étiologie, la perte auditive ou encore la partie de l'oreille atteinte.

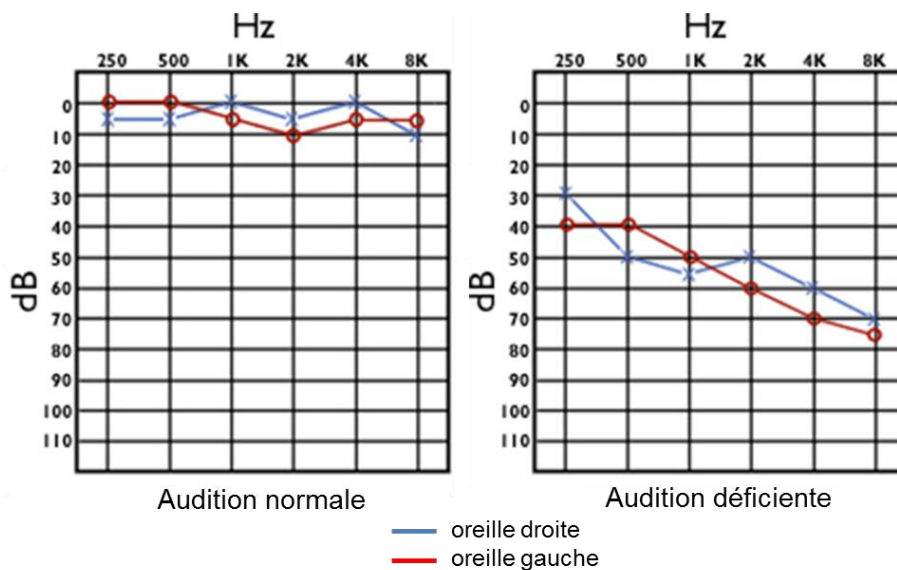


Figure 1.7 : Audiogrammes d'une audition normale et déficiente. L'audition déficiente est particulièrement touchée dans les hautes fréquences (i.e., sons aigües).

Selon les standards médicaux, une perte de sensibilité entre 20 et 40dB sera caractérisée comme une surdité légère, entre 40 et 70dB comme une surdité moyenne, entre 70 et 90dB une surdité sévère et enfin une perte auditive de plus de 90dB comme une

surdité profonde. À noter que l'exposition prolongée à une intensité sonore supérieure à 90dB est considérée comme dangereuse et représente par exemple le bruit d'une tronçonneuse (figure 1.8).



Figure 1.8 : Exemple d'échelle du bruit.

2. Les différents types de surdité

Les atteintes de l'acuité auditive peuvent être transitoires ou permanentes ou encore précoces ou tardives. De plus, selon la nature et la localisation de l'atteinte auditive la conséquence sensorielle et la prise en charge seront différentes. On distingue classiquement quatre types de surdité.

La surdité de transmission est une surdité touchant l'oreille externe ou moyenne. C'est une surdité dite mécanique puisque le problème auditif est lié à un défaut de transmission de l'onde acoustique à la cochlée. Cette dernière fonctionne parfaitement, mais traite un signal délétère. La surdité de transmission est le plus souvent une surdité transitoire induisant une surdité légère ou moyenne. De plus, sa prise en charge est relativement facile avec un traitement médicamenteux en cas d'infection ou intervention chirurgicale. Dans certains cas de surdité de transmission il est également possible d'utiliser un implant un ancrage osseux.

La surdité de perception (ou surdité neurosensorielle) est une surdité touchant l'oreille interne avec une atteinte du fonctionnement de la cochlée avec une détérioration ou un manque de cellules ciliées. La transformation de l'information sonore en messages nerveux

est alors défaillante empêchant un traitement correct de l'information au niveau cortical. Ce type de surdité est le plus souvent chronique et entraine des surdités moyennes à profondes. La prise en charge des surdités de perception est plus complexe que pour la surdité de transmission puisqu'elles ne peuvent se traiter chirurgicalement. Les aides auditives ou les implants cochléaires vont alors être les supports les plus fréquemment utilisés. **La surdité mixte** est une surdité touchant à la fois le système de transmission et le système de perception de l'information auditive.

La surdité rétro-cochléaire n'est pas une surdité affectant l'oreille, mais est due à un non-fonctionnement ou à l'absence du nerf auditif. Cette défaillance rend impossible la transmission des messages nerveux envoyés par la cochlée au cortex auditif. La surdité est alors profonde et permanente. De plus, l'affection se situant au niveau du nerf auditif l'implant cochléaire est inutile. La prise en charge de ce type de surdité est complexe et seul un implant auditif au niveau du tronc cérébral peut être envisagé.

Ce travail de thèse s'intéresse aux personnes atteintes de surdité sévère à profonde depuis la naissance ou les premières années de la vie. Ce sont donc majoritairement des personnes atteintes de surdité de perception. Les étiologies de ces surdités profondes précoces sont nombreuses et variées : atteintes génétiques, virus durant la grossesse, maladies dans la petite enfance... Selon le rapport Gillot sur le droit des sourds (1998), 1.54% de la population française serait atteinte de surdité prélinguale (i.e., la surdité apparait avant l'acquisition du langage oral). De plus, un enfant sur 1000 devient sourd avant 18 mois et seulement 5% des enfants nés sourds ont également des parents sourds.

3. Les aides auditives

Pour certains cas de surdité de transmission, quand la chirurgie ne peut réparer l'affection de l'oreille moyenne, **l'implant à ancrage osseux** va mimer l'action de cette dernière pour stimuler l'oreille interne en faisant vibrer l'os pariétal (figure 1.9). Le principe est d'ancrer un morceau de titane en forme de vis dans l'os pariétal et de relier cette "vis"   un boitier capteur de sons. Les sons captés par le microphone du boitier vont être transformés pour faire vibrer la "vis" ancrée dans l'os pariétal situé au niveau de l'oreille interne. Cette vibration directe de la lymphe de l'oreille interne permet de faire abstraction

de l'action du tympan et des osselets (i.e., oreille moyenne). La cochlée dont le fonctionnement est intact va donc pouvoir être stimulée et envoyer des messages nerveux vers le cortex auditif.

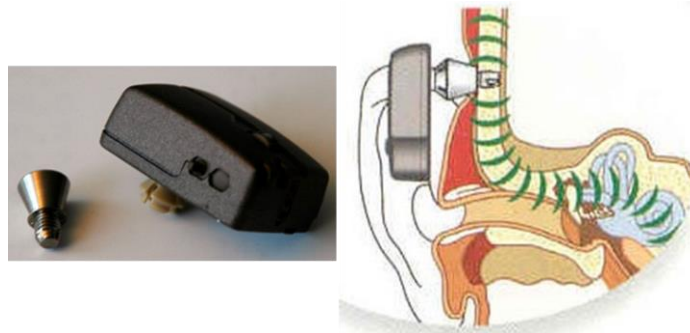


Figure 1.9 : Implant auditif à ancrage osseux. À gauche : la vis en titane et le boîtier externe. À droite : schéma du fonctionnement de l'implant.

Dans les cas de surdité de perception, il est possible d'utiliser une aide auditive de type contour d'oreille ou de poser un implant cochléaire. **Le contour d'oreille** s'utilise pour tous les types de pertes auditives et tous les degrés de surdité (figure 1.10). C'est une aide périphérique qui ne nécessite pas de chirurgie. Cet aspect non invasif permet une large utilisation de cette aide par les personnes sourdes. Le principe des contours d'oreille est très simple. Un microphone capte les sons qui sont par la suite amplifiés et transmis dans le canal auditif via un écouteur. L'intensité d'amplification du son va pouvoir se régler selon la perte auditive de la personne. Généralement, un contour d'oreille est utilisé sur chacune des deux oreilles.

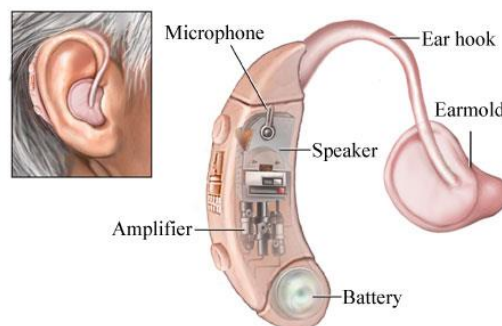


Figure 1.10 : Contours d'oreille.

Enfin, il est également possible d'avoir recours à **l'implant cochléaire** dans les cas sévères de surdité de perception. Le principe est d'introduire un faisceau d'électrodes sur

toute la longueur de la cochlée afin de mimer l'action des deux couches de cellules cill es réceptrices pour stimuler le nerf auditif et envoyer des messages nerveux au cortex auditif. Un implant cochléaire est composé d'une partie interne et externe (figure 1.11). Comme toutes les aides/prothèses auditives, la partie extérieure est constituée d'un microphone (1) qui va capter les sons de l'environnement. Ces sons vont être transformés par un processeur extérieur (1) et transmis   la partie interne de l'implant via une antenne (2). La partie interne est constituée d'un récepteur (3) qui transmet des impulsions électriques au faisceau d'électrodes situées dans la cochlée (4) pour enfin stimuler le nerf auditif. L'utilisation d'un implant cochléaire nécessite une adaptation et un apprentissage de la part de l'utilisateur et bien que pouvant être très efficace, certaines personnes ne supportent pas l'implant cochléaire.

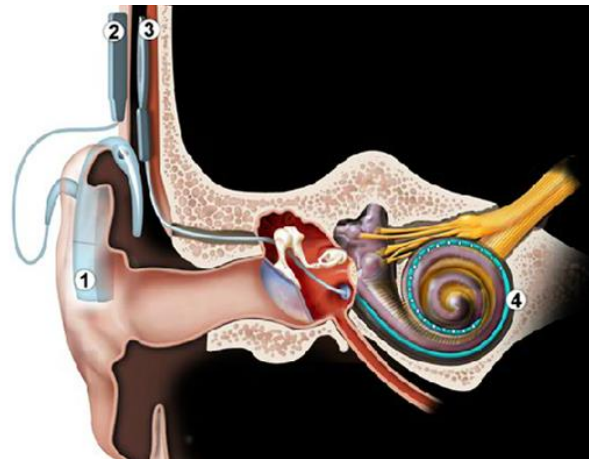


Figure 1.11 : Implant cochléaire. 1. Microphone et processeur informatique 2. Antenne 3. Récepteur 4. Faisceau d'électrodes.

En considérant l'étiologie, la nature et le degré de la surdité ainsi que l'aide auditive utilisée par la personne ou encore le statut auditif des parents, il existe une très grande hétérogénéité dans les profils de la population sourde. Toutes ces différentes caractéristiques sont d'autant de sources potentielles de variabilité dans les données expérimentales rendant parfois compliqué la réplication ou la comparaison de différents résultats. De plus, certains sourds ont eu une éducation oraliste et ne connaissent que très peu la langue des signes contrairement à certains autres qui ne communiquent que par la langue des signes. L'âge d'apprentissage ainsi que la fluence en langue des signes sont certainement les caractéristiques les plus importantes à prendre en compte lorsque l'on

étudie la population sourde. En effet, la langue des signes est une langue visuo-spatiale dont l'expertise pourrait être une source potentielle de plasticité perceptive. Cette notion de plasticité induite par l'expertise fera spécifiquement l'objet d'une section théorique dans ce chapitre introductif.

3. Plasticité perceptive chez les sourds précoces profonds

i. Le toucher

L'audition est une modalité importante pour la prise d'informations distales telles que la direction ou la distance d'un stimulus contrairement à la modalité tactile qui prodigue des informations proximales. De plus, alors que les aveugles s'appuient sur le toucher et le braille pour lire, les sourds utilisent la vision avec la langue des signes pour communiquer. Ces distinctions pourraient expliquer pourquoi les capacités de perception tactile des personnes sourdes n'ont été que peu étudiées.

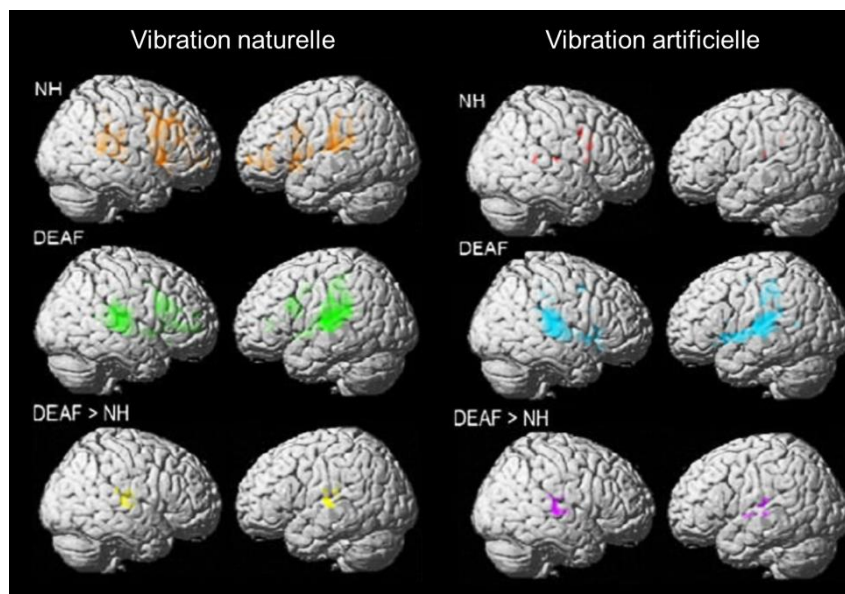


Figure 1.12 : Activation corticale suite à la présentation de vibrations naturelles ou artificielles chez les entendants non-signeurs (NH), chez les sourds (DEAF). Lorsque l'on soustrait les activations des deux groupes, on observe une activation du cortex auditif primaire chez les sourds uniquement (ligne du bas). (Auer et al., 2007)

Différentes études suggèrent que les sourds ont des performances similaires aux entendants pour discriminer des fréquences de vibrations, discriminer la temporalité de

vibration sur différents doigts, ou pour détecter rapidement une stimulation tactile (Heimler & Pavani, 2014; Lev nen & Hamdorf, 2001; Moallem, Reed, & Braida, 2010), mais semblent par contre plus sensibles pour détecter un changement de fréquence de la vibration de référence (Lev nen & Hamdorf, 2001). Il semblerait également qu'une stimulation vibratoire active le cortex auditif des sourds (figure 1.12) que la vibration soit naturelle (i.e., fréquence fondamentale extraite de productions orales) ou artificielle (i.e., fréquence pure générée par ordinateur, Auer, Bernstein, Sungkarat, & Singh, 2007).

ii. La vision

L'étude des fonctions perceptives visuelles de bas niveau chez les sourds n'a pas permis d'observer des différences entre sourds et entendants dans la sensibilité aux contrastes (Finney & Dobkins, 2001; Stevens & Neville, 2006), dans la détection du mouvement (Bosworth & Dobkins, 1999, 2002b), dans la détection du changement de vitesse (Brozinsky & Bavelier, 2004) ou encore dans la détection de scintillement visuel (Bross & Sauerwein, 1980). L'estimation d'une quantité visuelle n'est pas non plus modifiée par la surdité précoce (Hauser, Dye, Boutla, Green, & Bavelier, 2007), tout comme les capacités de jugement dans la chronologie d'apparition de cibles (Nava, Bottari, Zampini, & Pavani, 2008).

Les tâches impliquant des aptitudes visuo-spatiales n'ont pas fait l'objet de beaucoup de publications. Il semblerait néanmoins que la surdité modifie certains aspects de la représentation de l'espace et notamment la représentation de l'espace par rapport à son corps. Par exemple, Cattaneo, Lega, Cecchetto et Papagno (2014) ont utilisé une tâche de bissection de lignes pour évaluer la représentation de l'espace des personnes sourdes et signeuses. Dans cette tâche, le participant doit estimer le milieu d'une ligne horizontale présentée face à lui. Alors que les entendants (signeurs et non-signeurs) présentaient une bissection de ligne typiquement biaisée vers la gauche, les sourds (signeurs et non-signeurs) avaient tendance à avoir une perception non biaisée ou légèrement biaisée vers la droite du milieu de la ligne (figure 1.13). Pour les auteurs cette différence de perception de l'espace serait le reflet d'un plus grand recrutement de l'hémisphère gauche dans le traitement visuo-spatial chez les sourds et non chez les signeurs. Dans la même idée, il semblerait également que les sourds éprouvent plus de difficultés que les entendants dans la

représentation égocentrique de l'espace (i.e., localisation et représentation d'un objet par rapport à son propre corps ou une partie de son corps) alors que leur représentation allocentrique de l'espace (i.e., localisation et représentation d'un objet par rapport à un autre objet ou un repère de l'environnement) serait similaire à celle des entendants (Zhang et al., 2014). Les informations auditives seraient alors indispensables au développement de la représentation égocentrique puisque le système auditif permet entre autres de se représenter les actions sonores par rapport à son propre corps (via notamment la stéréophonie).

Le traitement de l'information visuelle dans l'espace périphérique est certainement la dimension visuelle la plus influencée par la surdité précoce. Comme cette dimension est une thématique centrale de ce travail de thèse, elle fait l'objet d'un chapitre à part entière ; la revue des capacités du traitement visuel périphérique chez les sourds sera donc largement développée dans le chapitre 2.

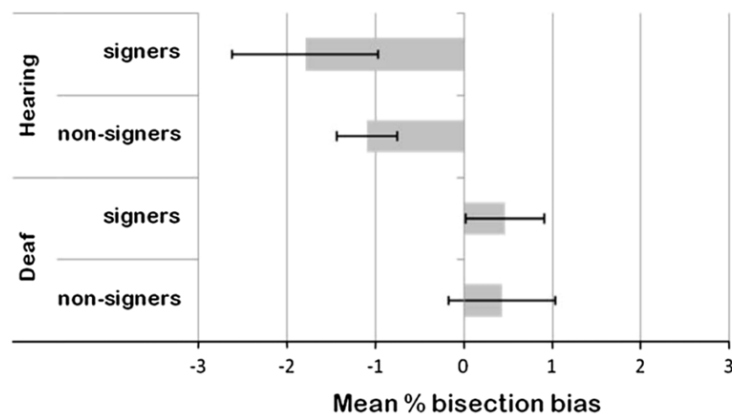


Figure 1.13 : Biais de bissection observés dans l'étude de Cattaneo et al. (2014). Un score négatif indique un biais vers la gauche (i.e. biais classiquement reporté dans la littérature) et un score positif un biais vers la droite. À noter que seuls les biais des groupes d'entendants étaient significativement différents de 0 (i.e., pas de biais perceptif).

La langue des signes : pratique et expertise d'une langue visuo-motrice

1. L'expertise

La privation sensorielle n'est pas le seul facteur à induire une plasticité des processus perceptifs. L'apprentissage et l'expérience, comme la pratique régulière et à bon niveau du sport, de la musique ou encore des jeux vidéo, ont également un rôle déterminant dans la mise en place et la modification des mécanismes du traitement de l'information sensorielle.

i. La pratique du sport

Outre les capacités physiques, les performances sportives dépendent également de la faculté à réagir de manière optimale à une information visuelle (e.g. recherche et poursuite visuelle, réactivité, coordination œil/main ou œil/pied). Il semblerait que ces contraintes visuelles entraînent une amélioration des performances dans des tâches visuo-attentionnelles, de recherche visuelle, d'anticipation ou encore de prise de décision dans la réalisation d'une action, et ce notamment chez les sportifs de haut niveau (Memmert, 2009; Mori, Ohtani, & Imanaka, 2002; Muiños & Ballesteros, 2013; Williams & Ford, 2008; Zwierko, 2008). Par exemple, les joueurs de baseball seraient ainsi plus rapides pour réaliser une tâche de Go/NoGo que les non-sportifs avec des temps de réponse corrélés au niveau de pratique (Kida, Oda, & Matsumura, 2005).

L'apprentissage d'une activité avec des contraintes motrices et perceptives peut impacter jusqu'à l'organisation cérébrale de l'apprenant. Par exemple, après trois mois d'apprentissage du jonglage la quantité de matière grise dans l'aire motrice est plus importante qu'avant le début de l'apprentissage (Draganski et al., 2004). Cette étude illustre que la plasticité cérébrale est possible à l'âge adulte chez les personnes sans trouble

neurologique avec un entraînement et une pratique régulière. Les sportifs de haut niveau ne seraient ainsi pas les seuls à bénéficier d'avantages perceptifs suite à la maîtrise d'une activité motrice et perceptive exigeante.

ii. La pratique de la musique

L'effet de la pratique de la musique sur le système nerveux central des musiciens a beaucoup été étudié. La pratique à bon niveau d'un instrument de musique nécessite l'implication en parallèle du système moteur et du système auditif. Ces deux systèmes sont en interaction durant la production musicale avec des feedback et feedforward constants entre production motrice et perception auditive (Zatorre, Chen, & Penhune, 2007). Par exemple, le système moteur doit être capable de planifier une suite de mouvements (avec des contraintes temporelles, séquentielles et spatiales) suivant la rythmique et la mélodie imposées par la partition et de la corriger si le résultat perçu par le système auditif n'est pas celui attendu. Ces contraintes perceptivo-motrices entraîneraient ainsi une plasticité des régions cérébrales auditives et motrices ou encore des régions cérébrales plus frontales (e.g., Guerrini, Kuhlman, & Wristen, 2005; Lotze, Scheler, Tan, Braun, & Birbaumer, 2003; Schwenkreis et al., 2007; Stewart et al., 2003; Zatorre et al., 2007 ; Kraus & Chandrasekaran, 2010)

D'un point de vue comportemental, les musiciens sont plus performants que les non-musiciens pour discriminer les timbres vocaux et musicaux ou la hauteur des sons (Chartrand & Belin, 2006; Pitt, 1994). Ils sont également plus performants dans des tâches d'imageries mentales auditives et musicales ou de mémoire de travail auditive (Aleman, Nieuwenstein, Böcker, & De Haan, 2000; Pallesen et al., 2010) ou dans la mémorisation à court terme de séquences motrices (Pau, Jahn, Sakreida, Domin, & Lotze, 2013). Enfin, une récente étude s'est intéressée aux conséquences de la pratique des jeux vidéo musicaux (e.g., Rock Band ou Guitar Hero) sur la perception de la musique (Pasinski, Hannon, & Snyder, 2016). Ils ont ainsi testé des musiciens de bon niveau (i.e., au moins six ans d'expérience), des joueurs de jeux vidéo musicaux de bon niveau (i.e., niveau difficile ou expert) et des non-joueurs non musiciens dans la perception de la mélodie, du tempo, de la rythmique ou encore de l'accordage d'un instrument. Les auteurs ont observé que les joueurs de jeux vidéo avaient

des performances supérieures à celles des participants contrôles et relativement comparables à celles des musiciens (figure 1.14). Cette étude suggère ainsi que les stimulations et contraintes perceptives des jeux vidéo pourraient également être source de plasticité perceptive.

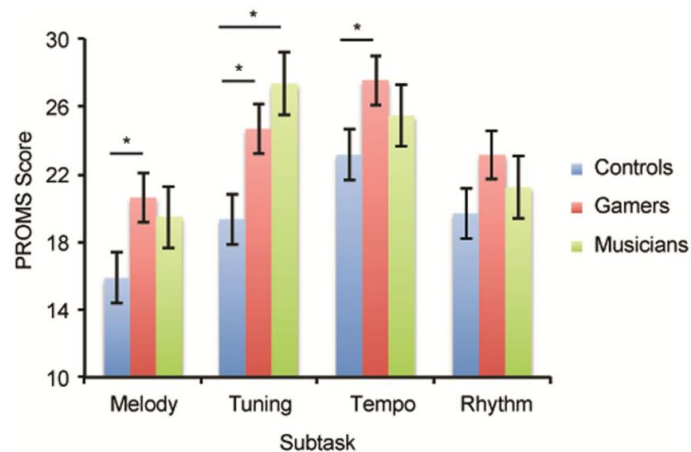


Figure 1.14 : Performances au test *Profil of Music Perception Skills* (PROMS) chez les participants contrôles, les joueurs de jeux vidéo musicaux et les musiciens. (Pasinski et al., 2016)

iii. La pratique des jeux vidéo

Contrairement à la pratique du sport ou de la musique, jouer aux jeux vidéo n’implique pas un parallèle strict entre les exécutions motrices du joueur sur la manette ou le clavier d’ordinateur et les conséquences perceptives. Il n’en demeure pas moins que la réussite aux jeux vidéo nécessite la gestion de contraintes motrices et perceptives. La littérature s’est donc intéressée à l’impact que pouvait avoir la pratique fréquente et à bon niveau des jeux vidéo sur la cognition visuelle des joueurs.

Les jeux vidéo d’action ou *FPS* (*First Personal Shooter* comme le jeu *Call of Duty*) semblent être le type de jeux vidéo ayant le plus d’impact sur les capacités visuelles. Les *FPS* sont des jeux dans lequel le joueur incarne à la première personne son personnage et dont les thèmes sont le plus souvent d’ordre militaire ou “apocalyptique” nécessitant de tuer des ennemis à l’aide d’armes à feu. Performer à ces jeux nécessite que le joueur soit particulièrement attentif à toutes les informations de l’écran (e.g., pour anticiper ses déplacements, localiser le point d’arrivée ou les ennemis, gérer sa barre de vie) tout en ayant

des exécutions motrices précises et rapides selon la situation (e.g., se cacher, changer d'arme ou utiliser un objet particulier) sous peine de perdre une vie ou de faire perdre son équipe. Les joueurs fréquents de *FPS*, c'est-à-dire des personnes jouant minimum 5 à 10 heures par semaine sur les 6 derniers mois, auraient ainsi une meilleure résolution spatiale, cognition spatiale, un plus grand champ visuel ou encore de meilleures ressources attentionnelles spatiales et temporelles que les non-joueurs (Buckley, Codina, Bhardwaj, & Pascalis, 2010; Castel, Pratt, & Drummond, 2005; Green & Bavelier, 2003, 2006, 2007; Spence & Feng, 2010). Dans leur étude de 2007, Green et Bavelier ont observé qu'une pratique de 30 heures des FPS par des non-joueurs était suffisante pour entraîner une augmentation de leur résolution spatiale contrairement à une pratique de 30 heures du jeu Tetris. Les auteurs ont présenté au participant 3 lettres identiques alignées verticalement à différentes excentricités visuelles (i.e., 0°, 10° et 25°). La tâche consistait à indiquer si la lettre du milieu était présentée à l'endroit ou à l'envers. En faisant varier l'espacement entre les 3 lettres, il est possible d'établir le seuil de crowding, c'est-à-dire l'espacement à partir duquel le participant ne fait plus la discrimination entre les 3 lettres, il perçoit une forme dans laquelle les 3 lettres ont fusionné (figure 1.15). Après 30 heures d'entraînement, le seuil de crowding était amélioré chez les participants ayant joué au *FPS*. Cette étude illustre ainsi que dès 30 heures de pratique, il serait possible de voir un effet des jeux vidéo sur certaines dimensions de la cognition visuelle, mais également que cet effet ne s'observe pas suite à la pratique de n'importe quel type de jeux vidéo.

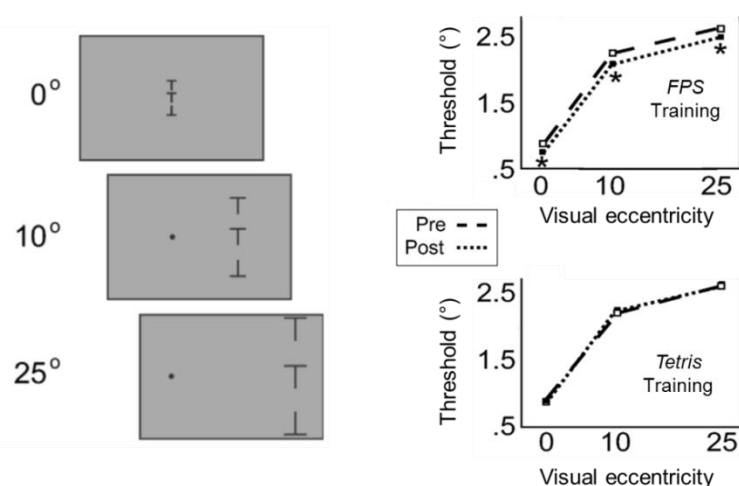


Figure 1.15 : Stimuli présentés et effet de l'entraînement avec *FPS* et *Tetris* sur le seuil de crowding aux différentes excentricités visuelles testées. D'après Green et Bavelier (2007).

La pratique fréquente et régulière d'une activité avec de fortes contraintes sensorimotrices, que ce soit le sport, la musique ou les jeux vidéo, est une source de plasticité à la fois cérébrale et perceptive. Cette plasticité s'observe généralement chez les personnes adultes pratiquant leur activité à bon niveau depuis plusieurs années, mais les études d'entraînement suggèrent que plusieurs semaines seraient suffisantes pour observer les premiers effets de la pratique. La langue des signes, langue de communication des personnes sourdes, implique également des fortes contraintes visuelles et motrices. Il est donc important de considérer la pratique de la langue comme sources potentielles de plasticité chez les personnes sourdes.

2. La langue des signes

i. Généralités et description de la langue des signes

3. Une diversité de langues des signes

La langue des signes est le moyen de communication naturel des personnes sourdes et contrairement à une croyance très répandue, elle n'est pas universelle. Selon la base de données *Ethnologue* de la Société Internationale de Linguistique il existerait au moins 140 langues des signes différentes fréquemment utilisées par au moins 10 000 personnes (la liste est disponible sur le lien suivant <https://www.ethnologue.com/subgroups/sign-language>). Comme dans les langues orales où il existe des langues dites latines, germaniques ou sémitiques (Afrique du Nord et Moyen-Orient), il existe la famille de langues des signes britanniques, des langues des signes japonaises ou des langues des signes françaises (la plus grande famille). Chaque langue a un alphabet et un système numérique qui lui est propre et deux langues orales proches n'impliquent pas nécessairement deux langues des signes proches. Par exemple et pour des raisons historiques, la langue des signes britannique et la langue des signes américaine ne se ressemblent pas. Comme les langues orales, les différentes langues des signes possèdent des grammaires et des syntaxes différentes. Ce sont des langues vivantes qui évoluent dans le temps selon l'histoire et la culture du pays. Il existe également des variations selon les régions géographiques, il existe ainsi des

différences de vocabulaire entre la langue des signes française signée à Grenoble et à Toulouse.

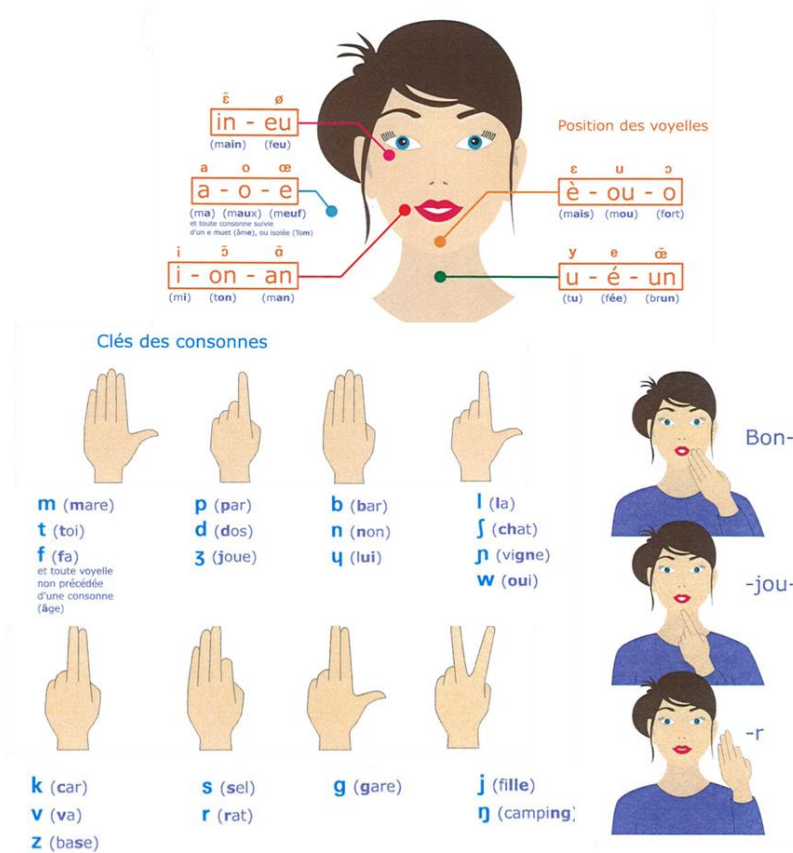


Figure 1.16: Règles du langage parlé complété français. Illustration de l'Association Nationale de la Langue française Parlée Complétée.

Il est par ailleurs important de faire la distinction entre les langues des signes, les langages signés et les communications par gestuelles. Les **langages signés** vont associer la syntaxe de la langue orale aux signes de la langue des signes. Au lieu de suivre la syntaxe de la langue des signes, les signes vont être associés sur le modèle de la syntaxe orale. C'est une façon de communiquer plus facile à apprendre pour les entendants que la langue des signes en tant que telle puisque la syntaxe reste la même, mais est peu utilisée par les sourds. C'est néanmoins une bonne façon pour les enfants sourds d'apprendre la syntaxe du français écrit. Les **communications par aides gestuelles** n'ont pas de lien avec la langue orale ou signée. C'est un support à la lecture labiale qui se fait simultanément à la production vocale et permet de désambiguïser la perception de la parole lorsque les retours visuels des phonèmes sont proches (e.g., pain, main, bain sont des sosies labiaux). Le langage parlé complété français comprend 8 configurations de mains (les consonnes) qui se réalisent à 5

localisations différentes (les voyelles, figure 1.16). Ainsi dans ce travail de thèse nous faisons spécifiquement référence à la langue des signes et non au langage signé ou à la communication par aides gestuelles.

2. Les différents gestes de parole

Les gestes de paroles de la langue des signes peuvent être de natures différentes. Ils peuvent être des signes iconiques, des signes non iconiques ou des classifieurs. Les signes iconiques sont des signes qui ressemblent au mot auquel il fait référence. Le mot *tree* en American Sign Language (ASL) peut ainsi être caractérisé d'iconique (figure 1.17) puisque l'on comprend facilement que l'avant-bras représente le tronc et la main le feuillage et que le tout est posé sur le sol illustré par l'avant-bras gauche. Au contraire, un signe non iconique est un signe dont la gestuelle ne ressemble pas à son sens. Le mot *mother* en ASL est par exemple un signe non iconique (figure 1.18). Un signe possède 4 caractéristiques : la forme de la main (ou des deux mains si le signe est bimanuel), son orientation, sa localisation et enfin son mouvement. Ainsi les signes *tree* et *mother* partagent la caractéristique de la forme de la main, mais diffèrent sur toutes les autres. Les signes *mother* et *father* sont identiques sur la forme, l'orientation et le mouvement, mais alors que le signe *mother* se signe au niveau du menton, le signe *father* se signe au niveau du front. Il n'existe pas de signes pour tous les mots et notamment les noms propres, les noms de villes ou de marques ; dans ces cas-là, le mot est épelé avec l'alphabet manuel.

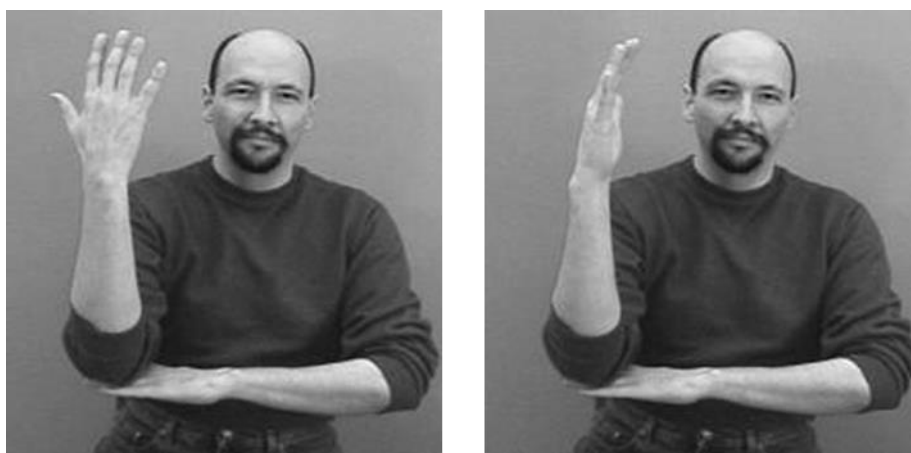


Figure 1.17: Le signe *tree* en ASL. Pour illustrer le mouvement des feuilles la main droite fait de mouvements de rotation. <http://www.lifeprint.com/>



Figure 1.18: Le signe *mother* en ASL vu de face et de côté. <http://www.lifeprint.com/>

Un signe peut également être un classifieur qui permet à l'interlocuteur de simplifier un signe pour préciser sa taille, sa forme, sa localisation ou son mouvement. Un même classifieur peut être utilisé dans des situations très variées pour faire référence à des choses ou actions très différentes. Par exemple en ASL le classifieur C (i.e., la forme de la main ressemble à la lettre C, figure 1.19) peut faire référence à un objet de forme cylindrique comme une bouteille et va être utilisé pour décrire les actions réalisées avec cette bouteille (e.g., prendre une bouteille d'eau sur une table, boire et la reposer sur la table), mais le classifieur C peut aussi permettre de préciser l'épaisseur de quelque chose (e.g., épaisseur de la couche de neige tombée pendant la nuit, figure 1.19).



Figure 1.19 : Le classifieur C en ASL. Dans l'image de gauche, le signeur fait référence à un objet cylindrique. Dans l'image de droite, il fait référence à l'épaisseur de quelque chose. <http://www.lifeprint.com/>

Les signes ne sont pas les seules productions nécessaires à la communication en langue des signes puisqu'une partie du message linguistique est véhiculé par des informations non-manuelles via les expressions faciales ou la posture du corps. En effet, les expressions faciales vont être indispensables pour remplacer la prosodie de la voix et donner des indices sur l'état émotionnel de la personne, mais elles servent également de marqueurs grammaticaux et syntaxiques (Brentari & Crossley, 2002; Liddell, 2003; Reilly, McIntire, & Seago, 1992; Reilly & Bellugi, 1996). Un même signe n'aura pas la même signification selon l'expression faciale associée. Les sourds possèdent ainsi une très grande palette d'expressions faciales pour préciser et nuancer leurs gestes de paroles. Enfin, comme ils doivent traiter les informations affectives et syntaxiques des visages il est possible que les sourds développent un système particulier du traitement des visages afin de maximiser et optimiser la prise d'informations nécessaires à la compréhension de la langue des signes.

ii. Une langue (presque) comme les autres

Plusieurs études se sont interrogées sur la nature et la localisation des activations cérébrales de la langue des signes. Grâce aux études de cas de sourds atteints d'aphasie et aux études en neuroimagerie, on sait maintenant que les langues visuo-motrices partagent un grand nombre d'activations cérébrales avec les langues orales avec une activation importante de l'hémisphère gauche et des aires de Broca et Wernicke dans la compréhension et production de langue des signes (Campbell, MacSweeney, & Waters, 2008; MacSweeney, Capek, Campbell, & Woll, 2008, figures 1.20). Il existerait néanmoins des différences entre les langues orales et les langues signées avec notamment un recrutement plus important de l'hémisphère droit chez les signeurs (pour des résultats contradictoires voir la revue de questions de Campbell et al., 2008). Cette possible augmentation de l'activation pourrait être liée à la spécialisation de l'hémisphère droit dans les processus visuo-spatiaux (Hellige, 1993) dont certaines aptitudes sont nécessaires à la compréhension de la langue des signes. De plus, les performances en rotation mentale, génération d'images ou encore en mémoire spatiale seraient améliorées chez les signeurs sourds ou entendants (Emmorey, 2001). Cette possible augmentation de l'activation pourrait également être liée à la spécialisation de l'hémisphère droit dans le traitement et la

reconnaissance des visages (Haxby, Hoffman, & Gobbini, 2000) et à la nécessité, en langue des signes, de traiter efficacement les expressions faciales.

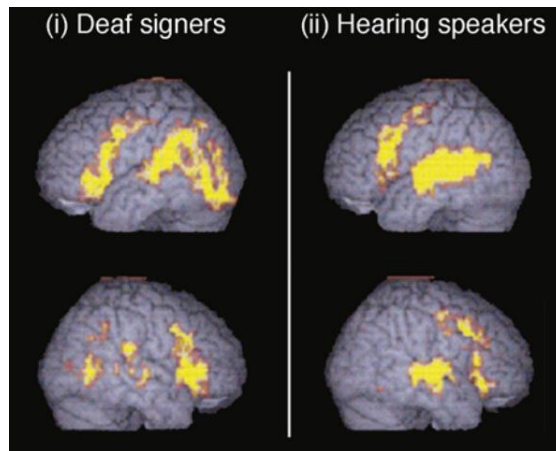


Figure 1.20: Régions cérébrales activées dans la compréhension de phrases en *British Sign Language* chez les sourds signeurs natif (à gauche) et dans la compréhension de phrases audio-visuelles anglaises chez les entendants non-signeurs. (MacSweeney et al., 2008)

iii. Les contraintes visuo-spatiales de la langue des signes

La pratique et la compréhension de la langue des signes imposent des contraintes visuo-spatiales. En effet, pour avoir une communication efficace en langue des signes, les locuteurs doivent gérer deux flux d'informations visuelles différents simultanés avec le traitement des signes de parole d'une part et le traitement des expressions faciales de leur interlocuteur d'autre part. L'espace de signation est l'espace dans lequel le signeur produit les signes (figure 1.21). La majorité des signes sont produits entre la poitrine et le cou, une partie moins importante au niveau du visage et de très rares signes sont produits au-dessus du visage ou au niveau de la ceinture.

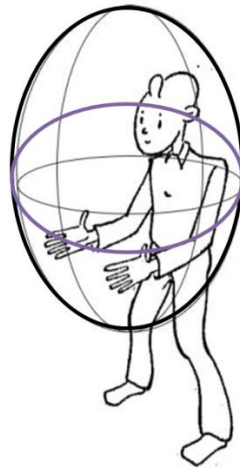


Figure 1.21: Représentation de l'espace de signation (parabole noire). La parabole violette représente la zone où la majorité des signes sont produits.

L'étude des mouvements oculaires lors de conversations en langue des signes montre que les signeurs regardent presque exclusivement le visage de leur interlocuteur et non les signes (Agrafiotis, Canagarajah, Bull, & Dye, 2003; Emmorey, Thompson, & Colvin, 2009; Muir & Richardson, 2005). Par exemple, Emmorey et al. (2009) ont analysé les stratégies visuelles d'un groupe de sourds signeurs précoces et d'entendants suivant des cours de langue des signes (ASL) depuis 9 à 15 mois (i.e., signeurs novices) lors de l'observation de deux histoires signées. Quel que soit le niveau de fluence en ASL, les participants passaient au moins 80% du temps total de l'histoire à observer le visage du signeur¹. Par ailleurs, les auteurs ont observé une interaction intéressante entre le niveau de fluence en ASL et la partie du visage observée. Alors que les sourds signeurs focalisaient leur regard principalement sur le nez du signeur, les entendants novices en ASL focalisaient davantage leur regard sur la bouche du signeur (figure 1.22). Pour les auteurs, les novices fixeraient davantage la bouche du signeur dans le but d'acquérir des informations lexicales supplémentaires fournies par les mouvements de la bouche qui ressemblent souvent à ceux nécessaires à la production du mot en anglais. Les novices seraient donc plus dépendants que les signeurs précoces des informations provenant de cette partie du visage. Mais cette différence pourrait également refléter une différence plus générale dans la stratégie d'observation des visages entre les sourds et les entendants plutôt qu'une différence entre novices et fluents en ASL.

¹ À noter que les auteurs ont contrôlé la bonne compréhension des histoires par signeurs novices.

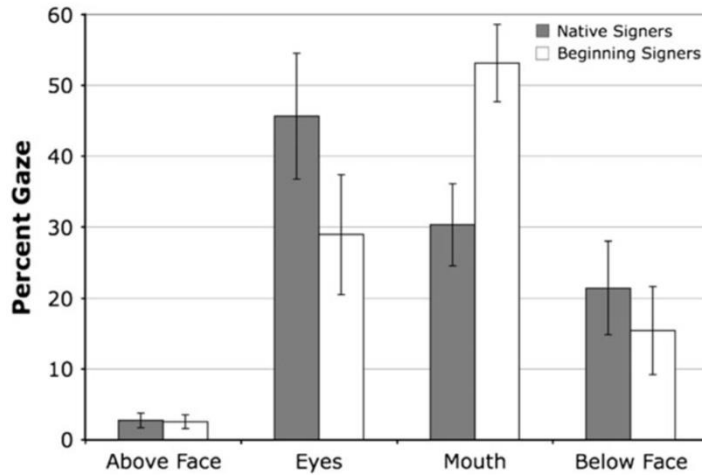


Figure 1.22 : Répartition du temps de regard passé sur le visage du signeurs chez les sourds signeurs précoces et les entendants novices en ASL. Emmorey et al. (2009)

Les signeurs ne regardent donc pas en vision centrale les signes produits par leur interlocuteur. Ces derniers sont perçus et traités dans le champ visuel périphérique inférieur de l'observateur. On peut estimer que les signes sont perçus entre 4  et 15  d'excentricité visuelle². La conversation en langue des signes nécessite donc un traitement du visage par le champ visuel central et la perception des signes dans le champ visuel périphérique inférieur.

iv. Déterminer l'influence respective de la surdité et de la langue des signes

L'étude de l'impact de la surdité dans la cognition doit nécessairement considérer le rôle de la pratique de la langue des signes dans les résultats observés. La surdité et la pratique de la langue des signes sont, en effet, deux potentielles sources de plasticité perceptive. Une plasticité observée chez les sourds profonds précoces est une conséquence de la compensation sensorielle alors qu'une plasticité observée chez les signeurs (sourds et entendants) peut être une conséquence d'une expertise linguistique et visuo-motrice. Pour contrôler l'effet de la variable confondue de la pratique de la langue des signes chez les sourds, un groupe d'entendants signeurs comme les CODAs est parfois ajouté au design expérimental.

² Estimation basée sur un calcul d'angles pour deux interlocuteurs situés à environ 120 cm l'un de l'autre. 120 cm représente la distance limite entre l'espace personnel et social selon la théorie de la proxémie (Hall, 1963).

Les CODAs (Child Of Deaf Adults) sont des entendants dont les parents sont sourds. La langue des signes étant leur langue maternelle, cette population très particulière constitue la population contrôle idéale puisque les performances des CODAs reflètent les conséquences de l'acquisition précoce de la langue des signes sans l'influence de la surdité. Les CODA constituent une population relativement rare et former un groupe expérimental avec uniquement des CODAs est compliqué. Il est alors plus facile de constituer un groupe d'entendants signeurs ayant appris la langue des signes tardivement en tant qu'adolescents ou adultes. Ces derniers sont généralement des interprètes de langue des signes, des professionnels de soins ou d'accompagnement social ou encore des éducateurs/enseignants spécialisés travaillant quotidiennement avec des personnes sourdes. Un tel groupe d'entendants signeurs aura certes une grande variabilité dans l'âge d'acquisition de la langue des signes, mais tous auront une fréquence de pratique élevée et régulière contrairement à la population CODA dont la fréquence de pratique peut être très variable (les CODAs n'interagissent pas forcément quotidiennement avec des personnes sourdes).

CHAPITRE 2 :

La perception dans le champ visuel périphérique

Section théorique

1. Le champ visuel : définitions et caractéristiques

i. Rappels sur le fonctionnement du système visuel

Le but de cette section est de reprendre brièvement et simplement les bases anatomiques et fonctionnelles du système nerveux central et périphérique responsable de la perception visuelle. Elle n'a pas la vocation d'être exhaustive, mais plutôt de permettre une bonne compréhension du chapitre. La section a été rédigée en se basant principalement sur l'ouvrage électronique Webvision (Kolb, Fernandez, & Nelson) et la page sur la perception visuelle du site lecerveau.mcgill.ca.

1. Le système visuel périphérique

La fonction de l'œil est de capter les informations lumineuses de l'environnement et de les transformer en messages électriques pour que le cortex visuel et plus généralement le système nerveux central puissent les analyser et les interpréter.

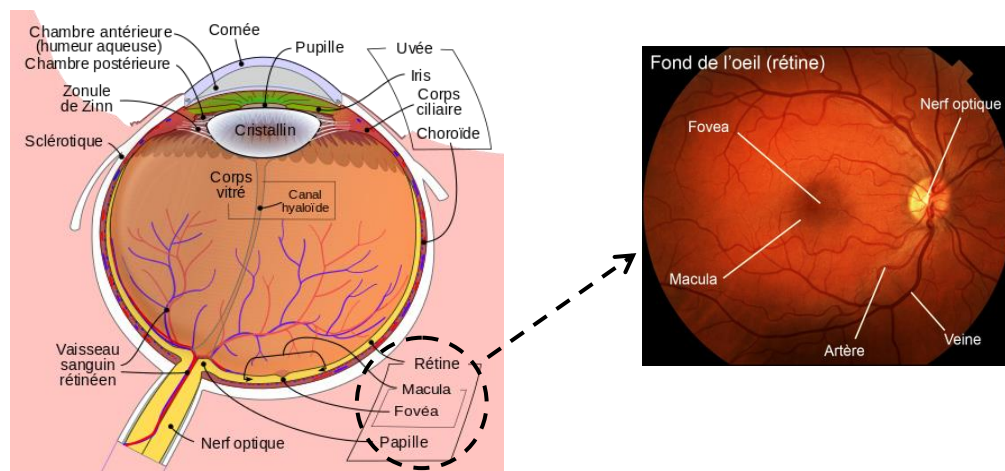


Figure 2.1 : Anatomie de l'œil humain et de rétinothographie du fond d'œil.

La rétine est l'organe sensoriel qui capte les variations lumineuses et tapisse près des trois quarts du globe oculaire (voir figure 2.1). Elle est constituée de plusieurs couches de cellules, dont une couche de cellules ganglionnaires et une couche de photorécepteurs. Ces dernières sont les seules cellules sensibles aux variations de lumière et sont de deux types. Les cônes sont les photorécepteurs nécessaires à la vision diurne et de la couleur alors que les bâtonnets sont les photorécepteurs nécessaires à la vision nocturne et sont insensibles aux variations de couleurs. La distribution et la densité de ces cellules sur la rétine sont dépendantes de l'excentricité rétinienne. Ainsi, les cônes sont presque exclusivement concentrés dans la zone maculaire et fovéolaire (i.e., dans les 18° autour de la fovéa) et les bâtonnets sont principalement situés dans la région périphérique de la rétine (avec un pic de densité autour des 20° d'excentricité). Cette distribution non homogène des cellules photoréceptrices explique en partie pourquoi l'acuité visuelle est maximale dans la zone fovéolaire puis diminue avec l'excentricité rétinienne (voir figure 2.2). Les informations captées par les photorécepteurs vont être transmises aux cellules ganglionnaires via différentes cellules intermédiaires. Les axones de ces cellules ganglionnaires vont ensuite converger vers la papille optique et constituer le nerf optique. Cette zone de convergence ne contient aucun photorécepteur et est autrement appelée "point aveugle". Elle se situe environ à 15° d'excentricité de la fovéa dans l'hémichamp temporal.

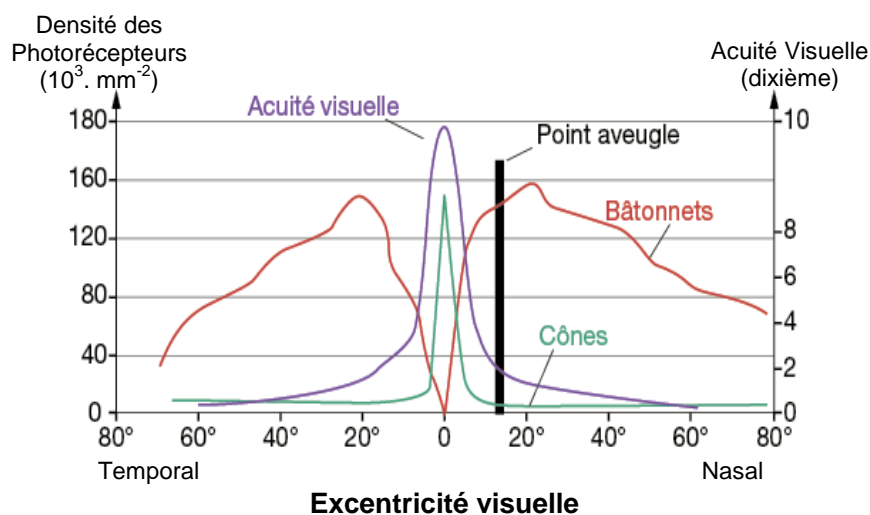


Figure 2.2: Évolution de la densité des photorécepteurs et de l'acuité visuelle en fonction de l'excentricité visuelle.

2. Le système visuel central

Les nerfs optiques vont se réunir pour former le chiasma optique. Dans cette zone proche du thalamus, les fibres provenant des parties nasales de la rétine vont décussar. Cette décussation va ainsi permettre de regrouper toutes les fibres visuelles d'un même champ visuel dans son hémisphère controlatéral. Dans le thalamus l'information visuelle va transiter par les corps géniculés latéraux où les voies magno et parvo-cellulaires trouvent leur origine pour se diffuser jusqu'au cortex visuel primaire (figure 2.3).

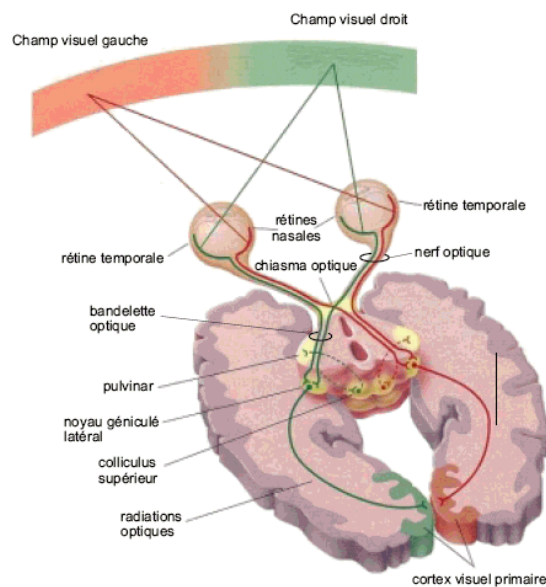


Figure 2.3: les voies perceptives du système visuel.

Le cortex visuel primaire (V1) ou cortex strié (aire 17 de Brodmann) se situe dans le lobe occipital du cerveau. Les cellules de V1 vont coder les informations visuelles dites primitives comme les contours des formes en étant sensibles à l'orientation et aux fréquences spatiales des stimuli visuels. L'organisation corticale est dite rétinotopique, c'est-à-dire que les informations provenant de deux cellules proches au niveau de la rétine seront traitées par des zones proches au niveau cortical. À noter que la zone fovéolaire est surreprésentée dans V1 puisque les 5° centraux du champ visuel rétinien représentent près de 50% du champ visuel cortical, on parle de magnification corticale (figure 2.4).

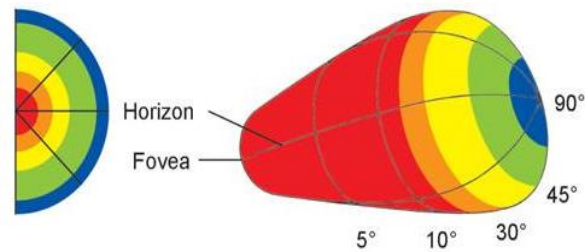


Figure 2.4: Illustration de la rétinitopie et magnification corticale dans le cortex visuel primaire (le graphique de gauche représente le champ visuel rétinien).

L'aire visuelle secondaire (V2) va, tout comme V1, traiter les informations de contours de formes, mais va également extraire les informations de profondeurs ou permettre la distinction entre le fond et la forme avec l'extraction des informations de surface. Dans le cortex extra-strié se trouvent les aires visuelles associatives (V3, V4 et V5) dans lesquelles le traitement des informations est de plus en plus complexe et spécialisé avec la distinction entre la voie dorsale (i.e., cellules magnocellulaires) et ventrale (i.e. cellules parvocellulaires). La voie dorsale ou « la voie du *where* » est la voie occipito-pariétale spécialisée dans le traitement du mouvement avec notamment les aires V3, V5 (ou MT aire du mouvement) ou encore MST (aire supérieure du mouvement). La voie ventrale ou « la voie du *what* » est la voie occipito-temporale spécialisée dans le traitement de la couleur (V4), des objets, des scènes ou encore des visages (figure 2.5).

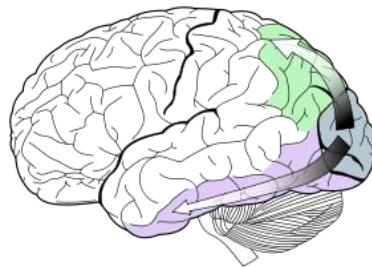


Figure 2.5: Représentation schématique des voies ventrale (en violet) et dorsale (en vert).

ii. Le champ visuel

1. L'acuité visuelle

L'acuité visuelle représente la résolution spatiale de l'œil et peut se définir comme capacité à discriminer deux points distincts appelés optotypes. L'acuité va se définir comme

étant la plus petite distance discriminée entre les deux optotypes à une distance précise de l'observateur. Par l'utilisation de différents types de tests, il est possible d'évaluer l'acuité visuelle de loin (e.g., à 6 m pour l'échelle de Snellen) et de près (environ 30 cm). Comme vu dans la section précédente la structure cellulaire de la rétine n'est pas homogène et la magnification corticale surreprésente la zone fovéolaire dans V1. Ces particularités ont pour conséquence une différence d'acuité visuelle importante en fonction de la localisation de la stimulation de l'information visuelle sur la rétine. Ainsi, l'acuité visuelle est maximale au niveau de la fovéa et diminue fortement dès 5° d'excentricité visuelle (figure 2.2). Plus une information sera présentée loin de la fovéa, plus le traitement de cette information sera délétère. Les capacités perceptives du champ visuel sont donc dépendantes de l'excentricité visuelle.

2. Champ visuel central et champ visuel périphérique

Le champ visuel peut se définir comme étant la portion de l'espace visible lorsque l'œil est immobile. Le champ visuel humain s'étend sur environ 60° en supérieur, 75° en inférieur, 100° en temporal et 60° en nasal (Nordmann, 2001). À noter que les CV supérieur et nasal sont contraints par les limites anatomiques du visage comme l'arcade sourcilière, la paupière ou encore l'arête du nez. L'étude clinique du champ visuel (i.e., la périmétrie) consiste à explorer la sensibilité lumineuse visible de l'œil à différentes excentricités visuelles (i.e., périmétrie statique) ou à délimiter la zone de perception d'un œil pour une luminosité donnée (i.e., périmétrie cinétique). Pour des descriptions détaillées de ces deux techniques d'exploration du CV voir les encarts 1 et 2.

La capacité perceptive d'une portion de l'espace va dépendre de la zone rétinienne captant les informations visuelles. Ainsi, plus l'information arrivera proche de la zone fovéolaire plus elle sera traitée efficacement (figure 2.6). Dans le même ordre d'idée, alors que la partie centrale du CV est efficace pour traiter les détails, la partie périphérique du CV est particulièrement sensible au mouvement avec une faible résolution spatiale (Carrasco, Talgar, & Cameron, 2001; Tannazzo, Kurylo, & Bukhari, 2014; Virsu & Rovamo, 1979). Mais les informations fournies par le CV périphérique permettraient également un traitement optimal de l'information visuelle fovéale comme pour le traitement de scènes, la lecture ou la recherche visuelle (Boucart et al., 2013; Rayner, Slattery, & Liversedge, 2011; Rosenholtz, Huang, Raj, Balas, & Ilie, 2012).

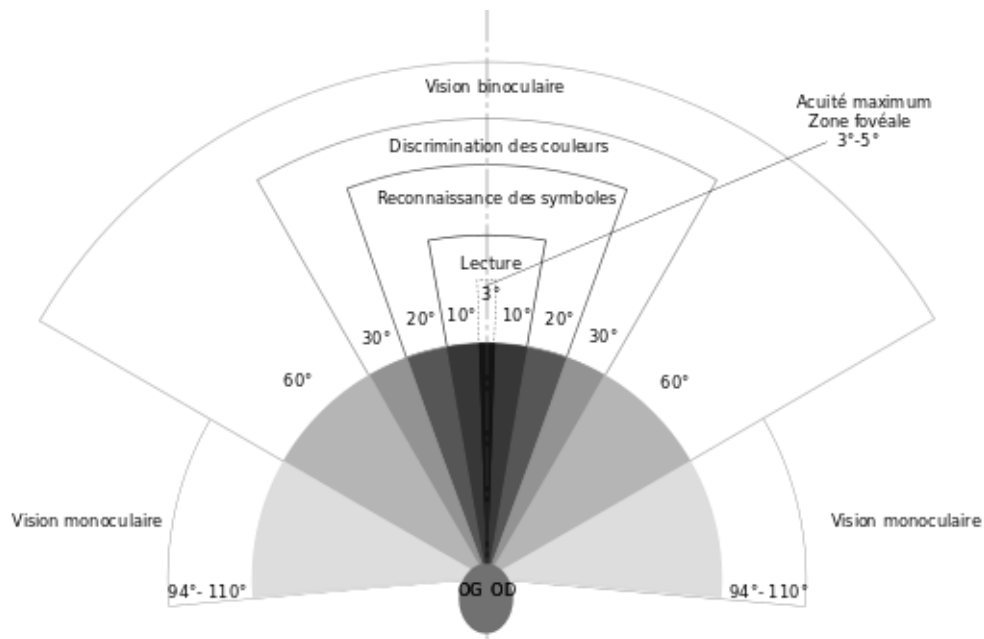


Figure 2.6: Champ visuel humain avec ses différentes zones de capacités visuelles.

À l'heure actuelle, il y a un problème de définition de la notion de CV central *versus* CV périphérique. En effet, il n'existe pas de norme établie concernant l'excentricité visuelle à partir de laquelle commencerait le CVP. Le CVP pourrait ainsi se définir comme étant l'espace visuel non traité par la fovéa, mais cette définition semble assez réductrice puisqu'elle implique qu'une excentricité visuelle de 5° soit considérée, dans ce cas, similaire à une excentricité visuelle de 25°. Si l'on se réfère aux figures 2.2, 2.4 et 2.6, on constate qu'à 5° d'excentricité la rétine est composée en majorité de cônes avec une surreprésentation dans le cortex visuel V1 permettant ainsi une acuité visuelle de haute précision servant notamment à la lecture. Au contraire, à 25° d'excentricité, la rétine est presque exclusivement composée de bâtonnets avec seulement une petite zone dédiée sur V1 permettant une acuité visuelle assez médiocre avec une mauvaise perception des détails et des couleurs. Il ne semble donc pas pertinent de limiter la définition du CVP à toutes les excentricités non fovéolaires. Il serait peut-être plus pertinent de définir des zones dans le CVP selon leurs capacités perceptives et leur structure rétinienne. Dans le tableau 2.1 une classification de l'espace visuel est proposée. Puisqu'il n'existe pas de définition claire sur les champs visuels et que la classification du tableau 2.1 est une simple proposition, le terme « champ visuel périphérique » sera donc utilisé au sens large du terme dans ce

manuscrit avec, autant que possible, une précision de l'excentricité visuelle utilisée dans l'étude.

Tableau 2.1.
Classification de l'espace visuel.

	<i>Anatomie</i>	<i>Excentricité visuelle</i> (°)
CV central	Fovéa (exclusivement des cônes)	0-1
CV périfovéal	région fovéolaire (exclusivement des cônes)	1-5
petite périphérie	macula (grande majorité de cônes)	5-18
grande périphérie	forte densité de bâtonnets	18-30
très grande périphérie	baisse de la densité des bâtonnets	au-delà de 30

Cette imprécision dans la définition du CVP est probablement aussi liée aux excentricités visuelles testées dans la littérature. En effet, dans l'étude des capacités visuelles périphériques, les excentricités au-delà de 20° ont été peu étudiées (e.g., Boucart, Naili, Desprez, Defoort-Dhellemmes, & Fabre-Thorpe, 2010; Boucart & Thorpe, 2016; Thorpe, Gegenfurtner, Fabre-Thorpe, & Bühlhoff, 2002) alors que cet espace est indispensable pour donner des signaux d'alerte sur des événements potentiellement dangereux comme l'arrivée d'une voiture à grande vitesse.

iii. Les asymétries de perception

Les capacités de traitement du champ visuel ne dépendent pas uniquement de l'excentricité visuelle, mais également de la partie du champ visuel stimulée par l'information visuelle. Plus précisément il existe des asymétries entre les capacités du CV gauche et droit et celles du CV supérieur et inférieur.

1. Les asymétries latérales

Comme rappelé plus haut, les fibres rétiniennes du CV gauche se projettent via le chiasma optique dans l'hémisphère droit et réciproquement les fibres rétiniennes du CV droit se projettent dans l'hémisphère gauche. Les asymétries latérales sont donc en partie liées à la spécialisation hémisphérique. Le traitement dans le CV gauche serait ainsi plus efficace pour le traitement du mouvement, de la vitesse ou des basses fréquences spatiales

(Karim & Kojima, 2010; Peyrin, Chauvin, Chokron, & Marendaz, 2003; Śmigasiwicz et al., 2010; Smith & Hammond, 1986). Au contraire, le traitement dans le CV droit serait plus efficace pour le traitement des informations non spatiales comme les informations verbales ou temporelles ou encore les hautes fréquences spatiales (Karim & Kojima, 2010; McCandliss, Cohen, & Dehaene, 2003; Okubo & Nicholls, 2008; Peyrin et al., 2003).

Le CV droit est spécialisé dans le traitement local de l'information (i.e., les détails) alors que le CV gauche est davantage spécialisé dans le traitement global de l'information (i.e., la scène, e.g., Van Kleeck, 1989). Ce biais perceptif de précedence locale/globale a été étudié grâce à la figure hiérarchique de Navon qui figure formée de plusieurs lettres identiques dont la configuration spatiale globale forme elle aussi une lettre (figure 2.7). Une précedence perceptive locale signifie que les petites lettres de la figure seront reconnues plus rapidement que la grande lettre et inversement pour la précedence globale avec un temps de réponse plus court pour la grande lettre. Des asymétries dans les performances en recherche visuelle seraient également observées avec des temps de réponses plus courtes dans le CV droit (Christman & Niebauer, 1997; Previc & Blume, 1993; Yund, Efron, & Nichols, 1990).

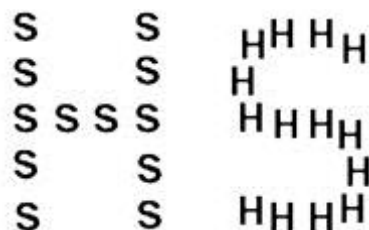


Figure 2.7 : Exemple de figures hiérarchiques de Navon.

2. Les asymétries verticales

Les différences entre les CV supérieur et inférieur ne peuvent pas s'expliquer par la spécialisation hémisphérique, mais plutôt par la dominance de la voie magnocellulaire dans le CV inférieur et de la voie parvocellulaire dans le CV supérieur (Previc, 1990). Selon Previc (Previc, 1990, 1998), le CV inférieur serait le CV de l'action et de l'espace proche ou péripersonnel (i.e. l'espace dans lequel les objets sont atteignables sans avoir à se déplacer). Au contraire le CV supérieur serait le CV dans lequel se construit la perception de l'environnement et de l'espace lointain ou périphérique.

Le CV inférieur aurait des capacités de traitement supérieures au CV supérieur sur un grand nombre de processus (pour des revues de questions Christman & Niebauer, 1997; Karim & Kojima, 2010). Ainsi, on observe de meilleures performances dans le CV inférieur pour le traitement des contours illusoire, du mouvement ou le guidage des actions (Danckert & Goodale, 2001; Levine & McAnany, 2005; Rubin, Nakayama, & Shapley, 1996). Dans le même ordre d'idée, le CV inférieur semble avoir une meilleure résolution spatiale et attentionnelle que le CV supérieur (He, Cavanagh, & Intriligator, 1996; Rezac & Dobkins, 2004). Au contraire, le CV supérieur est plus performant pour traiter la profondeur et l'espace (Feng & Spence, 2014; Levine & McAnany, 2005; Niebauer & Christman, 1998). Il est également intéressant de noter que ces asymétries verticales augmentent avec l'excentricité visuelle, et ce notamment pour le traitement visuel de bas niveau (Rovamo & Virsu, 1979; Virsu, Näsänen, & Osmoviita, 1987).

Cet avantage pour le CV inférieur pourrait également s'expliquer par des différences anatomiques et structurelles entre les voies visuelles du CV supérieur et inférieur. En effet, dans leur revue de questions Karim et Kojima (2010) rapportent une série d'études neurophysiologiques effectuées sur le primate non-humain ayant observé une plus grande représentation du CV inférieur dans les corps géniculés latéraux, V1 ou encore MT ainsi qu'une plus grande densité de cônes et de cellules ganglionnaires dans la partie rétinienne responsable de la perception du CV inférieur.

2. Plasticité du traitement visuel chez la personne sourde signeuse

i. La spécificité du champ visuel périphérique

Comme développé dans le premier chapitre, la perception visuelle des personnes sourdes n'est pas modifiée sur tous les aspects du traitement visuel. Avant de faire la revue de la littérature des différences entre sourds et entendants, il convient d'évoquer les différentes hypothèses concernant l'impact de la surdité précoce sur la cognition (e.g., Loke & Song, 1991; Parasnis & Samar, 1985).

La première hypothèse postule que pour compenser le manque d'informations auditives nécessaires à la perception ou représentation correcte de l'environnement, les capacités de

traitement visuel périphérique vont être augmentées (figure 2.8). En effet, alors que les entendants se reposent majoritairement sur la modalité auditive pour avoir des informations sur les événements -potentiellement dangereux- se déroulant autour d'eux, les sourds sont entièrement dépendants de la modalité visuelle- et particulièrement dans l'espace visuel périphérique- pour relever ces informations. Pour illustrer cela, Loke et Song (1991) prennent l'exemple d'une personne entendante désirant attirer l'attention de quelqu'un. Pour cela, il lui suffit de l'interpeler par son prénom, ou autre salutations d'usages, et ce quel que soit la localisation de ce dernier. Dans une situation similaire, la méthode la plus appropriée pour attirer l'attention d'une personne sourde située à quelques mètres de soi est d'agiter sa main dans sa direction. Ce geste stimule l'espace visuel périphérique et permet ainsi d'attirer l'attention de la personne avec qui l'on souhaite communiquer. Ainsi, c'est par l'augmentation de la sensibilité de l'espace visuel périphérique que les sourds s'adaptent de manière optimale à l'absence d'audition.

La seconde hypothèse est l'hypothèse de la pratique de la langue des signes comme source de plasticité des traitements visuels. Comme décrit dans le premier chapitre, la pratique de la langue des signes nécessite à la fois une attention soutenue sur le visage de son interlocuteur en fixant son visage et à la fois une attention soutenue sur les gestes de paroles produits par son interlocuteur et perçus majoritairement dans l'espace visuel périphérique inférieur. Ainsi, la structure et la dynamique de cette langue visuelle, spatiale, et temporelle pourraient augmenter la sensibilité de l'espace visuel périphérique et cela soit de manière spécifique dans le CV inférieur soit de manière plus générale dans l'intégralité de l'espace visuel périphérique.

Pour départager ces deux hypothèses, il est nécessaire de dissocier les effets de la surdité et de la pratique de la langue des signes. Pour cela les entendants signeurs (particulièrement les CODAs) ou les sourds non-signeurs sont des populations idéales à tester. En effet, si sourds signeurs et CODAs ont des performances similaires, l'hypothèse de la pratique de la langue des signes sera la plus probable, mais si au contraire les sourds signeurs et les sourds non-signeurs ont des performances similaires, c'est l'hypothèse de la compensation sensorielle qui sera la plus probable. À noter que ces deux hypothèses ne sont pas mutuellement exclusives puisque surdité et langue des signes peuvent avoir des effets additifs.

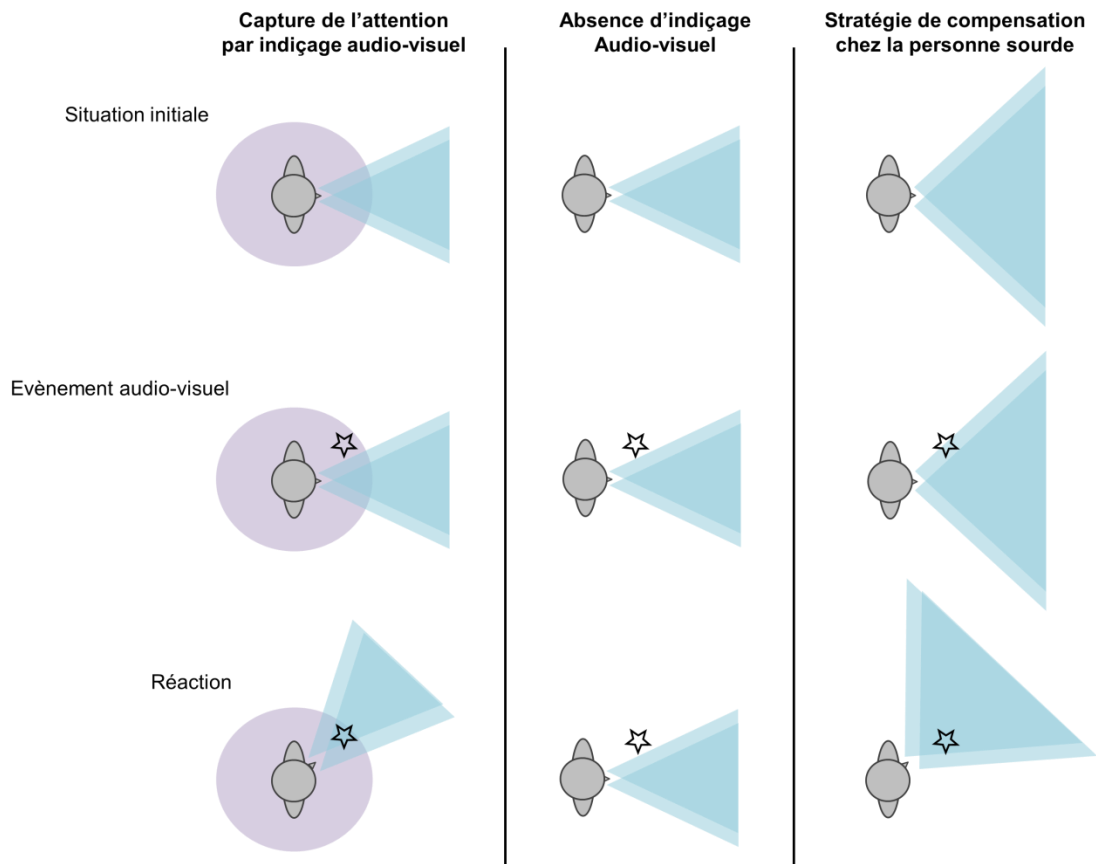


Figure 2.8 : Hypothèse de la compensation sensorielle. Le violet représente la zone de perception auditive et le bleu la zone de perception visuelle d'un individu. La réaction à un évènement dans l'environnement repose à la fois sur des informations auditives et visuelles (colonne de gauche). En l'absence de son, certains évènements ne peuvent être perçus (colonne centrale) sauf si la perception visuelle compense le manque d'informations auditives comme chez les sourds (colonne de droite). Illustration adaptée de Dye (2016)

ii. La taille du champ visuel

En utilisant la périmétrie cinétique (encart 1) deux études ont observé que les sourds possédaient un champ visuel plus étendu que les entendants non-signeurs (Buckley et al., 2010; Stevens & Neville, 2006). Buckley et al. (2010) ont constaté que cette extension était particulièrement marquée dans la partie inférieure du CV à la fois dans la région des 30° (i.e., CV central) et des 60° (i.e., CV périphérique) d'excentricité visuelle (figure 2.9). Les profils des personnes sourdes constituant l'échantillon de cette étude étaient relativement hétérogènes en termes de fluence en langue des signes britannique (BSL) et de son âge

d'apprentissage notamment. Environ la moitié de l'échantillon des personnes sourdes utilisait l'anglais (n=6) plutôt que la BSL (n=7) pour communiquer. Les auteurs ont donc divisé le groupe en deux pour tester l'influence de la pratique de la langue des signes sur l'étendue de la partie supérieure (C1 et C2, figure 2.9) et inférieure (C3 et C4, figure 2.9) du CV. Ils ont également testé l'existence d'un lien entre l'âge d'apprentissage de la BSL et l'étendue du CV. Aucune de ces analyses ne s'est révélée significative suggérant davantage un effet de la surdité que de la pratique de la langue des signes. Néanmoins, et comme souligné par les auteurs, ces analyses ont été effectuées sur très peu de participants et les résultats sont donc à prendre avec précaution. Il semble donc intéressant d'étudier plus en détail l'impact que peut avoir la pratique de la langue des signes dans la sensibilité du champ visuel.

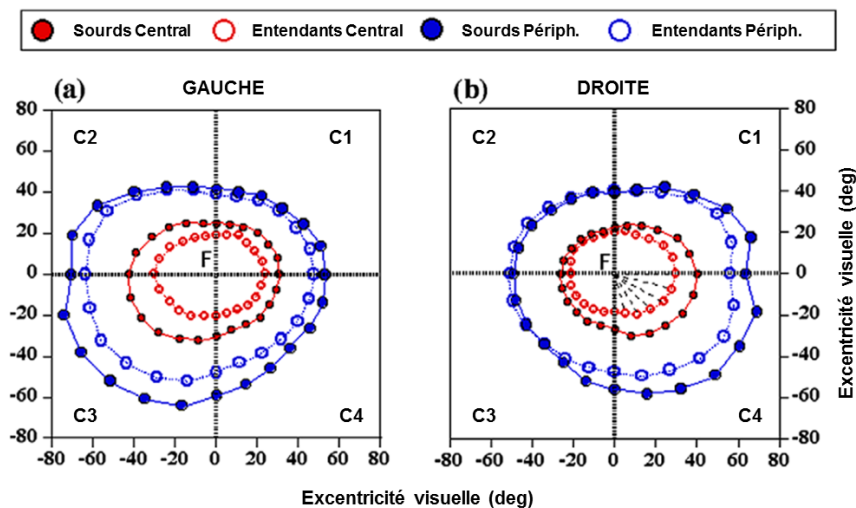


Figure 2.9 : Aire des champs visuels des sourds et des entendants dans le CV central ($\approx 30^\circ$) et le CV périphérique ($\approx 60^\circ$), (Buckley et al. 2010).

iii. La détection de cibles

La faculté de réactivité des individus face à l'apparition d'une cible à un endroit inattendu du CV (i.e., détection de cible) est une dimension qui a été fréquemment étudiée chez la population sourde. Cette détection de cible peut se faire soit dans un contexte nécessitant une simple réponse du type stimulus/réponse, soit dans un contexte plus complexe avec la présence de distracteurs dans la scène visuelle induisant alors un effet d'interférence dans la réactivité face à la cible.

1. Détection sans interférence

L'étude de Loke et Song (1991) est une des premières études à s'être intéressée aux capacités de réactivité simple chez les personnes sourdes signeuses suite à la présentation d'une cible dans le CV central (0.5° d'excentricité) ou dans le CV périphérique (25°). Les auteurs ont observé que les sourds signeurs et entendants non-seigneurs présentaient des temps de réponse comparables dans le CV central. Au contraire dans le CV périphérique les sourds signeurs étaient plus rapides pour détecter l'apparition de la cible que les entendants non-signes. Les auteurs concluent ainsi que les sourds possèdent de plus grandes ressources attentionnelles que les entendants pour traiter l'information en périphérie.

La tâche de détection de cible a également été utilisée pour évaluer les capacités d'attention visuelle distribuée chez les sourds, c'est-à-dire une attention non sélective et non orientée dans l'espace permettant un traitement parallèle de l'information visuelle (Bottari, Caclin, Giard, & Pavani, 2011; Bottari, Nava, Ley, & Pavani, 2010). Des temps de réponse plus courts dans une tâche de détection simple de cibles seraient, entre autre, représentatifs d'une attention distribuée plus réactive (i.e., réaction exogène plus rapide). Dans leur étude, Bottari et al. (2010) ont comparé les temps de réponse d'un groupe de sourds signeurs et d'entendants non-signes pour la détection d'une cible centrale (3°) ou périphérique (8°) pouvant apparaître à 4 localisations différentes dans chaque excentricité (figure 2.10). Quel que soit le groupe, les cibles étaient plus rapidement détectées dans le CV central. De plus, les sourds étaient plus rapides que les entendants quelle que soit l'excentricité de la cible et ne présentaient pas de différence de temps de réponse entre le CV central et périphérique (figure 2.10). Cet avantage dans le CV central pourrait être lié à l'excentricité utilisée (3°) qui pourrait être considérée comme périphérique pour certains auteurs (e.g., Reynolds (1993) qualifie l'excentricité de 4° comme étant parafovéale).

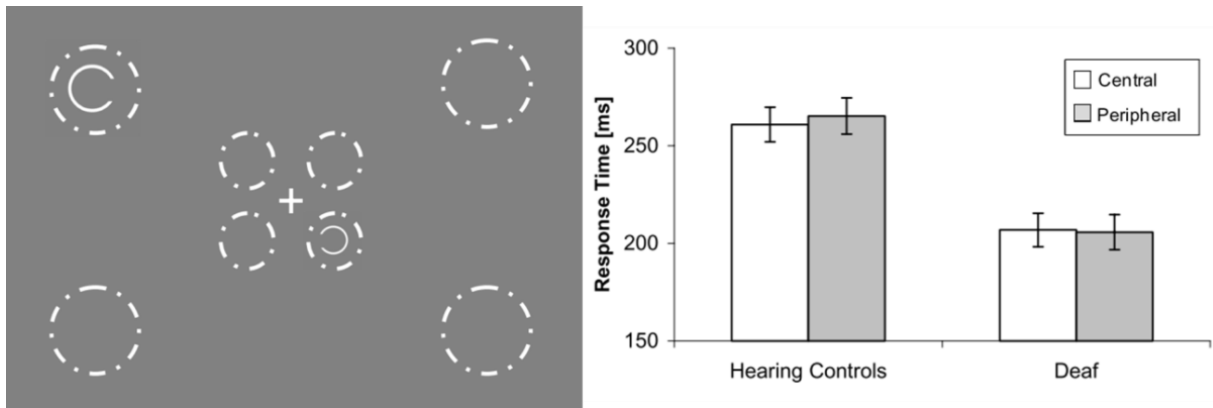


Figure 2.10: Localisations possibles des cibles et temps de réponse médians dans la tâche de détection de cibles selon le groupe et l'excentricité de la cible, Bottari et al. (2010).

Pour comprendre le mécanisme à l'origine de cette hausse de réactivité dans la détection de cibles chez les sourds, la même équipe de recherche a répliqué l'étude de 2010 en rajoutant un enregistrement de l'activité cérébrale électrophysiologique des participants (Bottari et al., 2011). Ils ont alors observé des modifications très précoces dans la dynamique du traitement visuel chez les sourds avec notamment un pic de la composante C1 (i.e., la composante la plus précoce du traitement visuel provenant de V1) plus précoce chez les sourds (80 ms) que chez les entendants (87 ms). Ils ont également observé une différence dans l'amplitude de P1 (i.e., la première composante visuelle positive dont la morphologie est sensible à la charge attentionnelle) entre sourds et entendants et cela, quelle que soit l'excentricité de la cible. Plus particulièrement, le pic d'amplitude de P1 chez les sourds était corrélé avec le temps de réponse de détection : plus le pic d'amplitude de P1 était important, plus le temps de réponse était court (figure 2.11). Les auteurs postulent alors que la surdité précoce entraînerait des changements précoces dans la dynamique du traitement temporel de l'information visuelle qui pourrait se refléter par une attention exogène plus réactive sur le plan comportemental.

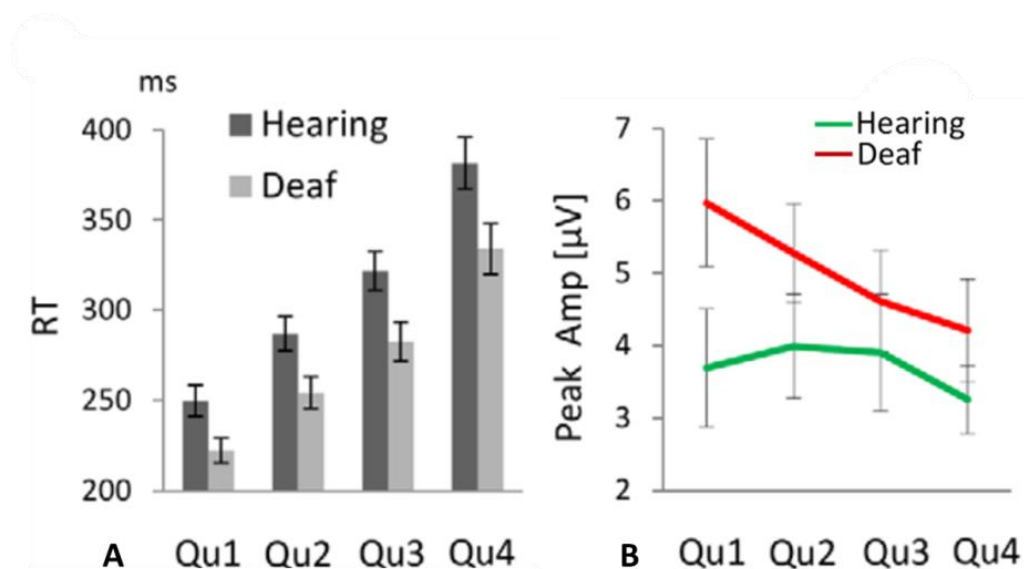


Figure 2.11: A : Pour chaque participant, les TR ont été triés en 4 quartiles en fonction de la rapidité des réponses, des plus rapides (Qu1) aux plus lentes (Qu4). B : Corrélations entre les TR et le pic d'amplitude de PI chez les sourds et les entendants. Bottari et al. (2011).

Enfin, une étude récente (Codina, Pascalis, Baseler, Levine, & Buckley, 2017) s'est intéressée aux capacités de détection (et de localisation) de cibles dans la grande périphérie (i.e., entre 30 et 85°) sur 8 méridiens différents. En ajoutant également un groupe d'entendants signeurs (i.e., interprètes anglais-BSL) au design expérimental les auteurs ont voulu tester directement l'impact de la langue des signes. Comme dans les études précédentes, les sourds signeurs étaient plus rapides que les entendants signeurs et non-signeurs sur tous les méridiens et sur toutes les excentricités (Figure 2.12). De manière intéressante, les interprètes anglais-BSL étaient également plus rapides que les entendants non-signeurs pour dans la détection de cible dans l'espace visuel périphérique lointain. Comme illustré dans la figure 2.12, les entendants signeurs présentent un profil de TR intermédiaire entre sourds signeurs et entendants non-signeurs. Cette étude est la première à avoir étudié la détection de cible sur de grandes excentricités et à avoir observé un effet de la pratique de la langue des signes indépendamment de la surdité dans la réactivité face à l'apparition d'une cible dans le CV. Plus particulièrement, cette étude suggère l'existence d'un effet additif de la surdité et de la langue des signes dans la hausse de la réactivité du CVP. Davantage de recherches sur ce sujet semblent nécessaires afin de comprendre le rôle de la pratique de la langue des signes dans les processus de détection de cibles dans le CVP.

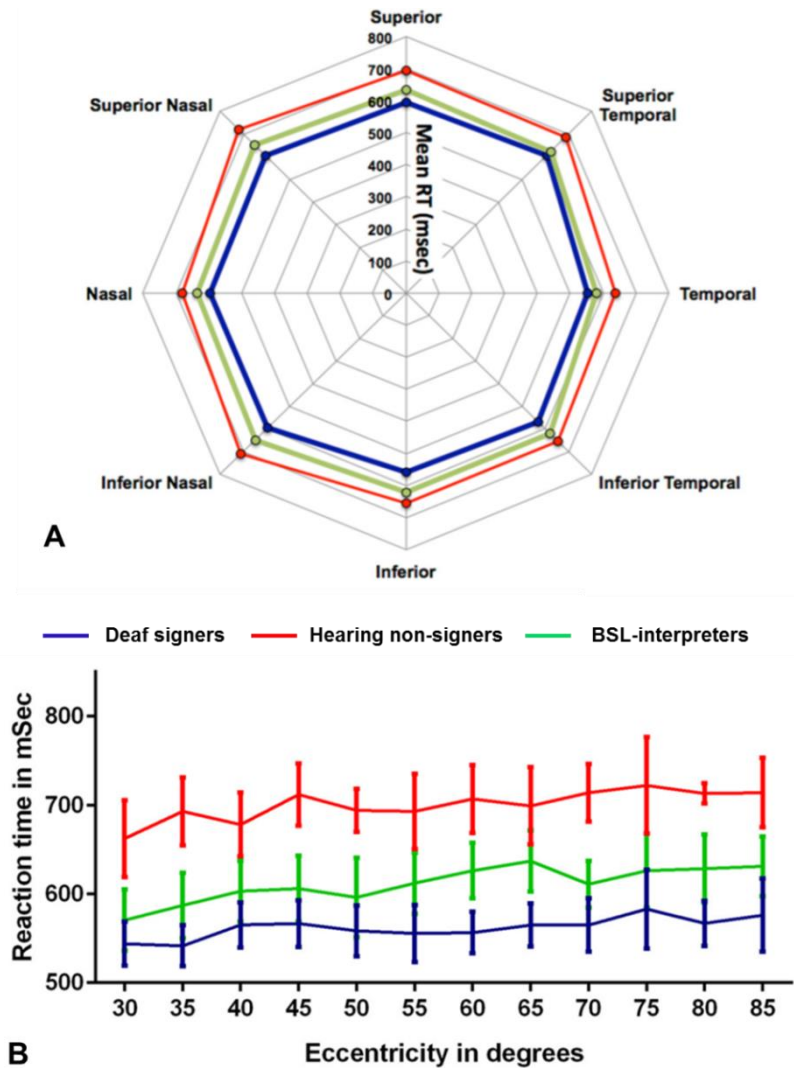


Figure 2.12: A : Temps de détection moyens en fonction des groupes et des méridiens du CV. **B :** Temps de détection moyens en fonction des groupes et de l'excentricité visuelle. Codina et al. (2017).

2. Détection avec interférences

D'autres études se sont également intéressées aux processus de détection de cibles en situation d'interférence c'est à dire en présence de distracteurs dans la scène visuelle nécessitant davantage de ressources attentionnelles (e.g., attention endogène sélective pour inhiber l'information visuelle interférente, réorientation de l'attention après la présentation d'un indice incongruent). En plus d'une tâche de simple détection, Reynolds (1993) a également testé l'effet d'interférence en présentant en même temps qu'une cible périphérique un distracteur au niveau de la croix de fixation centrale (i.e., formes

géométriques, pictogrammes ou lettres). Bien que les différences ne soient pas significatives, les sourds étaient plus rapides que les entendants dans toutes les conditions avec interférences et ne semblaient que peu sensibles à la présence d'un distracteur central (figure 2.13).

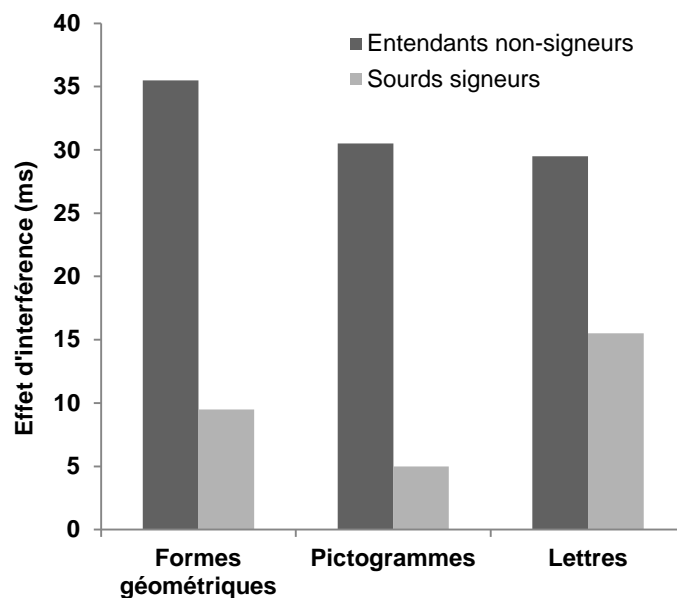


Figure 2.13: Effet d'interférence (en ms) dans les tâches de l'étude de Reynolds (1993). Les effets ont été calculés sur les moyennes rapportées par l'auteur en soustrayant les TR moyens des conditions avec interférence aux TR moyens de la condition de détection simple. L'absence d'information sur la variabilité intra-sujet rend l'interprétation du graphique compliqué. D'après Reynolds (1993).

Les paradigmes les plus utilisés pour tester les effets d'interférences sont des paradigmes expérimentaux de type Posner qui permettent d'évaluer l'effet d'un indice congruent ou non à la cible dans les temps de détection (figure 2.14). Une des études princeps est l'étude de Parasnis et Samar (1985) avec un paradigme classique de Posner d'indication fléchée (indice congruent, neutre ou incongruent) avant l'apparition d'une cible en périphérie (ici 2°). Les participants devaient répondre le plus rapidement possible si la cible était apparue à gauche ou à droite de l'écran. En plus du type d'indication, les auteurs ont ajouté une condition appelée « charge fovéale » dans laquelle l'indice central était entouré de *fillers* (i.e., 5 croix non pertinentes pour la réalisation de la tâche). En absence de charge fovéale sourds et entendants présentaient le même pattern de résultats. Par contre, en situation de charge fovéale, le coût de l'indice incongruent était plus fort chez les entendants non-signeurs que chez les sourds signeurs avec un coût près de deux fois plus

important (x 1.9) que le bénéfice de l'indice congruent (vs x1.2 chez les sourds). Les auteurs concluent que les sourds seraient moins affectés par la présence d'informations de nombreuses informations fovéolaires non valides. De plus, les auteurs avancent que les sourds seraient plus flexibles pour réorienter leur attention (processus endogène) après qu'elle ait été capturée et orientée vers la mauvaise direction (processus exogène).

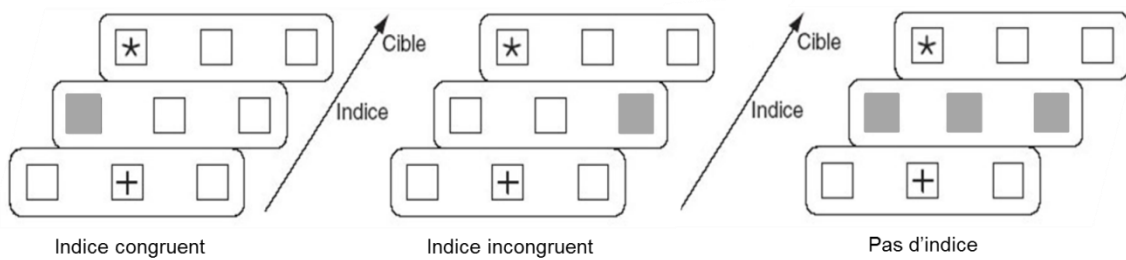


Figure 2.14 : Paradigme de type Posner pour évaluer l'effet de congruence entre un indice et la cible dans les temps de réponse. Ce genre de paradigme teste les mécanismes de capture, de désengagement et de réorientation attentionnel.

Lorsque l'indice (neutre, congruent ou incongruent) n'est pas présenté au niveau de la fovéa, mais à 20° d'excentricité visuelle, on observe que les sourds signeurs sont plus rapides que les entendants non-signeurs quel que soit le type d'indice (Colmenero, Catena, Fuentes, & Ramos, 2004). De plus, les entendants non-signeurs sont plus sensibles au type d'indication avec un plus grand bénéfice (avec l'indice congruent) et un plus grand coût (avec l'indice incongruent) que les sourds. Les auteurs estiment alors que les sourds seraient meilleurs pour désengager leur attention visuelle que les entendants du fait qu'ils doivent pouvoir passer d'une information visuelle à une autre rapidement afin d'avoir représentation rapide et efficace de l'environnement. Cette hypothèse implique également que les sourds pourraient être capables d'inhiber rapidement une information non pertinente, mais également de pouvoir y revenir rapidement si cette dernière devient pertinente par la suite.

Les sourds pourraient ainsi posséder un IOR (Inhibition Of Return) plus faible que les entendants. Le phénomène d'IOR est un phénomène qui s'observe dans des paradigmes de type Posner lorsque le SOA (Stimulus Onset Asynchrony) est supérieur à 300 ms. Dans ces conditions de SOA, le temps de réponse est typiquement plus court lorsque la cible est incongruente à l'indice que lorsqu'elle est congruente. En outre, plus le SOA est long plus les temps de réponses sont faibles. Les auteurs ont alors réalisé une nouvelle fois l'étude faisant

varier le SOA (i.e., 350 ou 850 ms). Alors que les entendants non-signeurs présentent un profil classique de IOR, les sourds ne présentent un effet d'IOR que pour un SOA de 350 ms. En effet, avec un SOA de 850 ms il n'y avait pas de différence entre condition congruente et non-congruente (figure 2.15). Selon les auteurs cet IOR moins long associé à de meilleures capacités d'alerte et d'engagement attentionnel pourrait permettre aux sourds d'être plus performants pour l'exploration des scènes visuelles dynamiques et complexes. À noter que cette absence d'IOR chez les sourds pour une SOA long n'a pas été observée dans l'étude de Chen, Zhang, et Zhou (2006) ni de Xingjuan, Yang, et Ming (2011) où des SOA entre 650 et 1250 ms induisaient un IOR similaire chez les sourds et les entendants. Ces deux études observaient tout de même des TR plus courts chez les sourds que chez les entendants.

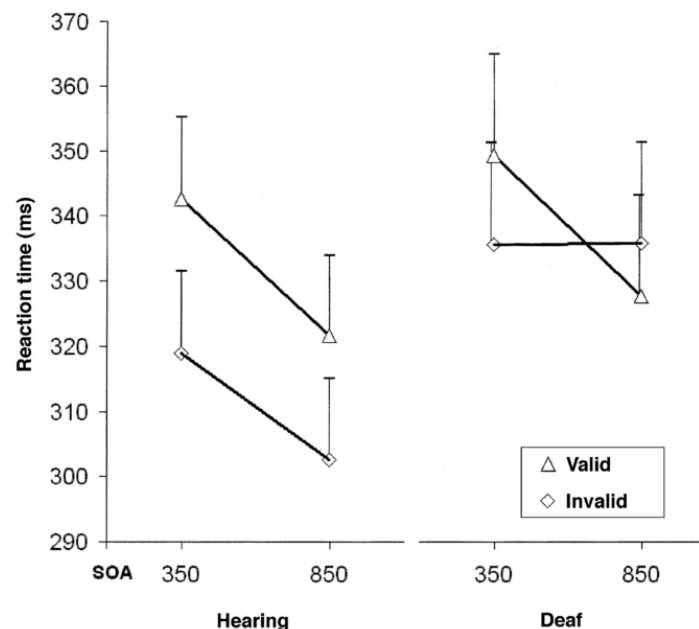


Figure 2.15: IOR en fonction du SOA chez les entendants et les sourds. À noter que *Valid* représente la condition congruente et *Invalid* la condition incongruente. Colmenero et al. (2004).

Plus récemment une étude a ajouté une mesure oculométrique à l'analyse classique des temps de réaction pour une détection de cibles à 7 ou 17 degrés d'excentricité visuelle avec des SOA entre 150 et 800 ms (Prasad, Patil, & Mishra, 2015). La tâche des participants consistait tout d'abord à faire une saccade oculaire le plus rapidement possible vers la cible puis de faire une réponse manuelle classique en indiquant si la cible était apparue du côté gauche ou droit de l'écran. À la fois pour la réponse oculaire ou motrice, les auteurs n'ont

pas observé d'effet du groupe dans le IOR. De plus, les TR montrent des patterns similaires dans les réponses chez les sourds et les entendants, quelle que soit la congruence de l'indice ou plus surprenant l'excentricité de la cible. En revanche, les auteurs ont observé un effet de congruence chez les sourds supérieurs à celui des entendants dans les saccades oculaires. Ils concluent alors que les sourds seraient plus rapides que les entendants pour orienter leur attention (i.e., pour faire une saccade oculaire) après un indiçage congruent. La même équipe de recherche a également exploré l'IOR par l'oculométrie chez les sourds en utilisant un paradigme différent, mais n'a pas observé non plus de différences entre sourds et entendants (Jayaraman, Klein, Hilchey, Patil, & Mishra, 2016).

En utilisant une méthodologie légèrement différente que dans les expériences précédentes (Heimler et al., 2015) ont voulu comparer l'effet d'un indiçage central à composante sociale (i.e., le regard d'un visage) à celui d'un indiçage central classique (i.e., une flèche). Contrairement aux études précédentes qui ne présentaient que la cible d'un côté ou de l'autre l'écran cette étude présentait en plus de la cible (i.e., un losange dépourvu de son angle supérieur) un distracteur dans l'autre moitié de l'écran (i.e., un losange classique), voir figure 2.16. Selon les auteurs et considérant la place particulière du visage dans la langue des signes, il est possible que les informations délivrées par le regard puissent avoir un potentiel d'interférence plus important chez les sourds signeurs que chez les entendants non-signeurs. L'indice à composante sociale était un visage dont le regard portait vers la droite ou vers la gauche. Tout comme avec l'indiçage classique, l'orientation du regard pouvait être congruent ou non au côté d'apparition de la cible. Les résultats montrent que les deux groupes sont sensibles de la même façon à un regard incongruent. Mais alors que les entendants non-signeurs répondent plus rapidement quand le regard est congruent, les sourds ne tirent aucun avantage du regard congruent dans leur temps de réponse.

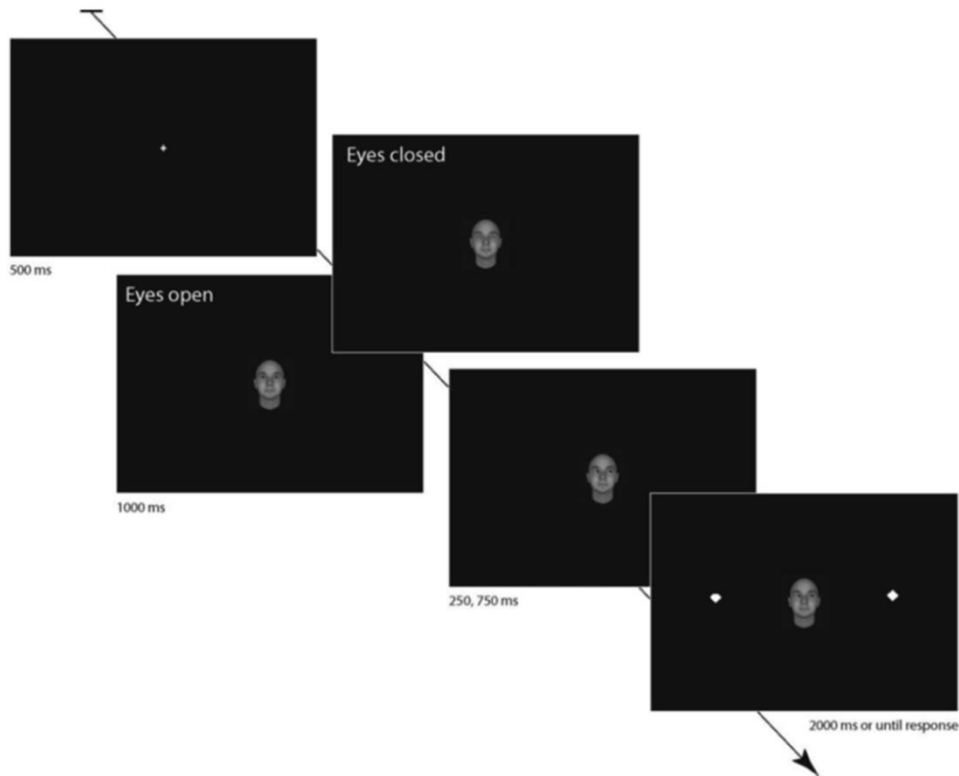


Figure 2.16: Paradigme expérimental utilisé par Heimler et al. (2015). Le participant devait indiquer de quel côté apparaissait le losange « coupé », ici à gauche. À noter que la cible était précédée par un visage (identique) aux yeux fermés dans la moitié des essais ou aux yeux ouverts avec le regard droit devant dans l'autre moitié.

Les sourds ne présentent donc pas d'effet de congruence en présence d'indiçage à portée sociale. Cette résistance à l'orientation du regard serait un processus davantage lié à la surdité qu'à la pratique de la langue des signes puisque les données de 13 CODAs testés par la suite par les auteurs montrent un pattern de performances similaire entre entendants signeurs et non-signeurs. Il est par ailleurs important de noter que cet effet de résistance à la compatibilité indice-cible semble spécifique à l'orientation du regard puisque dans la tâche classique d'indiçage fléché sourds et entendants présentaient le même profil de performances avec des TR et un effet de compatibilité similaires (figure 2.17). L'absence d'effet de congruence chez les sourds uniquement dans la condition visage montre le rôle atypique du visage pour cette population dans la modulation de l'attention spatiale. Les auteurs interprètent cette résistance comme le reflet d'une hausse du contrôle cognitif face aux informations délivrées par les visages. En effet, afin de favoriser les interactions sociales et les échanges signés il semble nécessaire de ne pas être distrait dès qu'une personne fait

un mouvement oculaire même si celui-ci s'avère par la suite pertinent. Cette hausse du contrôle cognitif face aux mouvements du regard permettrait d'assurer un focus attentionnel performant. Les auteurs concluent alors les mécanismes attentionnels modulés par la surdité semblent en partie dépendants de la nature du stimulus et soulèvent l'importance de réaliser des études plus écologiques afin de se rapprocher au maximum de situations réelles pour comprendre la surdité.

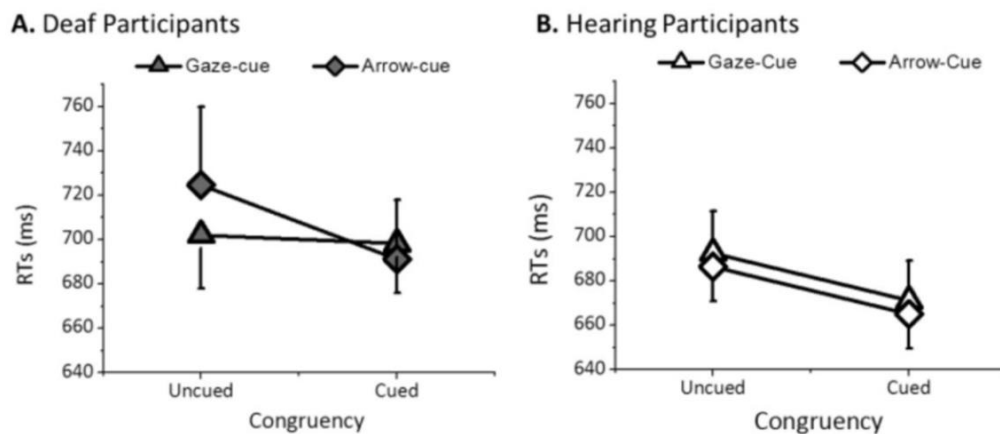


Figure 2.17 : Comparaison des temps de réaction moyens (en ms) dans la tâche d'indilage social (*gaze cue*) et d'indilage fléché (*arrow-cue*) en situation incongruente (*uncued*) et congruente (*cued*). Heimler et al. (2015).

Dans l'ensemble, les études sur la détection de cibles montrent que sans interférences les sourds sont plus rapides que les entendants pour détecter l'apparition d'une cible dans leur champ visuel périphérique. Cette hausse de réactivité pourrait être attribuée à une hausse de l'attention exogène (i.e., capture attentionnelle) chez les personnes sourdes. En condition d'interférence, les résultats sont moins clairs. Les disparités observées pourraient être dues à la diversité des méthodes et variantes du paradigme de Posner utilisées, à la diversité des consignes données au participant ou encore à la diversité des excentricités visuelles utilisées. Alors qu'il est difficile de conclure sur une modulation de l'IOR, les sourds semblent néanmoins avoir des mécanismes d'orientation et de désengagement attentionnel plus efficaces que les entendants non-signeurs. Ces modulations pourraient être sensibles à la nature de la cible. Il faut enfin noter que l'effet éventuel de la langue des signes dans ces modifications reste largement inexploré.

iv. Discrimination et identification dans le CVP

Contrairement à la détection, la discrimination de cibles nécessite un engagement attentionnel. En effet, alors que la détection implique principalement la capture d'une attention distribuée face à l'apparition d'une cible (i.e, attention exogène), la discrimination nécessite un engagement et une orientation attentionnels contrôlés afin de traiter la cible de façon adéquate (i.e., attention sélective endogène). Ces capacités attentionnelles pour le traitement d'une cible ont également été étudiées auprès de la population sourde.

1. Discrimination du mouvement

Une série d'études très influentes sur la réorganisation des processus attentionnels chez les sourds et les signeurs (sourds et entendants) sont les études de Neville et Lawson (1987a, 1987b, 1987c) portant sur la discrimination du mouvement dans le CVP. Dans cette étude, le participant devait garder son regard fixe sur le point de fixation centrale tout en portant attention soit à l'espace visuel central (0.6 d'excentricité visuelle), gauche (18°) ou droit (18°). L'indication de l'espace visuel dans lequel porter son attention permettait d'engager l'attention sélective focalisée du participant. Dans 80% des essais (essais standards) un carré blanc apparaissait pendant 33 ms à dans cet espace précis. Dans les 20% restant (essais déviants) le carré blanc apparaissait toujours pendant 33 ms, mais un second carré apparaissait juste après pendant 33 ms à dans une position adjacente au premier carré donnant ainsi l'illusion de mouvement. La tâche du participant consistait à indiquer le plus rapidement possible dans laquelle des 8 directions possibles la cible s'était déplacée. En plus du temps de réponse et du calcul d'un score d' pour les essais déviants, l'activité électrophysiologique du participant était enregistrée. En plus d'un groupe de sourds signeurs et d'entendants non-signeurs, les auteurs ont également testé un groupe de CODAs.

Dans le CV central, les 3 groupes avaient des performances comportementales et des activations cérébrales similaires suggérant que ni la surdité ni la pratique de la langue des signes n'influençaient les performances dans le CV central. Dans le CV périphérique, les sourds étaient globalement plus rapides que les entendants (signeurs ou non-signeurs) pour discriminer la direction du mouvement malgré un indice de sensibilité similaire chez les 3

groupes. Les auteurs ont néanmoins observé un biais de latéralité dans l'indice de sensibilité entre signeurs (sourds et entendants) et non-signeurs. Les entendants non-signeurs possédaient une plus grande sensibilité dans le champ visuel gauche pour discriminer les mouvements alors que les signeurs présentaient le pattern opposé avec une plus grande sensibilité dans le champ visuel droit. Ces différences comportementales étaient associées à une plus grande amplitude de l'onde N1 chez les sourds quand la cible était présentée en périphérie par rapport aux entendants et à une latéralisation atypique de l'onde N1 chez les signeurs avec une amplitude plus importante dans l'hémisphère droit. Le pattern inverse était observé chez les entendants non-signeurs avec une plus grande amplitude dans l'hémisphère gauche. Les auteurs concluent alors que surdité précoce et pratique de la langue des signes pourraient avoir des effets additifs sur les mécanismes d'attention sélective dans le CV périphérique ainsi que sur les dynamiques cérébrales du traitement visuel.

Bosworth et Dobkins (1999, 2002a, 2002b) se sont par la suite intéressées aux capacités de discrimination des patterns de mouvement. Dans ces trois études les auteurs ont déterminé les seuils de détection de mouvement sous différentes conditions de présentation et sous différentes pressions attentionnelles en utilisant la présentation stochastique de mouvement. Ce paradigme consiste à présenter un nuage de points en mouvement (à vitesse constante) au participant qui devait indiquer si le mouvement suivait une trajectoire de gauche à droite ou de droite à gauche. À l'intérieur de ce nuage une proportion de points se déplace dans la même direction (i.e., signal) et la proportion de points restant se déplace dans des directions aléatoires (i.e., bruit). Le seuil de détection du mouvement va alors se définir comme étant la proportion minimum de cohérence de mouvement nécessaire à 75% de discrimination correcte de direction du mouvement (figure 2.18). Les patterns de points pouvaient être présentés dans le CV central, dans le CV gauche (15.4°) ou dans le CV droit (15.4°).

Dans les 3 études, les auteurs n'ont pas observé de meilleures capacités de discrimination de mouvement chez les sourds ou chez les signeurs par rapport à une population contrôle que la tâche se déroule dans le CV central ou périphérique avec ou sans charge attentionnelle. Les sourds signeurs étaient simplement plus efficaces pour orienter leur attention vers une cible indiquée en périphérie que les entendants non-signeurs

(Bosworth & Dobkins, 2002a) et également plus rapides et plus précis quand la tâche était réalisée en périphérie (Bosworth & Dobkins, 2002b).

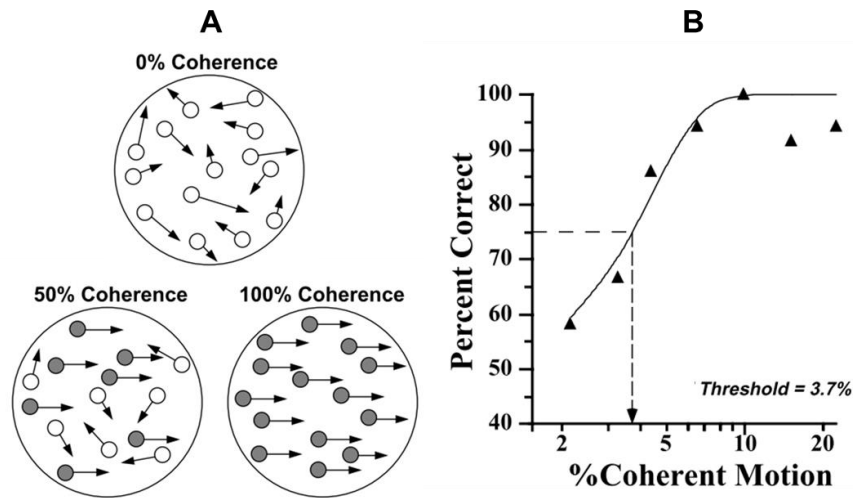


Figure 2.18 : **A** : Exemples des patterns de points en mouvement avec différents niveaux de cohérence présentés au participant dans les études de Bosworth et Dobkins (1999, 2002a, 2002b). Les points blancs représentent des mouvements aléatoires (i.e., bruit) alors que les points gris représentent des mouvements cohérents (i.e., signal). Le graphique **B** représente la courbe psychophysique permettant d'établir le seuil de cohérence pour 75% de discrimination correcte.

Néanmoins et comme observé dans l'étude de Neville et Lawson (1987) les signeurs (sourds ou entendants) présentaient une sensibilité supérieure au mouvement dans le CV droit alors que le pattern inverse était observé chez les entendants non-signeurs avec une sensibilité supérieure dans le CV gauche. Les auteurs interprètent cette modulation comme une spécialisation du traitement du mouvement dans l'hémisphère gauche dévoué principalement au langage afin d'avoir un traitement optimal de la langue des signes (i.e., langue visuo-spatiale où le traitement du mouvement est indispensable). Enfin, les performances des sourds signeurs étaient meilleures que celles des entendants (signeurs et non-signeurs) quand les patterns de points étaient présentés dans le CV inférieur.

Les études de Neville et Lawson (1987) et de Bosworth et Dobkins (1999, 2002a, 2002b, voir aussi Bosworth, Petrich, & Dobkins, 2013) permettent alors d'avancer 4 conclusions sur les capacités de discriminations du mouvement chez les sourds signeurs : 1) la surdité entraîne une plus grande réactivité à la discrimination de mouvement dans l'espace visuel périphérique, 2) cette hausse de réactivité n'est pas associée à de meilleures capacités de

discrimination du mouvement, 3) la pratique de la langue des signes entraîne un avantage pour le champ visuel droit pour le traitement du mouvement, 4) cette latéralisation atypique semble plus sensorielle qu'attentionnelle puisque les modulations attentionnelles expérimentales n'ont pas d'effet sur les performances.

Le premier point de cette conclusion serait toutefois à prendre avec précaution puisque deux études plus récentes ont observé de meilleures performances chez les sourds signeurs pour discriminer des différences fines dans la direction du mouvement d'un pattern de points à 6.25° (Hauthal, Sandmann, Debener, & Thorne, 2013) ou détecter du mouvement à 10° d'excentricité visuelle (Shiell, Champoux, & Zatorre, 2014).

2. Discrimination de cibles statiques

Les études présentées ci-dessus se sont intéressées aux capacités de discrimination du mouvement dans le CV périphérique et à ma connaissance il n'existe qu'une étude ayant exploré les capacités de discrimination de cibles statiques dans le CVP (Bottari et al., 2010). Cette étude est en tout point similaire à celle présentée dans la section précédente sur la détection simple de cibles, mais le participant devait en plus de détecter la cible indiquer la nature de cette dernière (i.e., un C ou un \complement) qui pouvait apparaître dans le CV central (3°) ou périphérique (8°). Les auteurs n'ont observé aucun effet du groupe dans les temps de réponse contrairement à la tâche de détection de cibles, mais de manière surprenante, les sourds avaient un pourcentage d'erreurs supérieur à celui des entendants (figure 2.19).

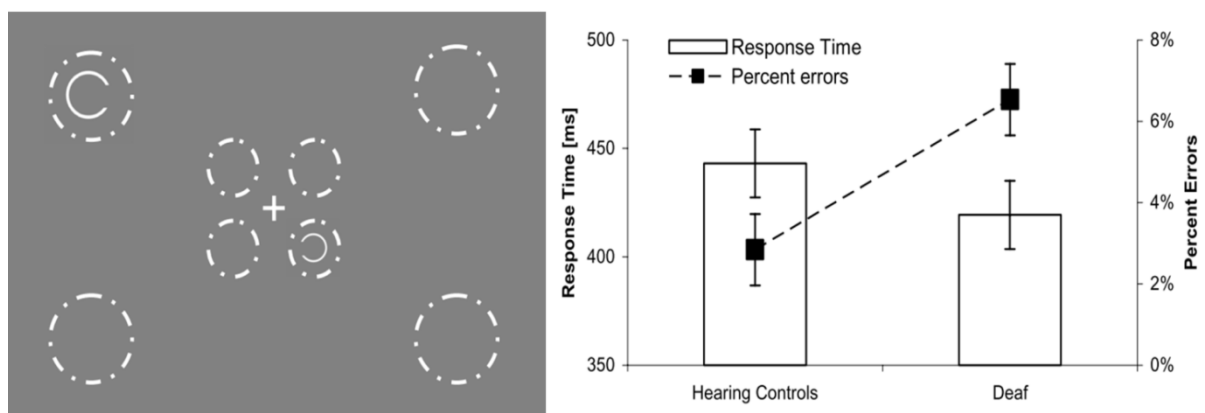


Figure 2.19 : Design expérimental et principaux résultats dans la tâche de discrimination dans l'étude de Bottari et al. (2010).

Contrairement à l'étude de Neville et Lawson (1987), les sourds n'étaient pas plus rapides que les entendants pour discriminer une cible dans le CVP. Pour les auteurs, il pourrait ainsi y avoir des mécanismes de plasticité spécifique au traitement du mouvement puisque que les mécanismes d'orientation attentionnelle ne semblent pas affectés chez les sourds quand la cible est statique. Ils avancent également que la hausse de réactivité dans la détection de cible pourrait s'expliquer par une réorganisation sensorielle plutôt qu'attentionnelle. La discrimination de cibles statiques a été peu étudiée dans la population sourde et très peu de choses sont connues sur l'impact potentiel de la pratique de la langue des signes.

v. Identification et localisation de cibles en situation d'interférence

De nombreuses études se sont intéressées à l'effet d'interférence que pourrait induire un distracteur central ou périphérique dans une tâche nécessitant de l'attention focalisée et sélective dans la population sourde et signeuse. Une des études les plus fréquemment citées sur le sujet est sûrement l'étude de Proksch et Bavelier (2002) dans laquelle les auteurs ont comparé l'effet d'un distracteur central ou périphérique dans une tâche d'identification de cible auprès d'un groupe de sourds signeurs, de CODAs et d'entendants non-signeurs.

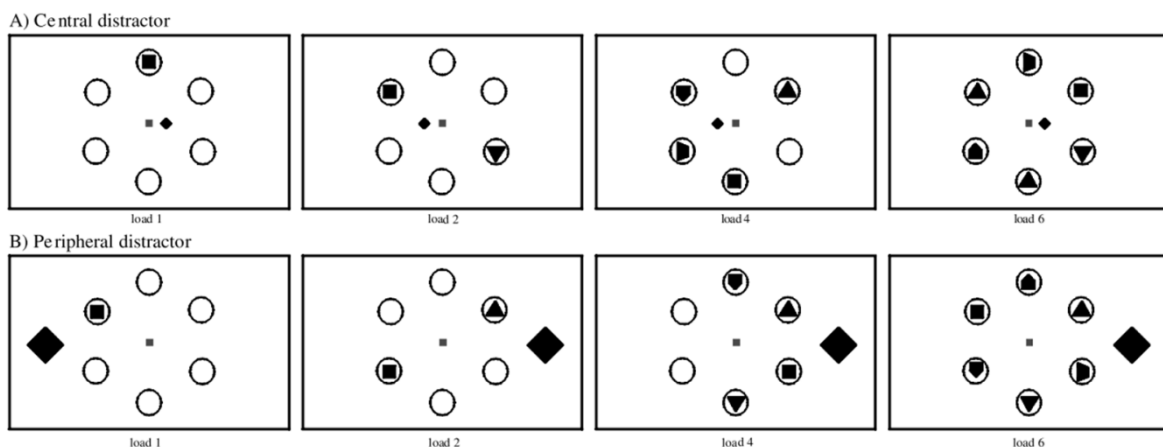


Figure 2.20 : Paradigme expérimental utilisé par Proksch et Bavelier (2002) pour étudier la distribution spatiale de l'attention chez les sourds et les signeurs. Ici la cible est le carré et les situations présentées sont toutes incongruentes (le distracteur étant un losange).

La tâche du participant était d'identifier la nature de la cible (carré ou losange) présentée dans une des 6 localisations possibles distribuées à 2.1° du point de fixation central (figure 2.20). Ce distracteur pouvait être présenté en vision centrale (0.5°) ou périphérique (4.2°) et être soit identique à la cible (condition compatible), soit être l'autre cible possible (condition incompatible), soit être une troisième forme (ni un carré ni un losange, condition neutre). Les auteurs ont également ajouté un nombre variable de fillers (0, 1, 3 ou 5) dans les localisations possibles de la cible. Les fillers étaient des formes géométriques neutres dont le but était de faire varier la charge perceptive du participant durant l'essai. Les auteurs calculaient pour chaque condition un score de compatibilité en soustrayant le TR de la condition incompatible au TR de la condition compatible. Ainsi, plus le score était élevé plus la présence d'un distracteur incompatible interférait dans les temps de réponse. Les auteurs ont observé des différences intéressantes entre les groupes uniquement quand 1 ou 3 fillers étaient présents (la condition sans filler étant trop facile et la condition avec 5 fillers trop complexe pour faire ressortir des différences). Les résultats décrits ci-dessous concernent donc uniquement les conditions 1 et 3 fillers (load 2 et 4 dans la figure 2.20).

Alors que les sourds avaient un effet de compatibilité plus grand avec un distracteur périphérique que central, les entendants (signeurs et non-signeurs) présentaient un pattern opposé en étant plus gênés par un distracteur central que périphérique (figure 2.21). Ces résultats suggèrent alors que cette plus grande distractibilité reflète une saillance plus importante des informations visuelles périphériques chez les sourds. Et comme cette distractibilité est plus faible dans l'espace visuel central, il y aurait une redistribution des capacités attentionnelles sélectives des sourds depuis le CV central vers le CV périphérique. De plus, comme cette différence n'est pas observée chez les CODAs, elle ne peut être imputable à la pratique de la langue des signes depuis le plus jeune âge. Néanmoins, il faut que les auteurs n'aient pas analysé leurs résultats en divisant par exemple les performances entre le CV supérieur et inférieur. Il est en effet tout à fait possible que la pratique de la langue des signes affecte uniquement les ressources attentionnelles dans le CV inférieur.

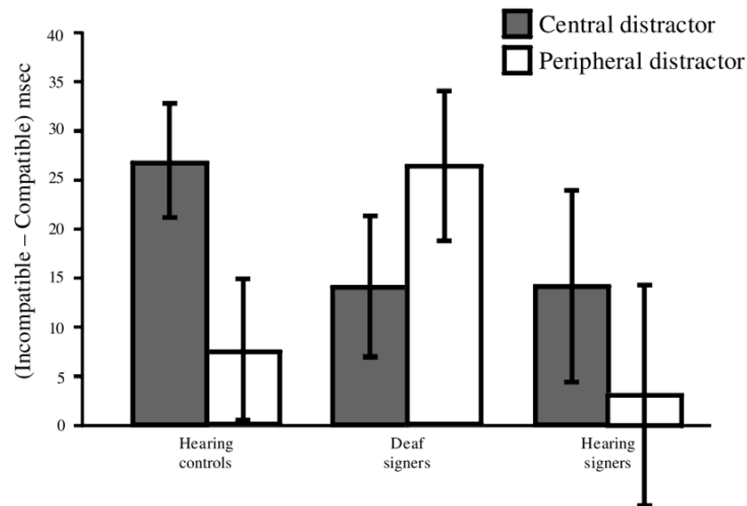


Figure 2.21 : Scores de compatibilité calculés dans l'étude de Proksch et Bavelier (2002).

Chen, He, Chen, Jin et Mo (2010) ont repris le même paradigme expérimental, mais ont demandé au participant de réaliser la tâche dans l'espace proche (à 45 cm de distance) ou lointain (à 226 cm de distance). Selon eux, cette différence espace proche/espace lointain est à prendre en compte puisque l'espace proche est l'espace de l'action sous-tendu par la voie dorsale alors que l'espace lointain est l'espace de la représentation de notre environnement sous-tendu par la voie ventrale (Previc, 1990, 1998). De plus comme la plupart des études suggère que la surdité affecte principalement la voie dorsale (Bavelier et al., 2006), il leur semblait légitime de comparer la dissociation voie dorsale voie ventrale sur une seule et même tâche. Dans l'espace proche, les résultats des sourds signeurs et des entendants non-signeurs étaient semblables à ceux de Proksch et Bavelier (2002). Dans l'espace lointain, les entendants ne souffraient d'aucun effet d'interférence avec un distracteur central, mais étaient gênés par un distracteur périphérique (en d'autres termes, le pattern présenté par les sourds en espace proche) alors que les sourds étaient gênés à la fois par un distracteur central et périphérique (figure 2.22). Dans l'espace lointain, les entendants ont donc plus de ressources attentionnelles dans le champ visuel périphérique que central alors que les sourds ont des ressources équivalentes dans les deux champs visuels. Les auteurs évoquent la possibilité d'un lien entre les résultats et la pratique de la langue des signes, mais n'ayant pas testé un groupe d'entendants signeurs et aux vues des résultats de Proksch et Bavelier (2002) cette hypothèse ne semble pas pertinente à développer.

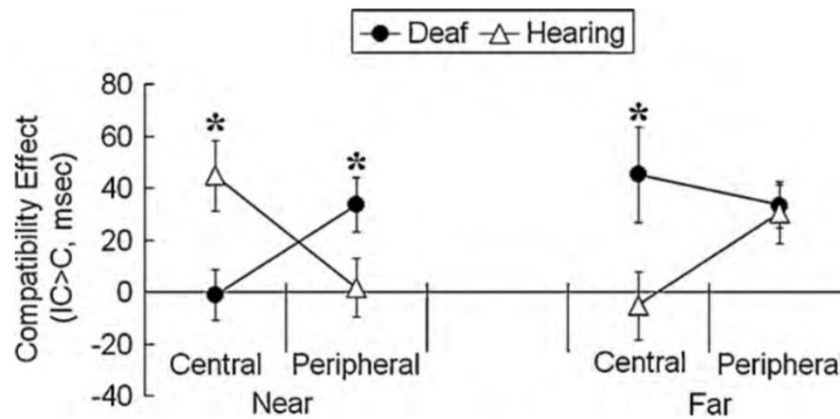


Figure 2.22 : Score de compatibilité calculé dans l'étude de Chen et al. (2010).

Hauthal, Neumann et Schweinberger (2012) ont voulu tester si les effets d'interférences observés avec des formes géométriques par Proksch et Bavelier (2002) pouvaient s'étendre à l'utilisation de stimuli plus complexes et porteurs de sens comme des visages ou des objets. La tâche du participant était une tâche de catégorisation de genre d'une cible située à 2.2° du point de fixation central. Les distracteurs présentés pouvaient soit être des visages d'hommes et de femmes inconnus soit des objets du quotidien typiquement masculins (e.g, rasoir) ou féminin (e.g., brosse à cheveux). Ces distracteurs pouvaient être situés au niveau du point de fixation central ou à 4.4° d'excentricité. Une charge perceptive était induite par des fillers géométriquement semblables aux formes utilisées pour les cibles masculines et féminines (figure 2.23 A et B). Alors que les entendants non-signeurs présentaient un effet d'interférence uniquement en cas de faible charge perceptive, les sourds signeurs subissaient un effet d'interférence à la fois en charge perceptive faible et forte (figure 2.23 C). Ces résultats sont interprétés comme illustrant de plus grandes ressources attentionnelles chez les sourds quelle que soit la localisation du distracteur. En effet, une charge perceptive importante est censée supprimer l'effet d'interférence puisqu'il n'y a plus de ressources attentionnelles disponibles pour traiter le distracteur (comme observé chez les entendants non-signeurs).

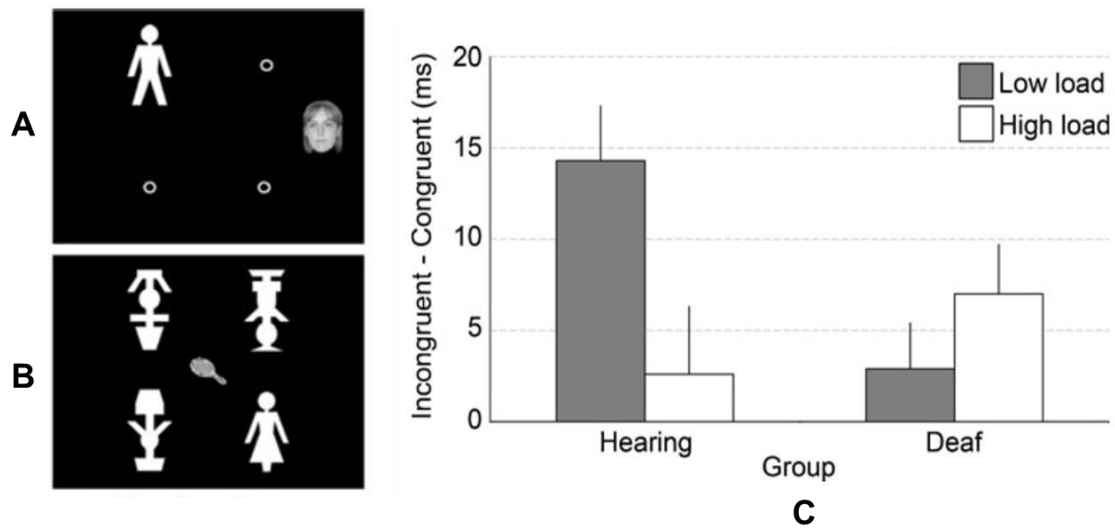


Figure 2.23 : Exemples d'essais (A et B) et principaux résultats (C) de l'étude de Hauthal et al. (2012). **A** : essai avec un distracteur périphérique visage féminin incongruent en faible charge perceptive. **B** : essai congruent avec un distracteur central objet féminin congruent en forte charge perceptive.

vi. Identification et localisation de cibles en double tâche

L'utilisation des paradigmes de double tâche permet l'évaluation de l'attention sélective et divisée. Par exemple, la tâche du *Usefull Field of View* (UFOV) utilisé par Dye et collaborateurs (Dye, 2016; Dye et al., 2009; Dye, Seymour, & Hauser, 2015) nécessite la réalisation simultanée d'une tâche centrale et périphérique. Plus précisément le participant doit identifier une cible centrale en indiquant si le smiley présenté au centre de l'écran a des cheveux courts ou longs tout en indiquant la localisation d'apparition d'une cible périphérique (8 possibilités à 20°, figure 2.24A). En modulant progressivement les temps de présentation (par une méthode de présentation adaptative) les auteurs peuvent ainsi déterminer le seuil de temps de présentation minimum moyen pour que le participant puisse répondre correctement à la tâche centrale et périphérique sur 10 essais consécutifs avec un taux de 79.4% de bonnes réponses. Dye et ses collaborateurs (Dye et al., 2009, 2015) ont testé 4 groupes : un groupe de sourds signeurs, un groupe de CODAs, un groupe d'entendants non-signeurs et un groupe de sourds non-signeurs (i.e., personne sourde ayant reçue un implant cochléaire et une éducation oraliste très précocement ne connaissant pas la langue des signes). L'intérêt de ces 4 groupes est de pouvoir faire une double dissociation

entre effet de la surdité et effet de la langue des signes. Les résultats suggèrent que la surdité précoce et non la pratique de la langue des signes entraînerait une diminution des seuils de présentation et donc un champ visuel périphérique plus efficace pour réaliser deux tâches simultanées (figure 2.24B). Les auteurs interprètent cette différence comme étant le reflet d'une meilleure attention sélective et divisée dans l'espace visuel central et périphérique chez les sourds.

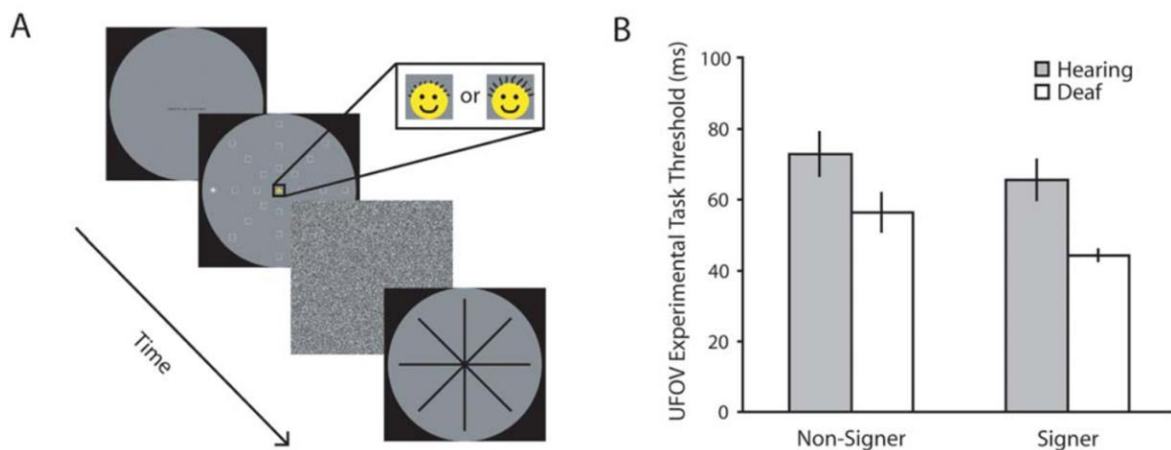


Figure 2.24 : Paradigme expérimental (A) et principaux résultats (B) de la tâche du UFOV. L'axe des y représente temps de présentation minimum pour pouvoir répondre correctement à la tâche centrale et périphérique. Dye et al. (2009, 2015).

Dans cette étude, l'établissement du seuil de présentation des cibles était principalement basé sur les performances dans la tâche périphérique. En effet, seules les mauvaises réponses dans la tâche périphérique induisaient un allongement du temps de présentation des cibles. Une mauvaise réponse dans la tâche centrale était « ignorée » elle n'entraînait aucune modulation du temps de présentation. Il n'y a donc aucune information sur le seuil central. D'autre part on ne peut savoir si la hausse de performance dans la tâche périphérique chez les sourds entraîne ou non un changement de performance dans la tâche centrale et notamment un *trade-off* entre CV central et périphérique comme observé par Proksch et Bavelier (2002). Si tel est le cas, en conséquence d'une amélioration pour le CV périphérique (i.e., seuils plus faibles) les sourds devraient éprouver davantage de difficultés que les entendants pour le CV central (i.e., seuils plus importants).

Afin de déterminer l'existence ou non du *trade-off* une étude récente Dye (2016) a déterminé d'une part les seuils temporels basés sur les performances dans la tâche centrale et d'autre part les seuils temporels basés sur les performances dans la tâche périphérique (réplication de l'étude de 2009). Pour rappel, les seuils correspondent au temps minimum de présentation nécessaire pour 79.4% de bonnes réponses. Comme suspecté, lorsque le seuil était établi sur les performances de la tâche centrale, les sourds présentaient un seuil plus élevé que celui des entendants non-signeurs. L'hypothèse du *trade-off* dans la distribution de l'attention divisée et sélective chez les sourds n'a pas pu être considérée puisque les résultats de 2009/2015 pour le seuil basé sur la tâche périphérique n'ont pas été répliqués. Néanmoins, Dye et son équipe ont répliqué l'avantage observé dans l'étude de 2009 dans une étude très récente combinant performances comportementales et imagerie optique (Seymour et al., 2017). Dans cette dernière étude, les auteurs ont observé un lien entre les seuils des participants et l'activité cérébrale de la partie postérieure d'une partie du cortex auditif de l'hémisphère droit (aire 22 de Brodmann impliquée par exemple dans le traitement de la mélodie ou de la prosodie dans la population typique). Cette dernière corrélation est tout de même à prendre avec précaution puisque le groupe des sourds n'était constitué que de 10 participants.

L'ensemble de ces études suggère que dans des tâches d'identification de cibles avec la présence de distracteurs ou en situation de double tâche les sourds sont plus sensibles aux informations en périphérie. Cette plus grande sensibilité serait due à une redistribution spatiale (ou un *trade-off*) des capacités attentionnelles sélectives et divisées de l'espace visuel central vers l'espace visuel périphérique (voir cependant Samar & Berger, 2017 où les sourds ne présentent pas de meilleures performances en périphérie dans un paradigme assez similaire au UFOV). En conséquence les performances dans le CV central pour des tâches cognitivement coûteuses en présence de distracteurs périphériques sont altérées. Une fois encore cette redistribution attentionnelle semble plus une conséquence de la surdité que de la pratique de la langue des signes, mais il est tout à fait possible que les signeurs aient une modification de leurs capacités attentionnelles périphériques uniquement dans le champ visuel inférieur nécessaire à la communication signée comme observé dans l'étude de Dye et al. (2015) qui sera détaillée dans la partie expérimentale, étude n°3 de ce chapitre.

vii. Plasticité du système nerveux central et périphérique

Les changements comportementaux rapportés dans les sections précédentes sont associés à des modifications anatomiques ou fonctionnelles du système nerveux depuis la rétine jusqu'aux aires cérébrales associatives ou multisensorielles. Ce travail de thèse étant focalisé autour de l'impact de la surdité et de la langue des signes sur la plasticité du traitement visuel et non sur la plasticité cérébrale, la revue de la littérature suivante n'est pas exhaustive et n'a pour but que de présenter les principaux résultats.

La surdité précoce affecte le système nerveux dès les toutes premières étapes du traitement visuel au niveau de la structure rétinienne. La tomographie à cohérence optique (OCT) permet l'étude de la structure cellulaire de différentes zones de la rétine comme par exemple la papille optique ou la macula. Des mesures OCT réalisées sur des personnes sourdes (Codina et al., 2011) ont révélé que les sourds possédaient notamment une papille optique plus épaisse que les entendants suggérant une plus grande quantité de cellules ganglionnaires. De plus, les auteurs ont également observé des différences dans la distribution de la RNFL (épaisseur de la couche des fibres optiques de la rétine) avec une épaisseur plus importante chez les sourds dans les zones responsables de la vision périphérique.

Les études d'imageries tendent à montrer que la plasticité cérébrale du traitement visuel chez les sourds est davantage intermodale que intramodale. Plus précisément, en réponse à une tâche visuelle (généralement des cibles en mouvement dans le CV périphérique) de nombreuses études ont observé chez les sourds une activation du cortex auditif primaire (surtout dans l'hémisphère droit), mais peu d'activation de zones typiquement visuelles ou multimodales (Bottari et al., 2014; Dewey & Hartley, 2015; Fine, Finney, Boynton, & Dobkins, 2005; Finney, Clementz, Hickok, & Dobkins, 2003; Finney, Fine, & Dobkins, 2001). Par exemple une étude de IRMf a comparé l'effet d'une tâche visuelle périphérique de traitement du mouvement sur le cortex visuel et auditif de sourds signeurs, entendant non-signeurs et de CODAs (Fine et al., 2005). Alors que les trois groupes présentaient des activations du cortex visuel similaires, le cortex auditif était activé uniquement chez les sourds pour traiter une information visuelle en mouvement (figure 2.25).

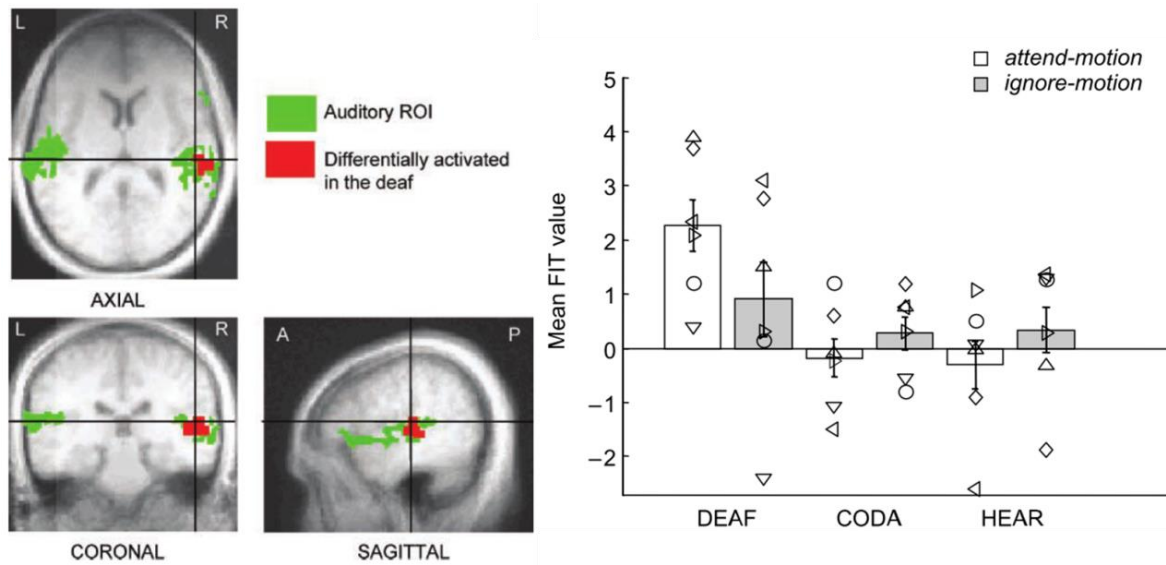


Figure 2.25 : Images IRM de l'activation du cortex auditif chez les sourds (à gauche) et activation moyenne du cortex auditif primaire dans les 3 trois groupes selon la condition expérimentale (à droite). Fine et al. (2005).

D'autres régions cérébrales non auditives semblent également s'activer de manière plus importante chez les sourds dans le traitement du mouvement présenté en périphérie avec notamment les aires MT et MST (aires du traitement du mouvement) ou la partie postérieure du sulcus temporal supérieur (STS) (Bavelier et al., 2001; Scott et al., 2014; Vachon et al., 2013). Le STS est une région cérébrale multimodale impliquée dans divers processus comme le traitement du mouvement biologique ou à composante sociale ou encore dans la modulation de l'attention. Enfin une dernière étude a observé une plus grande activation des zones typiquement liées à l'attention et à l'intégration multisensorielle comme le cortex pariétal supérieur ou le *frontal eye field* (Scott et al., 2014). Si la majorité de la plasticité visuelle des sourds signeurs est liée à une compensation intermodale en recrutant l'aire auditive primaire pour traiter une partie de l'information visuelle (notamment périphérique en mouvement) il semble cohérent que les CODAs ne présentent que très peu de ressemblance avec les sourds signeurs. En effet, cela impliquerait que l'aire auditive primaire de personnes entendantes «devienne» multimodale en traitant aussi l'information visuelle. En revanche, il est possible que la pratique de la langue des signes entraîne une plasticité intra ou multimodale même si aucune observation tangible d'une telle plasticité n'existe à ce jour.

viii. Implications théoriques

La revue de la littérature suggère donc que les sourds ne traitent pas plus efficacement les stimuli visuels, mais auraient une meilleure réactivité face à une stimulation dans leur CV périphérique. Cette réactivité serait couplée avec une distribution atypique de l'attention visuelle avec une sensibilité supérieure dans l'espace visuel périphérique. En contrepartie de cette attention visuelle plus élevée dans le CV périphérique, les sourds présenteraient dans certaines situations des déficits de traitement dans le CV central (notamment pour des tâches complexes ou avec interférence). Il semble tout de même que la réalité soit plus complexe. En effet, l'excellente revue de questions critiques de Pavani et Bottari (2012) soulève *nécessaire prise en compte de certaines limites* rendant difficile l'intégration cohérente de toutes les connaissances actuelles sur le sujet.

Tout d'abord il y a un problème dans le terme "attention visuelle" fréquemment utilisée dans la littérature sur la surdité. L'attention est multiple. Elle peut être endogène, exogène ou sélective, divisée ou localisée, distribuée ou orientée. Chacun de ces types d'attention possède des caractéristiques propres et dire que l'attention visuelle est différente chez les sourds signeurs est donc un abus de langage. En effet, tous les aspects de l'attention ne sont pas modulés par la surdité précoce. Par exemple, les résultats sur l'IOR ne permettent pas d'affirmer que les sourds possèdent un réengagement attentionnel vers une cible plus efficace ou plus rapide que les entendants. De plus, plusieurs études n'ont pas réussi à établir de différences dans les capacités attentionnelles entre sourds et entendants. Par exemple Hauser, Dye, Boutla, Green, et Bavelier (2007) ont observé des performances similaires entre sourds et entendants dans une tâche nécessitant de suivre visuellement plusieurs objets en mouvement (i.e., attention divisée distribuée) ou encore en utilisant le *Attentional Network Test* Dye, Baril, et Bavelier (2007) n'ont pas non plus trouvé de différence entre sourds et entendants dans des tâches classiques d'alerte, d'orientation ou de contrôle exécutif. Il semble ainsi primordial de préciser quel type d'attention visuelle est modulé chez les sourds.

Une deuxième réserve peut être émise concernant les excentricités utilisées pour tester le champ visuel périphérique. En effet, comme développé dans la section ii-2 de ce chapitre la définition de ce qu'on appelle CVP manque de précision. Ainsi, lorsque l'on postule que la

surdité affecte la perception dans le CVP, on regroupe ensemble des études dans lesquelles la périphérie testée est autour des 5  d'excentricité (e.g., Bosworth et al., 2013; Proksch & Bavelier, 2002; Reynolds, 1993) et des études dans lesquelles la périphérie testée est au-delà des 16  (e.g., Dye et al., 2009; Loke & Song, 1991; Prasad et al., 2015). De plus, certaines études considèrent une excentricité de 3  comme une excentricité de CV central (Bottari et al., 2010) alors que pour Proksh et Bavelier (2002) un distracteur   4.2  d'excentricité est considéré périphérique. Au regard des différences dans les structures rétiniennes et cérébrales entre 5 et 16 d'excentricité visuelle, il semble que le terme très générique de périphérie est imprécis. De plus, l'espace visuel périphérique au-delà des 16  n'a quasiment pas été étudié chez les sourds puisque 19 des 27 études recensées (i.e., 70%) ont testé des excentricités inférieures à 16  (tableau 2.2) et la quasi-totalité des études en IRM ont été réalisées avec des excentricités n'allant pas au-delà de 10 . On ne sait donc que très peu de choses sur la perception visuelle des sourds dans des excentricités visuelles assez importantes alors que cet espace visuel est très important pour avoir une perception efficace de l'environnement (Boucart et al., 2013; Rayner et al., 2011; Rosenholtz et al., 2012)

Tableau 2.2

Résumé des excentricités utilisées dans 27 études comportementales publiées entre 1985 et 2017.

<i>Excentricité testée</i>					
	<1-6>	<6-11>	<11-16>	<16-21>	au-delà
n	8	6	5	5	3

Enfin, une dernière limite de la littérature actuelle est sûrement le manque de contrôle de l'effet de la pratique de la langue des signes dans les études réalisées. Un groupe de CODA représente le groupe idéal pour déterminer l'effet de la surdité précoce indépendant de celui de la pratique de la langue des signes, mais un groupe d'entendants signeurs, même tardifs, permet d'avoir une idée de l'effet de la pratique soutenue d'une langue visuo-motrice sur le traitement visuel. En effet, beaucoup d'auteurs discutent de la nécessité d'approfondir leurs résultats avec un groupe d'entendants signeurs, mais malheureusement peu d'entre eux le font. Par ailleurs, un aspect peu exploré dans l'impact de la pratique de la langue des signes est l'étude des asymétries perceptives verticales. Si la langue des signes a

un effet sur la cognition visuelle, il est possible que cet effet soit spécifiquement dirigé vers l'espace sollicité par la langue des signes c'est-à-dire le champ visuel inférieur. Encore une fois très peu d'études ont spécifiquement étudié les champs visuels supérieurs et inférieurs chez les sourds et les signeurs. Le travail expérimental de cette thèse tente de prendre en compte les limites de la littérature et de d'approfondir certaines pistes de réflexions.

L'essentiel

La surdité précoce et/ou la pratique de la langue des signes sont susceptibles d'entraîner des modifications du traitement visuel chez les sourds et/ou les signeurs. La littérature suppose davantage un effet de la surdité précoce que de la pratique de la langue des signes même si cette dernière hypothèse n'a pas été systématiquement testée.

- Les sourds possèdent une réactivité (i.e. capture de l'attention exogène) à l'apparition d'une cible périphérique plus importante que les entendants, mais ils ne semblent pas meilleurs que ces derniers dans la qualité du traitement de la cible.
- Cette réactivité n'est pas limitée à des cibles en mouvement bien que ce soit un des stimuli les plus utilisés. De plus, le traitement du mouvement ne semble pas être amélioré chez les sourds.
- Les sourds possèderaient également une distribution atypique de leur attention visuelle endogène avec une migration des capacités attentionnelles de l'espace central vers la périphérie. Ce *trade-off* induirait ainsi une plus grande sensibilité aux informations périphériques avec un traitement visuel central parfois détérioré.
- Une revue critique de la littérature pointe la nécessité de proposer des définitions plus précises et opérationnelles d'attention visuelle et de champ visuel périphérique pour mieux comprendre la compensation sensorielle chez les sourds. De plus, il semble nécessaire de contrôler plus systématiquement l'effet de la pratique de la langue des signes dans les résultats observés.

Section expérimentale

Etude 1 : Taille du champ visuel et micro-structure de la rétine chez les entendants signeurs

Abstract

The lower part of the visual field is critical to perceive and understand linguistics gestures in sign language communication. Past studies observed that deaf signers have a larger Visual Field (VF) than hearing non-signers with a particularly large extension in the lower part of the VF. The aim of the present study is to explore whether sign language experience without deafness can change VF sensitivity, especially in its lower part. We measured luminance sensitivity threshold in the fovea and in visual eccentricity between 3° and 27° (part 1), and between 30° and 50° (part 2) in hearing signers and age-matched hearing non-signers. Because modulations in the retinal microstructure have been observed in deaf signers, we also compared retinal microstructure between our groups with the Optical Coherence Tomography technic (part 3). Overall results suggest a higher VF sensitivity in the signing space in the lower VF in hearing signers. Interestingly weekly frequency of sign language correlates with macular lower part thickness. Sign language experience itself can therefore induce a VF plasticity in the very specific location where signs are perceived.

Etude soumise à publication:

Stoll, C., Palluel-Germain, R., Gueriot, F-X., Pascalis, O., & Aptel, F. Functional visual field plasticity in hearing users of Sign Language. *Investigative ophthalmology & visual science*.

Problématique et hypothèses

En utilisant la périmétrie cinétique manuelle de Goldman, Buckley et al. (2010) ont pu comparer l'étendue du champ visuel autour des 30° et des 60° d'excentricité visuelle (voir encart 1 pour une explication de la périmétrie de Goldman) d'un groupe de sourds (avec une expérience variable en langue des signes) et d'un groupe d'entendants non-signeurs. Les auteurs ont observé que les personnes sourdes possédaient des CV plus étendus que les entendants non-signeurs que ce soit dans la zone des 30° ou des 60° d'excentricité visuelle. Ils ont également observé que cette extension était particulièrement marquée dans la partie inférieure du CV et notamment dans la zone des 30° (voir tableau 2.3 pour les données détaillées et chiffrées). Selon les auteurs, cette sur-extension de l'espace visuel inférieur pourrait être liée à la pratique de la langue des signes. Il se pourrait que les contraintes perceptives, attentionnelles et motrices liées à la pratique de la langue des signes puissent être sources de plasticité fonctionnelle du CV.

Tableau 2.3

Aires des champs visuels (en deg²) mesurées par Buckley et al. (2010).

	30°		60°	
	CV inférieure	CV supérieure	CV inférieure	CV supérieure
Sourds	1616	1590	5293	4697
Entendants non-signeurs	774	939	3997	4117
<i>Avantage (%)</i>	109	69	32	12

La taille du champ visuel serait donc plastique, c'est-à-dire qu'elle pourrait être affectée par l'expérience d'un individu. Dans la même étude, Buckley et al. (2010) ont également comparé la taille du CV entre une population de joueurs de jeux vidéo d'action et de non-joueurs. Les personnes constituant le groupe de joueurs pratiquaient quasi quotidiennement des jeux vidéo d'action comme les FPS au moins 1h par jour depuis 5 ans minimum. Tout comme pour les sourds, les joueurs de jeux vidéo possédaient des CV plus étendus que les non-joueurs. Contrairement aux sourds qui présentaient un élargissement particulièrement important dans le CV inférieur, celui des joueurs de jeux vidéo était distribué de façon relativement homogène autour de la circonférence à la fois pour le 30° et le 60°. Contrairement à la langue des signes, les jeux vidéo ne demandent pas une attention

soutenue à un endroit particulier de l'espace visuelle mais plutôt une attention sur tout l'espace visuel du jeu, expliquant l'extension homogène du CV.

Il est légitime de penser que l'expérience perceptivo-motrice de la langue des signes - indépendamment de la surdité - peut également être source de plasticité dans le CV et cela plus particulièrement dans sa partie inférieure autour de l'espace de signation. Nous avons par conséquent comparé la sensibilité aux contrastes de luminance à différentes excentricités visuelles (entre 3° et 25°) d'un groupe d'entendants signeurs et d'un groupe d'entendants non-signeurs. Pour ce faire nous avons utilisé une mesure standard d'ophtalmologie appelée Champ Visuel Automatique et Statique de Humphrey.

Si la plasticité du CV est, en partie, déterminée par la pratique de la langue des signes, les entendants signeurs devraient avoir des seuils de sensibilité aux contrastes de luminance supérieurs à celui des entendants non-signeurs mais uniquement dans l'espace visuel de perception et de production des signes c'est-à-dire dans le CV inférieur entre 3° et 15° d'excentricité visuelle. Au contraire, si la plasticité du CV est générale, alors les seuils des entendants signeurs devraient être supérieurs à ceux des entendants non-signeurs quelle que soit l'excentricité visuelle et la partie du CV testée. Nous avons également mesuré la sensibilité aux contrastes de luminance de nos participants dans la grande périphérie afin de tester une éventuelle plasticité plus générale et plus large chez les signeurs (i.e., entre 30 et 60° d'excentricité visuelle). Enfin, puisqu'une plasticité de la structure de la rétine a été observée chez les personnes sourdes (Codina et al., 2011, voir section théorique pour plus de détails sur cette étude), une étude complémentaire et exploratoire de la microstructure de la rétine a été réalisée en utilisant la technique de l'OCT.

Première partie : étude du champ visuel entre 0° et 30°

Méthode

Participants

Dix-huit entendants signeurs (17 femmes, $M_{\text{âge}} = 39.11$, $ET_{\text{âge}} = 10.84$) ont participé à cette étude. Leur fréquence de pratique hebdomadaire de la langue des signes française (LSF) était comprise entre 2 et 50 heures ($M_{\text{fréquence}} = 22.50$; $ET_{\text{fréquence}} = 11.28$). Trois d'entre eux étaient des CODA alors que les 15 autres avaient appris la LSF à l'âge adulte ($M_{\text{âge d'apprentissage}} = 26.73$, $SD_{\text{âge d'apprentissage}} = 10.19$; Min = 16 ; Max = 50) Ces signeurs tardifs travaillaient au quotidien avec la population sourde et étaient soit des interprètes Français-LSF, soit des travailleurs sociaux, soit des membres de l'équipe médicale de l'Unité d'Accueil et de Soins pour les Sourds du CHU de Grenoble. Ils ont estimé leur niveau de LSF à minimum 4.5/5 (de 0= aucune connaissance en LSF à 5= maîtrise parfaite de la LSF).

En plus des entendants signeurs, 17 entendants non-signeurs (14 femmes, $M_{\text{âge}} = 37.18$, $ET_{\text{âge}} = 9.95$) ont participé à cette étude. Ils étaient appariés en âge sur les entendants signeurs à plus ou moins un an et ont été recrutés via une plateforme électronique pour la recherche en sciences cognitives ou parmi les collègues du laboratoire. Aucun des participants n'avait reporté avoir d'antécédents neurologiques, de problèmes ophtalmologiques non corrigés ou ne pratiquaient les jeux vidéo d'action. L'étude durait environ 2 heures et a été validée par le Comité d'Ethique pour les Recherches Non Interventionnelles (CERNI) du pôle Grenoble Cognition

Matériel et procédure

La sensibilité à la luminance était mesurée à partir d'un matériel standardisé d'ophtalmologie appelé Champ Visuel Statique Automatisé de Humphrey (Zeiss II-i Version 5.1, model 745i, figure 2.26). Cette technique monoculaire mesure le seuil de sensibilité aux contrastes de luminance entre une demi-sphère isoluminante et une cible lumineuse que le participant doit détecter à différentes excentricités lumineuses.

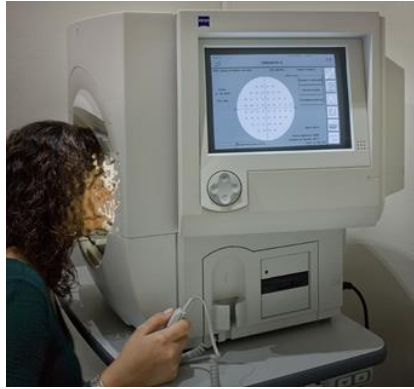


Figure 2.26 : champ visuel automatisé de Humphrey.

Pendant la mesure du champ visuel le participant devait fixer son œil sur le point de fixation centrale et appuyer sur un bouton à chaque fois qu'il détectait la cible dans son champ visuel. La cible de 4 mm² apparaissait pendant 200 ms à une localisation et une excentricité visuelle aléatoire. Le champ visuel 30-2 utilisé estime le seuil de sensibilité aux contrastes de luminance sur 76 points différents (19 x 4 cadrans visuels) répartis sur 5 excentricités visuelles (i.e., 3°, 9°, 15°, 21°, 27°). Le CV 30-2 mesure également le seuil de sensibilité aux contrastes de luminance au niveau de la fovéa. L'intensité lumineuse de la cible varie selon un pas de 2dB au tour de l'intensité seuil (voir encart 2 pour une description plus détaillée de périmétrie statique). Le seuil de sensibilité correspond à l'intensité lumineuse minimum nécessaire pour détecter la cible à 50% des présentations et est défini en décibel. Le décibel est une unité algorithmique utilisée pour illustrer un rapport de puissance entre une intensité mesurée et une intensité de référence (ici intensité de luminance). Dans le CV de Humphrey l'intensité de référence est 10 000 asb³ et représente l'intensité lumineuse maximum que peut avoir la cible. Une mesure de 0 décibel signifie qu'il n'y a pas de différence entre la puissance mesurée et la puissance de référence. Ainsi, plus le seuil mesuré est élevé plus l'écart entre les deux intensités est important. En d'autres termes, plus le seuil mesuré est élevé, plus la cible peut être détectée avec une faible intensité et donc plus le participant est sensible aux contrastes d'intensité lumineuse.

³ L'apostilb (asb) est une ancienne unité de mesure de la luminance aujourd'hui remplacée par le candela par mètre carré (cd.m²) dans le système international des unités. 1 asb ≈ 0.318 cd.m².

La périmétrie est une mesure monoculaire, le participant réalisait donc deux tests consécutifs avec l'œil directeur en premier. Durant le test, l'expérimentateur était présent pour contrôler sa fiabilité et le mettre en pause dès que le participant en avait besoin. La fixation oculaire sur le point central était automatiquement contrôlée par le dispositif et en cas de mouvements oculaires trop nombreux (i.e., quand la fiabilité du test était estimée faible par le dispositif), le test était stoppé puis un nouveau était initié après une pause. Chaque test durait entre 5 et 7 min.

Avant la mesure des CV, chaque participant bénéficiait d'un bilan ophtalmologique sans dilatation de la pupille qui comportait la mesure de l'acuité visuelle avec réfraction (acuité pour la vision de près et de loin), la mesure de la pression intra-oculaire, un examen de l'œil à la lampe à fente et de la réfraction oculaire ainsi qu'un examen de la microstructure de la rétine (analyse papillaire et maculaire) par tomographie à cohérence optique (Cirrus HD-OCT model 4000, Zeiss Meditec, Inc). En cas de suspicion ou de diagnostic de problème oculaire, les données du participant concerné étaient écartées de l'analyse statistique et le participant était pris en charge par le service d'ophtalmologie du CHU.

Analyse des données

Comme le décibel est une unité relative et logarithmique, les seuils de sensibilités mesurés ont été transformés en candela par mètre carré (cd.m^2) afin d'éviter tous biais dans les calculs mathématiques et analyses statistiques. Chaque CV a été divisé en 4 cadrans (i.e., supérieur, inférieur, temporal et nasal) et les analyses statistiques ont été conduites uniquement sur les cadrans supérieurs et inférieurs du CV.

Le champ visuel étant particulièrement sensible à l'âge (Coeckelbergh, Cornelissen, Brouwer, & Kooijman, 2004), l'âge des participants a été intégré à l'analyse statistique comme covariable. Nous avons donc conduit une ANCOVA sur les seuils de sensibilité aux contrastes de luminance fovéolaire entre entendants non-signeurs et entendants signeurs avec l'âge des participants en covariable. Pour le CV 30-2 ; dans le but de tester l'hypothèse de la plasticité fonctionnelle du CV dans l'espace de signation, nous avons regroupé les excentricités visuelles ($3^\circ, 9^\circ, 15^\circ$ ensemble et $21^\circ, 27^\circ$ ensemble). Nous avons donc conduit une ANCOVA sur les seuils de sensibilité aux contrastes de luminance avec le champ visuel

(i.e., champ visuel supérieur et champ visuel inférieur) et l'excentricité visuelle (i.e., [3; 15] et [21; 27]) comme variable intra-sujet, le groupe (entendants signeurs vs entendants non-signeurs) comme variable inter-sujet et l'âge des participants comme covariable. Les données des yeux gauche et droit ont été comparées (avec des tests t) avant d'être moyennées pour chaque participant. Enfin, afin d'avoir une compréhension rapide et facile des résultats, les données ont été retransformées en décibels pour la réalisation des graphiques.

Résultats

Les données d'un participant ont été exclues de l'analyse parce en raison d'une séquelle sur la rétine pouvant éventuellement biaiser les résultats. Les données des yeux gauche et droit n'étaient pas significativement différentes (tous les $p > 0.05$) et les deux groupes n'étaient pas significativement différents en termes d'âge, $t(32) = 0.59$, $p = 0.56$.

Seuil fovéolaire. L'analyse statistique ne révèle pas de différence significative de seuil entre les entendants signeurs et les non-signeurs, $F(1,31) = 0.07$, $p = 0.79$, $\eta^2_p = 0.002$. Comme attendu, la sensibilité fovéolaire est significativement liée à l'âge du participant, $F(1,28) = 7.57$, $p = 0.001$, $\eta^2_p = 0.20$. Plus le participant est âgé, plus le seuil fovéolaire est faible, $r = -0.44$, $p = 0.009$. Voir tableau 2.4.

Tableau 2.4

Seuil de sensibilité aux contrastes de luminance fovéolaire (en décibel).

	<i>Seuil fovéolaire</i>	
	<i>M</i>	<i>Err. Stand.</i>
Signeurs	37.61	0.27
Non-signeurs	37.42	0.47

Champ Visuel 30-2. L'ANCOVA ne révèle pas d'effet principal significatif du groupe, $F(1,31) = 1.42$, $p = 0.24$, $\eta^2_p = 0.04$. Mais l'analyse révèle un effet principal du CV, $F(1,31) = 7.82$, $p = 0.009$, $\eta^2_p = 0.20$, avec des seuils plus élevés dans le CV inférieur, ainsi qu'un effet principal de l'excentricité visuelle, $F(1,31) = 87.45$, $p < 0.0001$, $\eta^2_p = 0.74$, avec des seuils plus

élevés entre 3° et 15° que entre 21° et 27°. Il y a également un effet d'interaction significatif entre le groupe et l'excentricité visuelle, $F(1,31) = 6.04$, $p = 0.019$, $\eta^2_p = 0.19$, suggérant que la différence entre entendants signeurs et non-signeurs n'est pas la même selon l'excentricité visuelle. Dans le CV supérieur, on ne retrouve pas d'interaction significative entre le groupe et l'excentricité visuelle, $F(1,31) = 2.60$, $p = 0.12$, $\eta^2_p = 0.08$, suggérant que quelle que soit l'excentricité visuelle, signeurs et non-signeurs ont des seuils comparables. Au contraire, dans le CV inférieur l'interaction groupe x excentricité visuelle est significative, $F(1,31) = 6.32$, $p = 0.017$, $\eta^2_p = 0.17$. L'analyse des effets simples montre que les entendants signeurs ont un seuil de sensibilité à la luminance supérieur aux non-signeurs entre 3° et 15°, $F(1,31) = 4.44$, $p = 0.04$, $\eta^2_p = 0.13$, mais pas entre 20° et 27°, $F(1,31) = 0.003$, $p = 0.95$, $\eta^2_p < 0.001$. L'ensemble des résultats suggèrent donc que les entendants signeurs possèdent des seuils de sensibilité à la luminance plus élevés que ceux des non-signeurs uniquement dans le CV inférieur entre 3° et 15° d'excentricité visuelle, c'est-à-dire dans l'espace de signation (voir figure 2.26). Les détails des seuils pour toutes les excentricités testées sont reportés dans les tableaux 2.5 et 2.6. De plus, les corrélations partielles en contrôlant l'effet de l'âge entre les seuils de l'espace de signation (i.e., 3°, 9° et 15°) et la fréquence de pratique de la langue des signes et l'âge d'apprentissage de la langue des signes ne sont pas significatives (tous les $p > 0.3$).

Tableau 2.5

Seuil de sensibilité aux contrastes de luminance dans le CV supérieur (en décibel). Les erreurs standard à la moyenne sont reportées entre parenthèses.

	<i>Champ Visuel Supérieur</i>				
	3°	9°	15°	21°	27°
Signeurs	33.83 (0.23)	32.38 (0.25)	30.33 (0.27)	27.71 (0.30)	26.16 (0.42)
Non-signeurs	33.43 (0.25)	32.05 (0.27)	30.24 (0.29)	27.99 (0.31)	26.45 (0.45)

Tableau 2.6

Seuil de sensibilité aux contrastes de luminance dans le CV inférieur (en décibel). Les erreurs standard à la moyenne sont reportées entre parenthèses.

	<i>Champ Visuel Inférieur</i>				
	3°	9°	15°	21°	27°
Signeurs	34.06 (0.23)	33.62 (0.22)	32.20 (0.25)	30.80 (0.33)	29.51 (0.31)
Non-signeurs	33.51 (0.24)	32.91 (0.24)	31.54 (0.26)	30.88 (0.35)	29.25 (0.33)

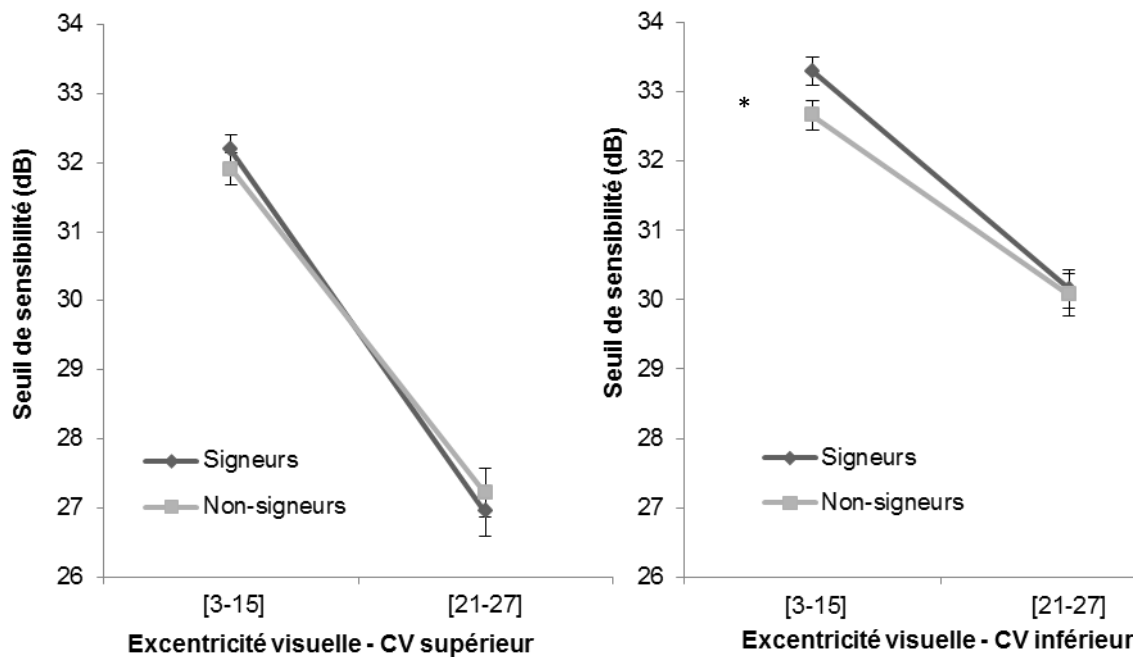


Figure 2.26. Seuils de sensibilité aux contrastes de luminance moyens (en dB) dans le champ visuel supérieur et inférieur chez les entendants signeurs et non-signeurs. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard à la moyenne.

Discussion

Le but de cette étude était de comparer la sensibilité du CV aux contrastes de luminance des entendants signeurs et des entendants non-signeurs. Plus particulièrement, nous avons testé si la sollicitation de l'espace visuel inférieur nécessaire dans la communication signée peut induire une hausse de sensibilité visuelle spécifiquement dans cette zone appelée espace de signation (i.e., entre 3 et 15° dans le CV inférieur). La sensibilité du CV a été mesurée par la périmétrie automatique et statique de Humphrey. Le test de périmétrie 30-2 utilisé étudie le CV entre 3° et 27° ainsi que la sensibilité aux contrastes de luminance au niveau de la fovéa.

Au niveau de la fovéa les deux groupes ne présentaient pas de différence significative dans les seuils de sensibilité aux contrastes de luminance. Dans le 30-2, les signeurs présentaient des seuils significativement plus élevés que les entendants non-signeurs uniquement dans l'espace de signation (i.e., CV inférieur entre 3 et 15°). Au-delà de 15° d'excentricité visuelle dans le CV inférieur ou dans le CV supérieur (quelle que soit

l'excentricité), les seuils de sensibilité aux contrastes de luminance des signeurs et des non-signeurs n'étaient pas différents. Il semblerait donc que la pratique de la langue des signes induit une plasticité fonctionnelle du CV dans l'espace de signation en augmentant le seuil de sensibilité. De plus, il est intéressant de noter que la sensibilité au contraste de luminance des signeurs ne semble pas liée à l'âge d'apprentissage ou à la fréquence de pratique de la langue des signes puisqu'aucune corrélation significative entre ces variables n'a été observée. L'augmentation des seuils pourrait alors se faire progressivement au cours de l'apprentissage de la langue des signes jusqu'à ce que la personne ait atteint un niveau de fluence élevé. Pour vérifier cette hypothèse, il faudrait réaliser une étude longitudinale avec des personnes débutant la langue des signes et tester régulièrement leurs seuils au cours de leur apprentissage. Par exemple, il existe aux USA des cursus universitaires formant des interprètes où les étudiants pratiquent l'ASL quasi quotidiennement pendant plusieurs heures sur une période de 8 à 10 semestres. Ces étudiants constitueraient une cohorte idéale à tester.

À notre connaissance, il n'y a qu'une seule autre étude observant une modulation de la cognition visuelle chez les signeurs spécifiquement dans l'espace visuel inférieur (Dye et al., 2015). Dans cette étude les auteurs ont testé les performances de 4 groupes (i.e., sourds signeurs natifs, sourds non-signeurs, entendants signeurs natifs et entendants non-signeurs) dans une tâche de *Useful Field of View (UFOV)*. Cette tâche permet de tester les capacités visuelles de traitement simultané d'une information dans le CV central (i.e., discrimination de cible) et une information dans le CV périphérique (i.e., localisation de cible à 20° d'excentricité visuelle). Dans l'étude de 2015, Dye et al. se sont intéressés aux erreurs dans la tâche de localisation de cible périphérique et plus particulièrement à la distribution de ces erreurs entre le CV supérieur et le CV inférieur. Une erreur de CV inférieur a été définie comme « localiser la cible dans le CV supérieur alors qu'elle est apparue dans le CV inférieur » et réciproquement une erreur de type CV supérieur a été définie comme « localiser la cible dans le CV inférieur alors qu'elle est apparue dans le CV supérieur » (voir figure 2.27). Ainsi ils ont constaté que les personnes fluentes en ASL (entendantes ou sourdes) faisaient moins d'erreurs que les non-signeurs (entendants ou sourds) de type CV supérieur. Les auteurs interprètent ces résultats comme étant le reflet d'un biais attentionnel bénéficiant au CV inférieur. En effet, selon eux, les signeurs seraient plus

confiants en leurs capacités à correctement percevoir les scènes dans leur CV inférieur et donc en cas de doute sur la localisation d'une cible ils seraient plus à même de choisir l'hémi-champ visuel dans lequel ils sont le moins à l'aise- c'est-à-dire le CV supérieur. Les résultats de cette étude combinés aux nôtres laissent supposer que contrairement à ce qui a longtemps été suggéré par la littérature (voir partie théorique de ce chapitre), la pratique de la langue des signes affecterait également la cognition visuelle périphérique, mais uniquement dans l'espace de signation. En effet, la majorité des études a considéré le CV périphérique comme un tout sans systématiquement dissocier les performances des différents hémichamps visuels et notamment les hémichamps verticaux (voir introduction théorique de cette section pour plus de détails sur ces études). Or notre étude et celle de Dye et al. (2015) illustrent bien l'importance à considérer les performances dans l'espace visuel inférieur indépendamment des performances dans l'espace visuel supérieur.

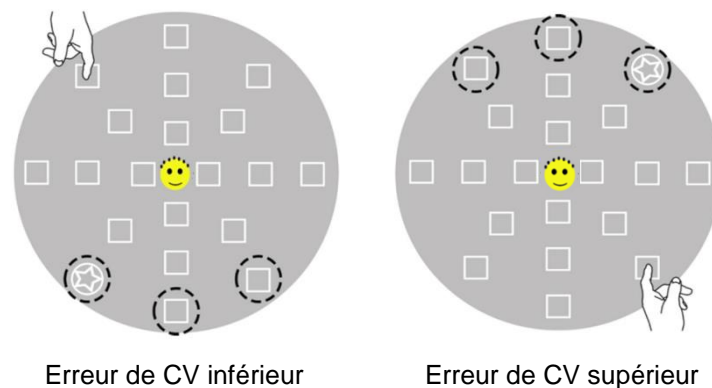


Figure 2.27 : Illustration des erreurs de CV inférieur et de CV supérieur dans la tâche du *Useful Field of View*, Dye et al (2015).

La sensibilité du CV pourrait être influencée par des contraintes perceptives de l'individu et cela même lorsque ces contraintes sont présentes à l'âge adulte. En effet, tout comme la majorité des signeurs de notre étude, les joueurs de jeux vidéo de l'étude de Buckley et al. (2010) peuvent être considérés comme ayant bénéficié d'une plasticité fonctionnelle suite à un « apprentissage » tardif ; et bien que nous n'ayons pas utilisé la même méthode d'analyse du CV qu'avec les joueurs de jeux vidéo, nous avons également observé que la pratique d'une activité impliquant des contraintes visuo-motrices pouvait être source de plasticité du CV. Il serait intéressant d'étudier l'effet d'une activité motrice visuellement contraignante sur le CV auprès d'une autre population et cela indépendamment de l'aspect

linguistique inhérent à la langue des signes. Les sports de combat comme la boxe, le bando ou les arts martiaux partagent de nombreuses similarités avec la langue des signes. Pour être efficace lors d'un combat il faut, tout comme en langue des signes, fixer le visage de son adversaire tout en étant attentif à l'espace périphérique inférieur pour suivre les mouvements et essayer d'anticiper les coups de l'adversaire provenant des poings (voir figure 2.28). Il pourrait donc être pertinent d'étudier une population de boxeurs de bon ou de haut niveau sur le même paradigme expérimental que les signeurs afin de tester s'il existe également une plasticité fonctionnelle du CV inférieur.

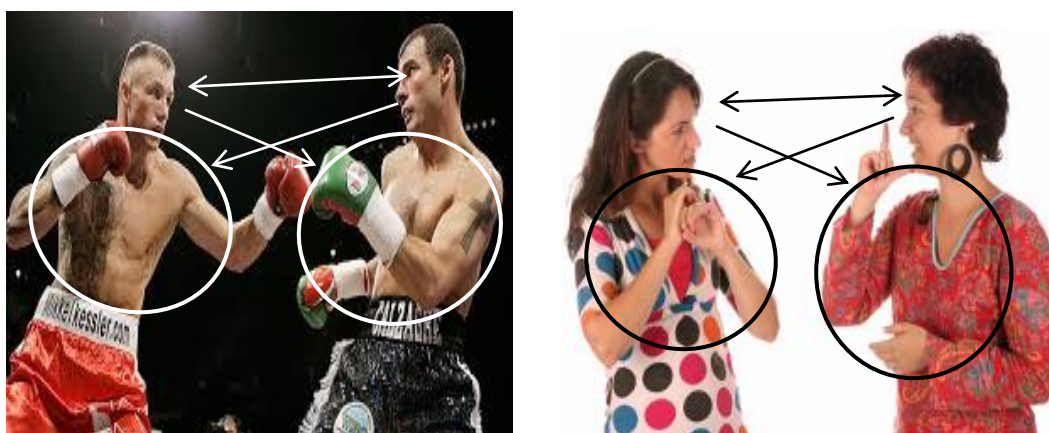


Figure 2.28 : Illustration de la double contrainte visuelle que partagent un combat de boxe et une communication en langue des signes. Dans les deux situations il faut à la fois fixer le visage de son adversaire ou interlocuteur tout en étant attentif aux mouvements des bras pour anticiper les coups perçus ou les gestes de langage.

Notre étude comporte quelques limites qu'il est important de souligner. Premièrement, l'effectif de la population testée est relativement restreint ($n= 18$ entendants signeurs) obligeant à interpréter les résultats avec précaution. De plus, le groupe d'entendants signeurs est très hétérogène quant à l'âge d'apprentissage de la LSF et quant à sa fréquence de pratique. Cette hétérogénéité est une potentielle source de variabilité bien que aucune corrélation avec le temps de pratique ou l'âge d'apprentissage n'ait été observée, que les variances étaient homogènes ou qu'aucun participant n'ait été considéré comme ayant des données déviantes. Enfin, il aurait été très pertinent d'ajouter à cette étude un groupe de sourds signeurs afin de répliquer les résultats de Buckley et al. (2010) avec la périmétrie statique de Humphrey et également de tester si surdité précoce et pratique de la langue des signes peuvent avoir des effets différents sur l'augmentation des seuils de sensibilité dans le

CV. En effet, il est tout à fait concevable que l'extension du CV chez les sourds ne se restreigne pas à l'espace de signation puisque l'absence d'informations auditives dans leur environnement (servant fréquemment de signal d'alerte) les oblige en quelque sorte à avoir une conscience visuelle de leur environnement et donc à dépendre davantage que les entendants des informations fournies par le champ visuel périphérique à la fois dans l'espace inférieur et supérieur. Malheureusement des contraintes temporelles, financières et d'accès à la population sourde ne nous ont pas permis de pouvoir constituer ce groupe expérimental de sourds signeurs.

Deuxième partie : étude du champ visuel entre 30 et 50°

Cette deuxième partie a pour but de compléter les résultats observés précédemment en comparant la sensibilité aux contrastes de luminances entre les deux groupes expérimentaux à des excentricités visuelles plus importantes.

Méthode

Matériel et procédure

Après le CV 30-2, les participants réalisaient un CV 60-4. Ce test détermine, avec la même méthodologie que le 30-2, les seuils de 68 points situés entre 30 et 60° d'excentricité visuelle (i.e., 30°, 40° et 50°). Mais contrairement au 30-2, l'intensité lumineuse de la cible autour de l'intensité seuil ne varie pas selon un pas de 2dB, mais de 4dB, rendant l'estimation du seuil moins précise.

Analyse des données

Tout comme pour le 30-2, les seuils de sensibilités mesurés ont été transformés en candela par mètre carré (cad.m²). Puisque nous n'avons pas d'hypothèse sur une zone, nous avons conservé la division du CV avec les 4 cadrans classiques (i.e., nasal supérieur, nasal inférieur, temporal supérieur et temporal inférieur).

A partir de 40° d'excentricité visuelle, si la tête n'est pas parfaitement alignée avec le centre de la machine ou si le participant bouge légèrement la tête pendant le test, il est possible que les mesures soient bruitées par les limites anatomiques du visage. En effet, la mesure dans les cadrans nasaux peut être très rapidement altérée par l'arête du nez (d'autant plus si le nez est long ou large) et les cadrans supérieurs par l'arcade sourcilière ou la paupière (d'autant plus si l'arcade est prononcée ou la paupière tombante). Une illustration de ces différents cas est à retrouver figure 2.32. Afin d'éviter d'analyser du bruit, nous avons décidé dans un premier temps de retirer les cadrans bruités des CV pour chaque participant puis de conduire l'analyse statistique sur les cadrans restants. Face au nombre important de cadrans retirés ainsi que face à la grande variabilité du nombre de cadrans restants entre les participants, nous avons finalement décidé d'opter pour une méthode plus conservatrice, mais n'entraînant aucune variabilité en conservant uniquement le cadran temporal inférieur pour l'analyse statistique. En effet, ce cadran est le seul à ne pas être susceptible d'être bruité par les contraintes anatomiques du participant.

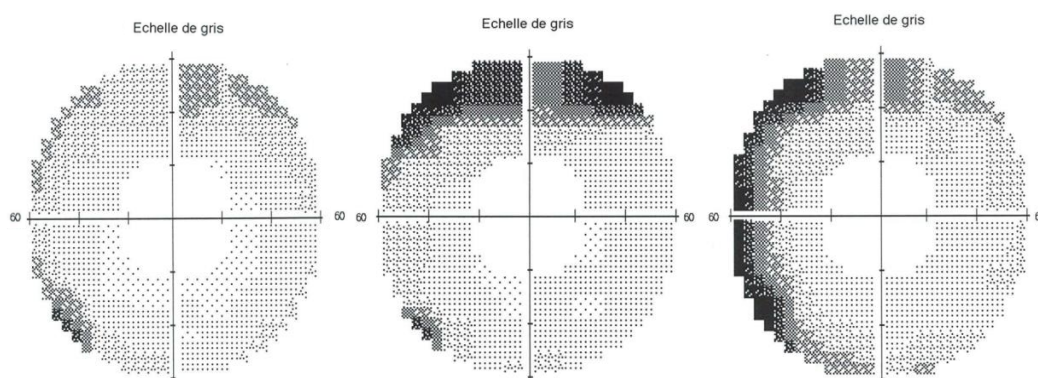


Figure 2.32 : Champs visuel 60-4 de l'œil droit. Plus le niveau de gris est prononcé, plus la mesure est bruitée. Le CV de gauche est un CV quasiment parfait dont les données sont exploitables. Au contraire, le CV du milieu est bruité dans les cadrans supérieurs à cause d'une arcade sourcilière prononcée et le CV de droite est bruité dans les cadrans nasaux à cause de l'arête du nez. Les données des cadrans bruités ne peuvent par conséquent pas être exploitées.

Nous avons donc conduit une ANCOVA sur les seuils de sensibilité aux contrastes de luminance dans le cadran temporal inférieur avec l'excentricité visuelle (i.e., 30°, 40°, 50°) comme variable intra-sujet, le groupe (i.e., entendants signeurs vs entendants non-signeurs) comme variable inter-sujet et l'âge des participants en covariable. Les données des yeux gauche et droit ont été comparées (avec des tests t) avant d'être moyennées pour chaque

participant. Enfin, avoir d'avoir une compréhension rapide et facile des résultats, les données ont été retransformées en décibels pour la réalisation des graphiques.

Résultats

Les données de deux participants du groupe des entendants signeurs ont été exclues des analyses statistiques car elles étaient considérées comme déviantes par la méthode des résidus supprimés studentisés (Belsley, Kuh, & Welsch, 2005). L'analyse des données a donc été conduite avec 15 entendants signeurs et 16 entendants non-signeurs.

L'ANCOVA révèle un effet principal du groupe avec des seuils plus élevés chez les signeurs que les non-signeurs, $F(1,28) = 5.73$, $p = 0.023$, $\eta^2_p = 0.17$, ainsi qu'un effet principal de l'excentricité, $F(2,56) = 48.67$, $p < 0.0001$, $\eta^2_p = 0.63$, avec des seuils baissant avec l'excentricité. L'interaction entre le groupe et l'excentricité visuelle est non-significative, $F(2,56) = 1.56$, $p = 0.22$, $\eta^2_p = 0.05$. On observe enfin un effet de l'âge, $F(1,28) = 6.79$, $p = 0.014$, $\eta^2_p = 0.19$, avec une corrélation négative entre l'âge de la personne et la valeur du seuil, $r = -0.38$, $p = 0.034$ (figure 2.33).

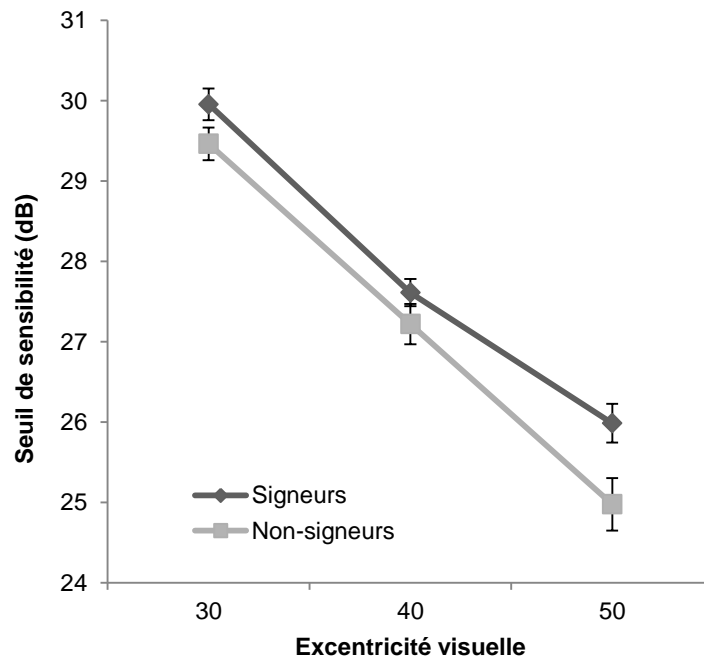


Figure 2.33 : Seuils de sensibilité aux contrastes de luminance moyens (en dB) dans le cadran temporel inférieur chez les entendants signeurs et non-signeurs entre 30 et 50 degrés d'excentricité visuelle. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard à la moyenne.

Discussion

La deuxième partie de cette étude avait pour but d'explorer la sensibilité aux contrastes de luminances d'entendants signeurs et non-signeurs dans une partie du CV périphérique située 30 et 50 degrés d'excentricité visuelle. À cause du bruit expérimental lié aux contraintes anatomiques telles que l'arête du nez, la paupière ou encore l'arcade sourcilière, seules les données du cadran temporal inférieur ont été analysées. L'analyse révèle que les signeurs semblent avoir des seuils de sensibilités plus élevés que les non-signeurs.

Compte tenu des résultats observés dans la première partie avec le CV 30-2, les résultats de cette troisième partie sont surprenants. En effet, alors qu'entre 20 et 27 degrés d'excentricité visuelle signeurs et non-signeurs possédaient des seuils de sensibilité comparables, les signeurs possédaient des seuils plus élevés que les non-signeurs entre 30 et 50 degrés. D'un point de vue théorique, ce contraste de résultats est difficilement explicable, mais pourrait davantage s'expliquer d'un point de vue expérimental/méthodologique. D'une part ces résultats sont uniquement basés sur 1/4 des données recueillies puisque nous avons jugé que les 3/4 restants étaient susceptibles d'être trop bruitées pour être analysées et interprétées. Bien que cela nous a semblé nécessaire, retirer 75% des données de l'analyse statistique n'est pas forcément une solution correcte. De plus, la différence significative observée entre les deux groupes dans le 60-4 est d'environ 0.63 dB soit une différence similaire à celle observée dans le 30-2 ($\Delta\text{dB} \approx 0.64$), or l'estimation des seuils de sensibilité du 60-4 est deux fois moins précise que celle du 30-2. Il ne semble donc pas pertinent d'interpréter ces différences de façon similaire. En effet, il est tout à fait possible que la différence significative observée dans le 60-4 ne soit due à la moindre précision de la mesure. Nous émettons donc des réserves quant aux résultats du CV 60-4, c'est pour cela qu'ils ne seront pas considérés ou discutés plus en détails dans ce travail de thèse.

Troisième partie : Observation de la micro-structure de la rétine

L'étude de Codina et al. (2011) a observé des changements dans la structure rétinienne des personnes sourdes en utilisant l'OCT. Nous avons décidé de réaliser une étude exploratoire complémentaire à la précédente sur microstructure de la rétine de nos participants entendants signeurs et non-signeurs.

Méthode

Matériel et procédure

Lors de l'examen ophtalmologique réalisé avant les tests de CV, les participants passaient un OCT de la macula et un OCT de la papille optique. L'OCT est une technique d'imagerie reposant sur l'interférence des rayons de photons envoyés par la machine au travers de l'œil permettant d'acquérir des coupes anatomiques de la structure et de l'épaisseur de la rétine au niveau de la macula de l'ordre de 5 à 10 μm de précision. Chaque OCT était monoculaire sans dilatation préalable de la pupille (un OCT papillaire et un OCT maculaire sont reportés en annexe I et II)

Analyse des données

OCT maculaire. L'OCT maculaire mesure l'épaisseur moyenne des corps cellulaires ganglionnaires (GCL) de 6 cadrans (i.e., temporal supérieur, supérieur, nasal supérieur, nasal inférieur, inférieur et temporal inférieur). Plus la macula est épaisse, plus elle est composée d'un grand nombre de cellules rétiennes. Pour l'analyse statistique les 3 cadrans supérieurs ont été moyennés, idem pour les 3 cadrans inférieurs. Une ANOVA à mesures répétée a donc été utilisée avec le CV (i.e., supérieur, inférieur) comme variable intra-sujet et le groupe (i.e., entendants signeurs vs entendants non-signeurs) comme variable inter-sujet. Pour le groupe des signeurs, les corrélations entre les mesures d'OCT (papillaire et maculaire) et leurs caractéristiques de pratique de la LSF (i.e., âge d'apprentissage, année de pratique et fréquence de pratique) ont également été testées.

OCT papillaire. L'OCT papillaire mesure l'épaisseur moyenne de la couche des fibres optiques (RNFL) de la papille optique de 4 cadrans (i.e., supérieur, inférieur, nasal et temporal). Plus la couche de fibres optiques est épaisse, plus les fibres sont composées d'un nombre important de cellules rétinienne. Comme pour l'analyse des champs visuels, seuls les cadrans supérieurs et inférieurs ont été inclus dans l'analyse statistique. Une ANOVA à mesures répétées a donc été utilisée avec le cadran (i.e., supérieur, inférieur) comme variable intra-sujet et le groupe (i.e., entendants signeurs vs entendants non-signeurs) comme variable inter-sujet.

Résultats

OCT maculaire. L'ANOVA à mesures répétées ne révèle ni d'effet principal du groupe, $F(1,31) = 0.004$, $p = 0.95$, $\eta^2_p < 0.001$, ni d'effet principal du CV, $F(1,31) = 1.22$, $p = 0.28$, $\eta^2_p = 0.037$. Un effet d'interaction entre le cadran et le groupe est observé, $F(1,31) = 5.28$, $p = 0.028$, $\eta^2_p = 0.14$. Plus précisément, les entendants non-signeurs présentent une asymétrie entre l'épaisseur du cadran supérieur de la macula et l'épaisseur du cadran inférieur, $F(1,31) = 5.46$, $p = 0.026$, $\eta^2_p = 0.15$, avec la partie supérieure plus épaisse. Cette asymétrie n'est pas observée chez les entendants signeurs, $F(1, 1) = 0.76$, $p = 0.39$, $\eta^2_p = 0.02$. Voir figure 2.29. De manière intéressante, cette asymétrie entre la partie inférieure et supérieure de la macula est significativement corrélée avec la fréquence de pratique hebdomadaire de la LSF, $r = -0.50$, $p = 0.002$. Plus la fréquence de pratique de la LSF est élevée, plus l'asymétrie entre la partie inférieure et supérieure de la macula est faible (figure 2.30). Aucune autre corrélation significative n'est observée (tous les $p > 0.05$).

OCT papillaire. L'ANOVA à mesures répétées ne révèle ni effet principal du groupe, $F(1,31) = 0.27$, $p = 0.61$, $\eta^2_p = 0.008$, ni d'effet principal du cadran, $F(1,31) = 0.65$, $p = 0.43$, $\eta^2_p = 0.02$, ni d'effet d'interaction entre les deux variables, $F(1,31) = 0.73$, $p = 0.40$, $\eta^2_p = 0.02$. De plus, aucune corrélation significative n'est observée entre l'épaisseur de la couche des fibres optiques et la pratique de la LSF (tous les $p > 0.05$).

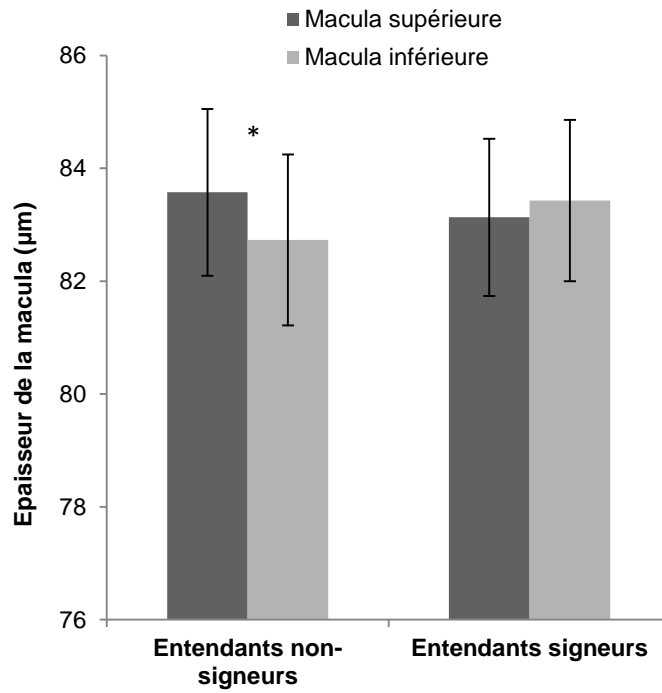


Figure 2.29 : Epaisseur moyenne de la partie supérieure et inférieure de la macula (en μm) chez les entendants non-signeurs et les entendants signeurs. Les barres d'erreurs représentent les erreurs standard à la moyenne.

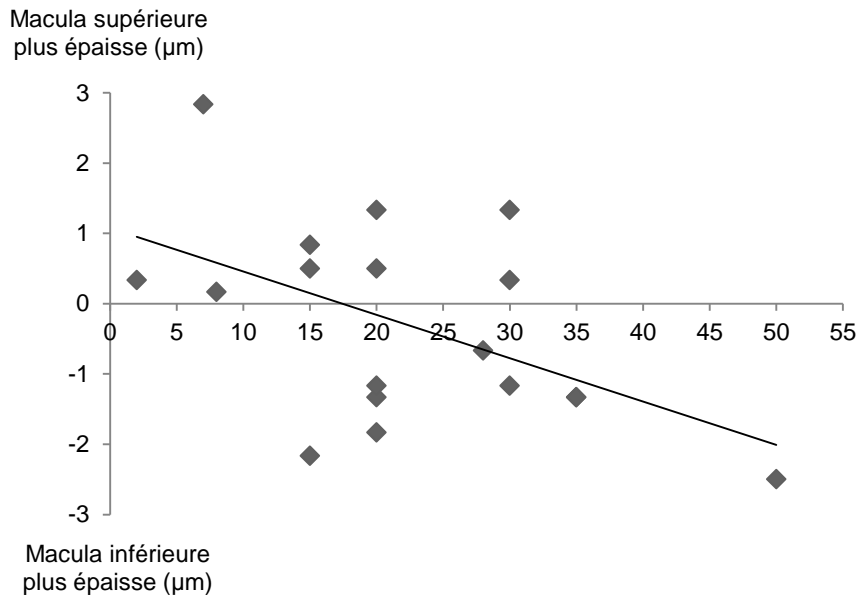


Figure 2.30 : Corrélation entre la fréquence de pratique de la LSF (h/semaine) et la différence d'épaisseur entre la partie supérieure et inférieure de la macula. $R^2=0.25$.

Discussion

Le but de cette étude exploratoire était de comparer la structure de la rétine des personnes entendant signées à celles des personnes entendant non-signées. En effet, une précédente étude avait observé une réorganisation rétinienne chez les personnes sourdes au niveau, notamment, de la tête du nerf optique (i.e., fibres nerveuses rétiniennes péripapillaires et anneau neuro-rétinien) avec également des corrélations positives entre ces régions particulières de la tête du nerf optique et la sensibilité du CV périphérique (Codina et al., 2011). Dans notre étude aucune différence significative entre signés et non-signés n'a été observée au niveau de la tête du nerf optique, suggérant que la plasticité du système visuel périphérique observé par Codina et al. (2011) semble davantage due à la surdité précoce qu'à la pratique de la langue des signes. On ne pourra cependant pas statuer clairement sur cette dernière hypothèse sans avoir testé l'effet de l'apprentissage précoce de la langue des signes auprès d'un groupe de CODAs.

Par contre, nous avons observé des différences intéressantes au niveau de la macula et notamment dans la distribution des cellules ganglionnaires entre la partie inférieure et supérieure. La macula est située au centre de la rétine et entoure la fovéa. Avec un diamètre d'environ 5.5 mm, elle est responsable de la perception d'une portion du CV située entre 5 et 18 degrés (figure 2.31).

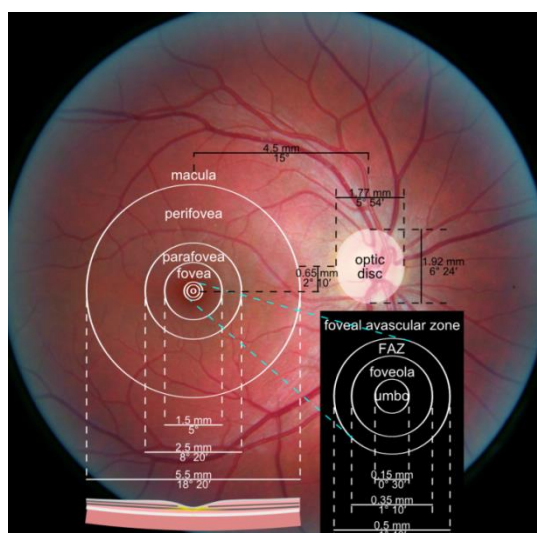


Figure 2.31 : photographie de rétine de l'œil droit avec ses différentes régions et tailles respectives.

Dans notre étude et comme observé auprès d'autres populations contrôles (Chan, Duker, Ko, Fujimoto, & Schuman, 2006; Ooto et al., 2010), les entendants non-signeurs possédaient une couche de cellules ganglionnaires plus épaisse dans la partie supérieure de la macula par rapport à la partie inférieure. Cette asymétrie n'a cependant pas été observée chez les entendants signeurs qui possédaient une couche de cellules ganglionnaires aussi épaisse dans sa partie inférieure que supérieure. De plus chez les signeurs, la différence entre l'épaisseur de la partie supérieure et inférieure de la macula semble en partie liée à la fréquence hebdomadaire de pratique de la langue des signes puisque plus une personne pratiquait fréquemment la langue des signes, plus la différence entre partie supérieure et inférieure se réduisait allant même jusqu'à une inversion de l'asymétrie (partie inférieure plus épaisse que la partie supérieure) pour les très hautes fréquences de pratique. De manière intéressante, aucune de nos mesures sur la microstructure de la rétine ne corrèle avec l'âge d'apprentissage de la LSF et les 3 CODAs testés dans l'étude ne présentaient pas de patterns rétinien particuliers. Ces résultats suggèrent que la pratique de la langue des signes induirait une plasticité du système visuel périphérique avec une modification de la répartition des cellules ganglionnaires de la macula. De plus le facteur déterminant de cette plasticité serait davantage la fréquence de pratique de la LSF que son âge d'acquisition.

Ces observations sont surprenantes et nécessitent d'être interprétées avec précautions. En effet, plusieurs points théoriques ou limites expérimentales doivent être pris en compte. Tout d'abord d'un point de vue anatomique, la rétine n'est pas totalement mature à la naissance et continue son développement jusqu'à sa forme terminale vers 4 ans (Hendrickson & Yuodelis, 1984; Yuodelis & Hendrickson, 1986). Si notre échantillon avait été entièrement constitué de CODA, il aurait été possible de penser que l'expérience précoce et l'apprentissage d'une langue sollicitant le système visuel influenceraient la maturation de la rétine en modulant les zones indispensables à cette communication visuelle. Or les entendants signeurs que nous avons testés ont pour la plupart appris la langue des signes une fois adultes (14 sur 17), c'est-à-dire bien après que la rétine ait terminé sa maturation, l'hypothèse de la plasticité précoce de la rétine ne peut donc pas être considérée. Il y aurait alors une plasticité du système visuel périphérique suite à un apprentissage tardif. À l'heure actuelle, une telle plasticité rétinienne ne semble pas documentée dans la littérature scientifique. Ces données sont à prendre avec précautions compte tenu du faible échantillon

de personnes testées. En effet, notre corrélation repose uniquement sur 17 observations et bien qu'elle soit significative il faut l'interpréter avec parcimonie. Il est nécessaire de tester davantage d'entendants signeurs pour confirmer ou non ces premiers résultats et pour pouvoir conclure sur une base de données plus solides. Si les observations sont confirmées sur un échantillon plus important, elles seront alors inédites et pourraient représenter une découverte intéressante dans la compréhension des répercussions de la pratique de la langue des signes sur le système visuel.

Discussion générale de l'étude 1

L'étude du CV et de l'exploration de la structure de la rétine et particulièrement de la macula des entendants signeurs fournit de nouvelles informations sur l'impact de la pratique de la langue des signes dans la plasticité visuelle. Nous avons observé une hausse des seuils de sensibilités aux contrastes de luminance ainsi qu'une couche de cellules ganglionnaires plus épaisse dans la macula chez les signeurs par rapport aux non-signeurs. Ces différences ont été observées uniquement dans le champ visuel inférieur entre 3° et 15° d'excentricité visuelle ainsi que la partie inférieure de la macula qui recouvre la zone du CV entre 5° et 18° d'excentricité visuelle. Néanmoins, nous n'avons pas observé de corrélation entre les valeurs de seuils du CV et les épaisseurs de la couche de cellules ganglionnaires de la macula. Les modifications liées à la pratique de la langue des signes s'observent donc dans un espace très particulier correspondant à l'espace de perception et de production des gestes de paroles en langue des signes (i.e., espace de signation). Il y aurait donc une plasticité du traitement visuel hautement spécifique liée aux contraintes perceptives inhérentes à la pratique de la langue des signes.

Outre les limites expérimentales développées dans les discussions de chaque partie expérimentale précédente, il est intéressant de réfléchir aux diverses implications que pourraient avoir nos résultats dans une perspective plus clinique. En effet, il serait possible d'envisager de la remédiation ou de la prévention de certaines pathologies visuelles par la pratique de la langue des signes. Comme un apprentissage impliquant des contraintes visuo-motrices, même tardif, semble être source de plasticité visuelle, il serait peut-être possible

de réduire les symptômes ou l'évolution de certaines affections de la rétine ou du CV (e.g., le glaucome) avec un tel apprentissage. Dans la même idée, avec ses travaux sur l'impact des jeux vidéo d'action dans les mécanismes d'attention et de perception visuelle, l'équipe de recherche de Bavelier explore les possibles bénéfices de ces mêmes jeux vidéo sur des populations cliniques comme par exemple des personnes atteintes d'amblyopies (Vedamurthy et al., 2015, 2016). La pratique de la langue des signes pourrait alors aussi être un outil clinique pour les affections du CV.

Pour conclure, la sensibilité aux contrastes de luminance testée dans notre étude peut être qualifiée de capacité visuelle de bas niveau, c'est-à-dire une capacité visuelle relativement basique et très peu coûteuse en ressources cognitives. Or la langue des signes sollicite des processus allant bien au-delà de cette vision de bas niveau en impliquant des processus de traitement du mouvement (i.e., gestuelle du signeur), de discrimination de forme (i.e., configuration de la main) ou encore d'attention visuelle sélective et divisée. Les études suivantes de ce travail de thèse tentent d'étudier certains de ces autres processus avec notamment les capacités de perception et de discrimination dans le grand champ visuel périphérique ainsi que l'allocation spatiale de l'attention visuelle à la fois auprès d'une population sourde signeuse et d'une population d'entendants signeurs.

Etude 2 : Détection et discrimination de cibles dans le champ visuel périphérique chez les sourds et les signeurs

Abstract

Studies on deaf signers frequently report enhancements in deaf on peripheral visual processing but visual eccentricities beyond 15° have rarely been explored. With a detection and discrimination we assessed deaf signers, hearing signers and hearing non-signers exogenous attention and endogenous attention between 15 and 53 degrees of visual eccentricity. We also compared performances between lower and upper visual field to test if the use of sign language can modulate typical vertical perceptual asymmetry. In the detection task deaf signers were faster than both hearing groups in all eccentricities and visual field location suggesting faster reactivity across peripheral eccentricities. In the discrimination task, deaf and hearing had similar response time and accuracy suggesting that faster reactivity in deaf to detect target does not extend for endogenous attentional task like shape discrimination. However, in the discrimination task hearing signers had greater visual field asymmetry than other groups with a lower visual field advantage. Altogether these results suggest that deafness is more likely to impact exogenous attention in the large peripheral visual field while sign language experience in hearing signers is more likely to increase visual field asymmetry in endogenous attentional task.

Problématique et hypothèses

Comme développé dans la partie théorique il n'existe pas de définition précise du champ visuel périphérique et les excentricités testées au-delà des 15° chez les sourds sont très lacunaires. Il y a donc que très peu d'informations concernant les capacités visuelles des personnes sourdes dans les grandes excentricités visuelles (voir tableau 2.2 de la partie théorique de ce chapitre). Or si la vision périphérique se développe pour compenser le manque des informations sonores habituellement utilisées pour construire une conscience de l'environnement, il semble important d'étudier les compétences des personnes sourdes à différentes excentricités visuelles et notamment au-delà de 15°. Le premier but de cette étude est donc d'étudier les capacités visuelles périphériques des personnes sourdes à des excentricités très peu étudiées et de tester si l'avantage des sourds signeurs pour la détection de cibles observé dans la « petite périphérie » sur les entendants (signeurs ou non-signeurs) s'observe également dans la plus grande périphérie. Le second but de cette étude est de tester l'impact de la pratique de la langue des signes sur les asymétries visuelles naturellement observées dans la population entendante non-signeuse est spécifiquement entre la partie supérieure et inférieure du champ visuel.

Dans cette étude, les participants ont réalisé deux tâches. La première était une simple tâche de détection de cible impliquant principalement l'attention exogène et peu de ressources cognitives. La seconde tâche était une tâche de discrimination de cible, c'est-à-dire une tâche nécessitant un engagement de l'attention endogène et donc davantage de ressources cognitives que dans la première tâche. La comparaison des résultats entre les deux tâches permet ainsi de mieux caractériser les éventuels effets de la surdité ou de la pratique de la langue des signes.

Première partie : détection de cibles

Méthode

Participants

Dix-neuf entendants non-signeurs, 16 entendants signeurs et, 20 sourds profonds précoces ont participé à cette étude. Aucun d'entre eux n'a rapporté avoir d'antécédents neurologiques, de troubles visuels non corrigés à la normale ou ne jouait aux jeux vidéo d'action. Chaque participant délivrait un consentement de participation écrit et était payé en échange de sa participation. L'étude a été approuvée par Le Comité d'Ethique pour les Recherches Non Interventionnelles (CERNI) du pôle Grenoble Cognition.

Les 19 entendants non-signeurs ($M_{\text{âge}} = 29.6$, $ET_{\text{âge}} = 8.6$, étendu = 20-45 ans) n'avaient aucune expérience avec une quelconque langue des signes. Ils ont été recrutés via une plateforme en ligne de recrutement pour la recherche en sciences cognitives dans la région de Grenoble.

Parmi 16 participants entendants signeurs ($M = 40.5$; $ET = 11.9$, étendu = 22-63 ans), une personne était née de parents sourds et avait par conséquent la LSF comme langue maternelle. Les 15 autres entendants signeurs avaient appris la LSF à l'âge adulte ($M_{\text{âge d'acquisition}} = 26.9$; $ET_{\text{âge d'acquisition}} = 9.8$, étendue = 16-50 ans) et signaient activement depuis 4 à 28 ans ($M_{\text{temps de pratique}} = 14.9$; $ET_{\text{temps de pratique}} = 6.25$) à une fréquence entre 7 et 50 heures par semaine ($M_{\text{fréquence de pratique}} = 23.1$; $ET_{\text{fréquence de pratique}} = 11.7$). Ils ont estimé leur niveau de LSF sur une échelle de 1 (Pas de connaissance en LSF) à 5 (Maîtrise parfaite de la LSF) à un niveau moyen de 4.7/5 ($ET_{\text{niveau LSF}} = 0.4$; étendu = 3.5-5). Les données individuelles pour chaque participant sont reportées tableau 2.7. Les personnes composant ce groupe étaient soit des interprètes français-LSF, soit des professionnels de santé formés en LSF de l'Unité d'accueil et de soins pour les sourds du CHU de Grenoble.

Les 20 participants sourds ($M_{\text{âge}} = 32.9$, $ET_{\text{âge}} = 8.2$, étendu = 20-49 ans) étaient atteints de surdité profonde (perte supérieure à 90 dB, rapportée par le participant sur questionnaire) depuis la naissance ou la première année de vie. Leur niveau moyen de LSF était de 4.05/5 ($ET_{\text{niveau LSF}} = 1.09$; étendu = 2-5). Les données individuelles pour chaque participant sont reportées tableau 2.8. Les instructions pour les tâches étaient données soit

à l'écrit, soit à l'oral soit en LSF par vidéo selon la préférence du participant. Les vidéos en LSF ont été réalisées par une interprète français-LSF professionnelle de la société coopérative et participative « Mots pour Mots » de Grenoble. Une comparaison et une explication des différents niveaux de fluence en LSF entre les entendants signeurs et les sourds signeurs est à retrouver encart 3.

Tableau 2.7

Connaissances et caractéristiques de pratique de la LSF dans le groupe des entendants signeurs.

#	Age acquisition	Années de pratique	Fréquence (h/semaine)	niveau estimé
1	26	18	15	4.5
2	natif	22	2	5
3	19	9	30	4.5
4	19	22	20	5
5	26	5	20	4.5
6	42	18	15	5
7	37	4	7	4.5
8	22	15	35	4.5
9	35	18	8	3.5
10	50	13	50	5
11	28	28	12	5
12	20	12	20	5
13	16	15	35	5
14	23	16	30	4.5
15	20	19	30	5
16	21	11	20	5

Matériel et procédure

L'expérience avait lieu dans une pièce faiblement illuminée qui contenait un grand écran (170*195 cm) et un vidéo projecteur haute définition (1920*1080 pixels). Le participant était assis à 57 cm de l'écran. Un boîtier réponse (SRbox) était placé sur les genoux du participant. Les stimuli étaient présentés via le logiciel E-prime 2-SP2.

La tâche du participant était de détecter le plus rapidement possible un carré blanc (10.8*10.8 pixels) présenté pendant 100 ms. Cette cible pouvait apparaître aléatoirement à une des 108 positions possibles distribuées sur 9 excentricités visuelles différentes (i.e., 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45°, 50° et, 53°) et sur 12 méridiens (i.e., 6 méridiens dans le CV supérieur et 6 dans le CV inférieur, figure 2.34). La cible était de taille fixe (i.e. non ajustée par le coefficient de magnification corticale), elle couvrait 2° d'angle visuel à 15° d'excentricité et 0.39° d'angle visuel à 53° d'excentricité.

Tableau 2.8

Descriptif des participants sourds. Pour le degré de surdité, la lettre P correspond à une surdité profonde et S à une surdité sévère. Pour les aides auditives, la lettre C correspond à l'utilisation d'au moins un contour d'oreille et IC correspond à un implant cochléaire. L'astérisque indique que la personne n'utilise plus l'aide auditive.

#	Degré de surdité	aide auditive	Parents sourds	Âge acquisition LSF	niveau estimé LSF	Langue principale
1	P	C	non	3 ans	2	français oral
2	P	C	non	3 mois	4	LSF
3	P	IC	non	2 ans	5	français oral
4	P	Aucune	non	inconnu	5	LSF
5	P/S	C	non	3 ans	4.5	français oral
6	P	C	mère	2 ans	3	français oral
7	P	IC	non	4 ans	2	français oral
8	P	*C	oui	naissance	5	LSF
9	P	C	non	6 mois	5	français oral
10	P	C	non	6 mois	3	français oral
11	P	IC	non	3 ans	3	français oral
12	P	C	non	1 an	4.5	LSF
13	P	C	non	1 an	2	LSF
14	P	*C	non	5 ans	2	LSF
15	P	*IC	non	18 mois	2	français oral
16	P	C	mère	9 mois	4	français oral
17	P/S	*C	non	2 ans	5	LSF
18	P	IC	non	3 ans	4.5	français oral
19	P	C	non	naissance	5	LSF
20	P/S	C	non	3/4 ans	5	LSF

Avant chaque essai, la croix de fixation centrale clignotait pendant une seconde et le temps entre la fin du clignotement et l'apparition de la cible était aléatoire entre 400 et 2000 ms afin d'éviter au maximum les réponses anticipées. Le participant devait répondre le plus rapidement possible dès la détection de la cible dans son CV sur le bouton central de la SRbox sans bouger les yeux de la croix de fixation centrale. L'essai suivant commençait directement après la réponse du participant ou après un temps maximum de 1000 ms. L'étude était constituée de deux blocs de 108 essais chacun (9 excentricités visuelles*12 méridiens) avec une pause entre les deux blocs. La durée de la pause variait selon le besoin du participant. Avant la phase expérimentale, le participant réalisait 16 essais d'entraînement pour se familiariser à la tâche.

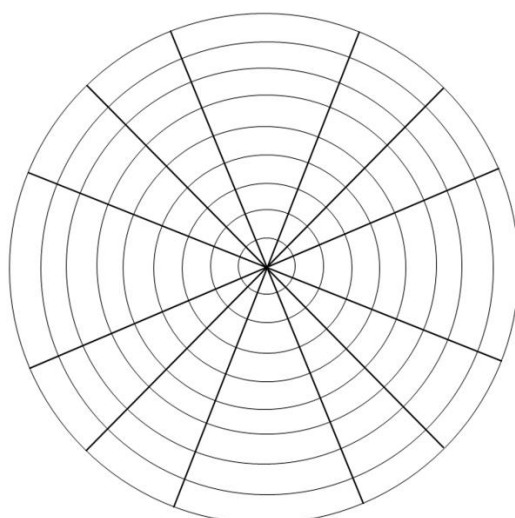


Figure 2.34 : Schéma des 108 positions possibles de la cible. La cible pouvait apparaître à 9 excentricités différentes le long de 12 méridiens différents.

Analyse des données

Les temps de réponse inférieurs à 100 ms ont été écartés des analyses car considérés comme des réponses anticipées. De plus, afin d'assurer l'homogénéité des variances et la normalité de la distribution des résidus, les données ont été transformées en prenant leur logarithme.

Les données ont tout d'abord été comparées avec des ANOVAs à mesures répétées avec le groupe (i.e., sourds signeurs, entendants signeurs, entendants non-signeurs) comme variable inter-sujet et avec l'excentricité visuelle (i.e., 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 53) et le champ visuel (i.e., CV supérieur ou CV inférieur) comme variables intra-sujets. L'effet de la surdité et de la pratique de la langue des signes ont été testés en utilisant les contrastes d'Helmert (voir encart 4 pour plus de détails).

Les données ont ensuite été comparées en utilisant l'approche de comparaisons de modèles mixtes linéaires. Plus précisément, la variable sujet a été considérée comme une variable aléatoire, la variable excentricité visuelle comme une variable continue, enfin le CV et le groupe comme variables catégorielles. Pour la représentation graphique des données, les temps de réponse non transformés (en ms) ont été utilisés.

Résultats

Un participant du groupe des entendants signeurs a été exclu des analyses, car considéré comme déviant selon la méthode des Résidus Supprimés Studentisés ($RSS > 3$ dans 11 des 18 conditions expérimentales, Belsley, Kuh, & Welsch, 2005). De plus, un incident technique n'a pas permis l'enregistrement des données d'un participant du groupe des entendants non-signeurs. L'analyse a donc été réalisée sur 18 entendants non-signeurs, 20 sourds signeurs et 15 entendants signeurs.

ANOVA à mesures répétées

L'ANOVA révèle un effet principal du groupe, $F(2,50) = 7.6$, $p = 0.001$, $\eta^2_p = 0.23$. Plus précisément, les sourds signeurs étaient plus rapides que les entendants (signeurs ou non) pour détecter l'apparition de la cible, $F(1,50) = 15.19$, $p = 0.0002$, $\eta^2_p = 0.23$. Par ailleurs la pratique de la langue des signes chez les entendants ne semble pas avoir d'effet sur les temps de réponse, $F(1,50) < 1$. Voir figure 2.35 A.

L'ANOVA révèle également un effet principal du champ visuel, avec un temps de réponse plus court dans le CV inférieur $F(1,50) = 39.6$, $p < 0.0001$, $\eta^2_p = 0.44$, ainsi qu'un effet principal de l'excentricité visuelle, $F(8,400) = 24.7$, $p < 0.0001$, $\eta^2_p = 0.33$. Plus la cible était présentée loin dans les excentricités visuelles, plus le TR était important. On observe également un effet d'interaction significatif entre le champ visuel et l'excentricité visuelle, $F(8,400) = 4.6$, $p < 0.0001$, $\eta^2_p = 0.085$. Plus les excentricités visuelles sont importantes, plus la différence entre le CV supérieur et inférieur est importante. Plus précisément, une analyse post-hoc avec correction de Bonferroni montre que l'asymétrie du CV s'observe à partir de 40° d'excentricité visuelle ($p = 0.0004$ et tous les $p < 0.001$ pour excentricités au-delà de 40°). Voir figure 2.35 B.

Comme le suggère l'effet principal du CV, les trois groupes avaient des temps de réponse plus courts dans le CV inférieur par rapport à ceux dans le CV supérieurs. Bien qu'il n'y ait pas d'effet d'interaction significatif entre le CV et le groupe il peut être intéressant de noter que l'asymétrie de CV est plus importante chez les entendants signeurs que chez les deux autres groupes. Les sourds signeurs et les entendants non-signeurs ont une asymétrie d'environ 8 ms de différence ($\Delta_{\text{moyen}} = 8.07$ ms, $\eta^2 = 0.17$ pour les sourds signeurs et $\Delta_{\text{moyen}} =$

7.59 ms $\eta^2=0.14$ pour les entendants non-signeurs) alors que l'asymétrie des CV des entendants signeurs est plus grande ($\Delta_{\text{moyen}} = 14.64$ ms $\eta^2=0.31$). Dans le même ordre d'idée et bien que nous n'observons pas non plus d'interaction significative entre CV, groupe et excentricité visuelle, $F(16,400) = 1.30$, $p = 0.21$, $\eta^2_p = 0.049$, nous avons voulu déterminer l'excentricité « critique » partir de laquelle l'asymétrie de CV pouvait s'observer dans chaque groupe grâce à des comparaisons *post-hoc* par paire avec correction de Bonferroni. Comme 9 comparaisons par groupes ont été réalisées, le seuil de significativité a été corrigé à $\alpha = 0.0056$; ce seuil étant particulièrement bas, une très grande taille d'effet est nécessaire pour observer des différences significatives. Ainsi, bien que plusieurs différences sortent significatives dans les comparaisons corrigées, il ne ressort pas clairement d'excentricité critique pour chacun des 3 groupes. Les statistiques détaillées de ces comparaisons sont néanmoins reportées en annexes III.

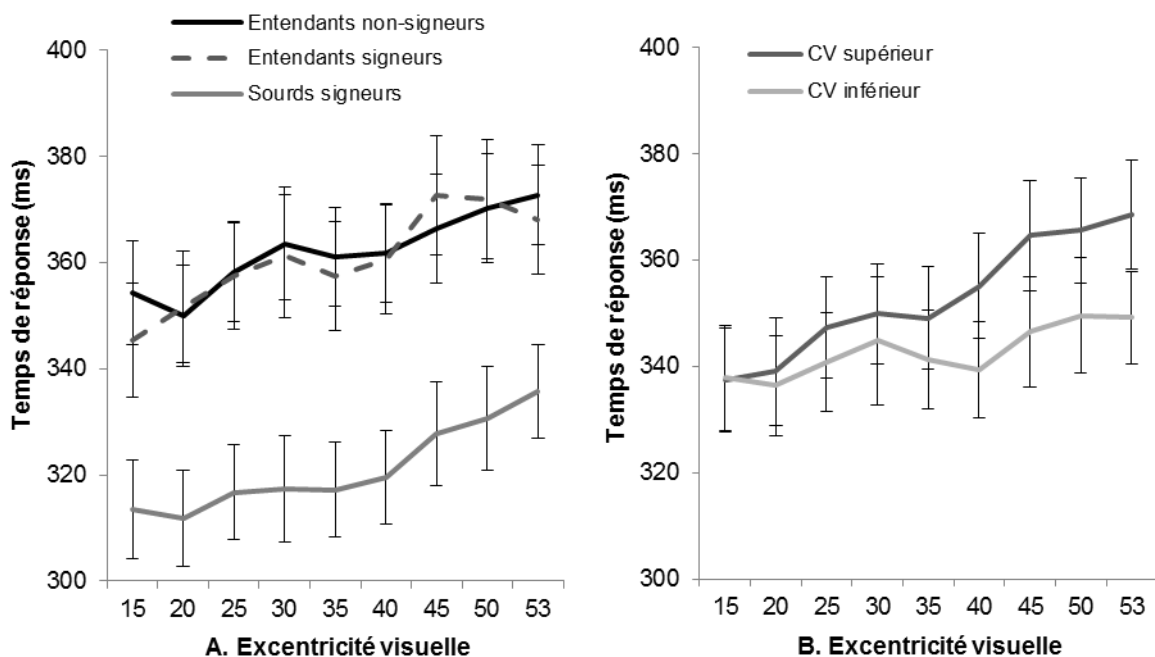


Figure 2.35 : Temps de réponse moyens (en ms) selon l'excentricité visuelle et le groupe (graphique A) ou le champ visuel (graphique B). Les barres d'erreurs représentent les erreurs standard à la moyenne.

Cette méthode d'analyse classique d'ANOVA à mesures répétées permet de révéler des résultats intéressants sur les performances des différents groupes pour la détection de cible. Néanmoins, elle n'est pas la méthode idéale pour analyser les effets de l'excentricité puisque la variable est considérée comme discrète et non continue. L'analyse des données

avec la méthode des modèles mixtes et linéaires permet de considérer l'excentricité comme une variable continue. Cette méthode permet d'également d'estimer la variabilité aléatoire des performances des participants.

Comparaison de modèles mixtes linéaires

Le logiciel R (R Core Team, 2012) et le package *lme4* (Bates, Maechler & Bolker, 2012) pour ont été utilisés pour faire une analyse mixte et linéaire des relations entre le CV, l'excentricité visuelle et le groupe. Le groupe et le CV ont été codés comme variables à effet fixe, l'excentricité comme variable continue et enfin les participants comme variable à effet aléatoire. Ainsi comme suggéré par la littérature sur la surdité et les asymétries visuelles, notre « modèle nul » est constitué d'un effet du groupe, du CV, de l'excentricité ainsi que d'un effet d'interaction entre le CV et l'excentricité. L'hypothèse principale que nous désirons tester dans l'approche par comparaison de modèle est l'existence d'une interaction entre les variables groupes et CV, et plus particulièrement si la pratique de la langue des signes peut moduler l'asymétrie entre le CV supérieur et inférieur. Nous avons donc comparé notre modèle nul à un modèle alternatif dans lequel nous avons ajouté un effet d'interaction entre les variables CV et groupes.

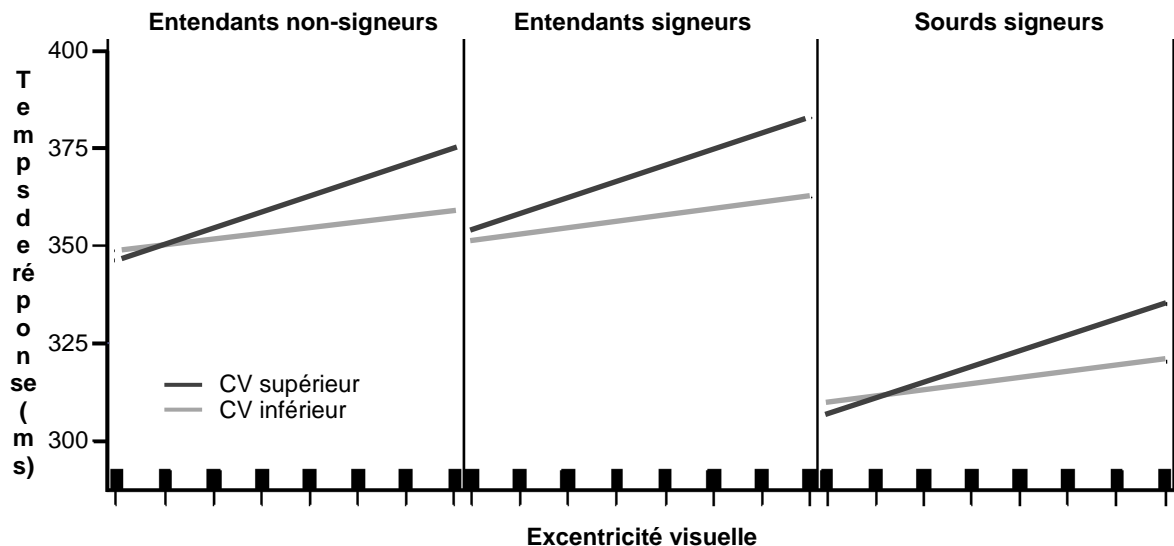


Figure 2.36 : Estimation du modèle mixte de l'évolution des temps de réponse (en ms) selon le CV et le groupe.

La comparaison statistique des modèles montre que le modèle alternatif explique mieux les données que le modèle nul, $\chi^2(2) = 7.15$, $p = 0.028$. Le tableau détaillé de l'analyse statistique est reporté en annexe IV. L'effet d'interaction peut s'observer sur les graphiques de la figure 2.36, où les droites de régressions linéaires estimées par le modèle ont été tracées où l'on peut constater que les entendants signeurs présentent une asymétrie de CV plus importante que les deux autres groupes.

Discussion

Cette étude avait pour but d'explorer les capacités de détection de cible dans le CV supérieur et inférieur sur différentes excentricités visuelles chez des sourds signeurs, des entendants signeurs et des entendants non-signeurs. Tout d'abord les résultats sont en accord avec la littérature et montrent une augmentation des temps de réponse avec l'excentricité visuelle, un avantage pour le CV inférieur ainsi qu'un effet d'interaction entre ces deux variables (plus l'excentricité est importante, plus l'avantage du CV inférieur est important).

L'analyse montre également un net avantage des sourds signeurs sur les deux autres groupes et cela quelle que soit l'excentricité visuelle de la cible ou le champ visuel dans laquelle elle était présentée. L'effet observé ici est lié à la surdité précoce et non à la pratique de la langue des signes, puisque les deux groupes d'entendants (signeurs et non-signeurs) ont des temps de réponse très proches. Enfin, la comparaison de modèle laisse supposer qu'il existe un effet d'interaction entre la variable groupe et champ visuel. En observant la modélisation des données ou la différence moyenne des temps de réponse entre le CV supérieur et inférieur dans les 3 groupes, il semblerait que cet effet d'interaction provienne d'une plus grande asymétrie chez les entendants signeurs que chez les sourds signeurs ou les entendants non-signeurs. Plus précisément l'avantage du CV inférieur serait plus important chez les entendants signeurs notamment dans les grandes excentricités visuelles.

La seconde partie de l'étude visait à compléter les résultats observés ici avec une tâche plus complexe de discrimination, nécessitant la réalisation d'un (ou plusieurs) traitement(s) attentionnel supplémentaire. La comparaison des résultats permet notamment de déterminer si l'avantage des sourds signeurs observé ici dans une tâche faisant

principalement appel à l'attention exogène se retrouve aussi dans une tâche faisant également appel à l'attention endogène.

Deuxième partie : discrimination de cibles

Méthode

Matériel et procédure

Pour ne pas interférer sur les résultats de la tâche de détection simple, la tâche de discrimination était réalisée juste après la tâche de détection. La tâche avait le même design expérimental que la tâche de détection, mais au lieu d'une cible unique, le participant devait décider le plus rapidement et le plus précisément possible si la cible présentée était un rond ou une étoile. De plus, il était demandé au participant d'essayer de répondre à chaque essai même si il pensait répondre au hasard. Pour la moitié des participants, le bouton gauche de la SRBox correspondait à l'étoile et le droit au rond et inversement pour la seconde moitié des participants.

Analyse des données

L'analyse des temps de réponse était similaire à celle effectuée dans la tâche de détection, mais uniquement sur les bonnes réponses. Pour l'analyse de la précision des réponses des participants, les données ont subies une transformation angulaire ($x' = 2 \text{ ArcSin}\sqrt{x}$), transformation particulièrement adaptée pour des scores compris entre 0 et 1. Les scores ont été comparés par une ANOVA à mesures répétées similaires à celle utilisée pour l'analyse des temps de réponse.

Résultats

Un participant du groupe des entendants non- signeurs a été exclu des analyses, car considéré comme déviant sur les TR selon la méthode des Résidus Supprimés Studentisés ($RSS > 3$ dans 9 des 18 conditions expérimentales intra-sujets) (Belsley, Kuh, & Welsch, 2005).

L'analyse a donc été réalisée sur 18 entendants non-signeurs, 20 sourds signeurs et 16 entendants signeurs.

ANOVA à mesures répétées

Précision des réponses. L'ANOVA révèle un effet principal de l'excentricité visuelle, $F(8,408) = 25.77$, $p < 0.0001$, $\eta^2_p = 0.82$. Plus précisément, plus l'excentricité était importante, plus les participants faisaient des erreurs de discrimination. À 53°, entendants signeurs et entendants non-signeurs avaient un taux de bonne réponse non différent du hasard (48.4% pour les entendants signeurs $t(15) = -0.58$, $p = 0.15$ et, 53.9% pour les entendants non-signeurs $t(17) = 1.88$, $p = 0.077$). Les sourds signeurs avaient un taux de bonnes réponses légèrement supérieur au hasard avec 54.6 %, $t(19) = 2.18$, $p = 0.042$. L'ANOVA ne relève pas d'effet principal du groupe, $F(2,51) = 1.41$, $p = 0.25$, $\eta^2_p = 0.052$ ni d'effet principal du CV, $F(1,51) < 1$. Enfin, aucun effet d'interaction significatif entre les différentes variables n'est observé (figure 2.37). Comme seule l'excentricité visuelle a un effet sur la proportion de réponses correctes dans la tâche de discrimination, nous n'avons pas jugé pertinent de faire d'autres analyses statistiques sur les données telles que l'approche par comparaisons de modèles.

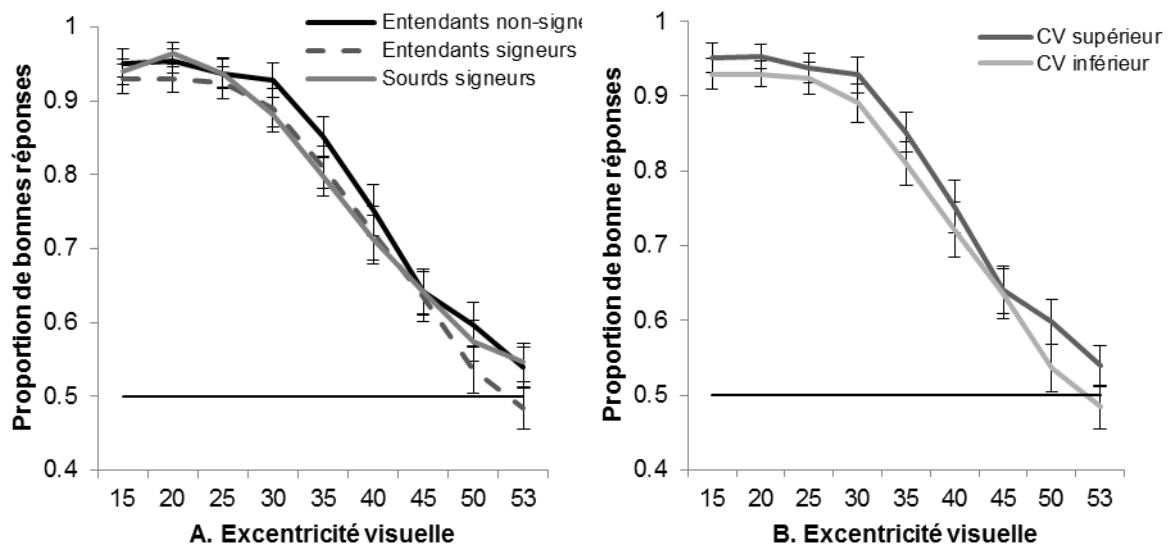


Figure 2.37 : Proportion de bonnes réponses selon l'excentricité visuelle et le groupe (graphique A) ou le champ visuel (graphique B). La ligne horizontale représente le niveau du hasard et les barres d'erreurs représentent les erreurs standard à la moyenne.

Temps de réponse correcte. Étant donné que deux groupes sur trois répondaient au niveau du hasard à 53° d'excentricité, nous avons décidé de ne pas inclure cette excentricité visuelle dans l'analyse des temps de réponse.

L'ANOVA révèle un effet principal du groupe, $F(2,51) = 4.8$, $p = 0.012$, $\eta^2_p = 0.16$. Plus précisément, les sourds signeurs étaient plus rapides que les entendants (signeurs et non) pour discriminer correctement la cible, $F(1,51) = 6.16$, $p = 0.016$, $\eta^2_p = 0.11$, de plus la pratique de la langue des signes ne semble pas affecter les temps de réponse correctes, $F(1,51) < 1$.

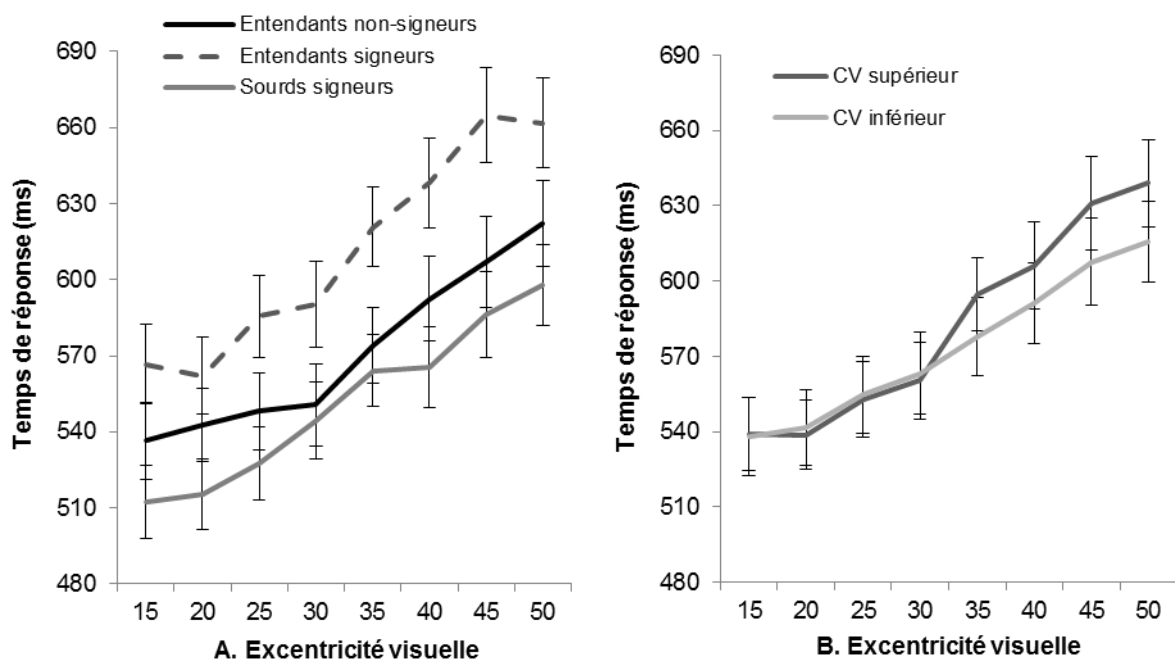


Figure 2.38: Temps de réponse moyens (en ms) selon l'excentricité visuelle et le groupe (graphique A) ou le champ visuel (graphique B). Les barres d'erreurs représentent les erreurs standard à la moyenne.

Une comparaison *post-hoc* des trois groupes avec ajustement et correction de Bonferroni révèle que l'effet du groupe est dû à une différence entre les sourds signeurs et entendants signeurs ($p = 0.010$) et que les entendants non-signeurs ne diffèrent pas des sourds signeurs ($p = 0.78$) ni des entendants signeurs ($p = 0.18$). Voir figure 2.38 A. L'analyse révèle également un effet principal du CV, $F(1,51) = 11.0$, $p = 0.002$, $\eta^2_p = 0.18$, avec des temps de réponse plus courts dans le CV inférieur et un effet principal de l'excentricité visuelle, $F(7,357) = 96.9$, $p < 0.0001$, $\eta^2_p = 0.66$, avec une augmentation des temps de réponse

avec l'augmentation de l'excentricité visuelle. On observe également un effet d'interaction entre l'effet du CV et l'effet de l'excentricité, $F(7,357) = 3.7$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.07$, la différence des temps de réponse entre le CV supérieur et inférieur augmente avec l'excentricité visuelle. Plus précisément l'asymétrie du CV s'observe à partir de 35° d'excentricité visuelle, $t(51) = -3.098$, $p = 0.003$, $\eta^2_p = 0.16$ au-delà (tous les $p < 0.05$), figure 2.38 B.

Enfin, nous observons un effet d'interaction entre le CV et le groupe, $F(2,51) = 4.6$, $p = 0.015$, $\eta^2_p = 0.15$. Plus précisément, seuls les entendants signeurs présentent une asymétrie significative de CV avec un avantage pour le CV inférieur ($\Delta_{\text{moyen}} = 21.67$ ms), $F(1,51) = 16.68$, $p = 0.0001$, $\eta^2_p = 0.25$. Les entendants non-signeurs ($\Delta_{\text{moyen}} = 8.54$ ms), $F(1,51) = 1.85$, $p = 0.18$, $\eta^2_p = 0.035$, et les sourds signeurs ($\Delta_{\text{moyen}} = 3.10$ ms) ne présentent pas une telle asymétrie, $F(1,51) < 1$, figure 2.39.

Comparaison de modèles mixtes linéaires

Le logiciel R et le package *lme4* (Bates, Maechler & Bolker, 2012) ont été utilisés pour faire une analyse mixte et linéaire des relations entre le CV, l'excentricité visuelle et le groupe. Le groupe et le CV ont été codés comme variables à effet fixe, l'excentricité comme variable continue et enfin les participants comme variable à effet aléatoire. Ainsi comme suggéré par la littérature sur la surdité et les asymétries visuelles, notre « modèle nul » est constitué d'un effet du groupe, du CV, de l'excentricité ainsi que d'un effet d'interaction entre le CV et l'excentricité. Tout comme pour la tâche de détection de cible, l'hypothèse principale que nous désirons tester dans l'approche par comparaison de modèle est l'existence d'une interaction entre les variables groupes et CV, et plus particulièrement si la pratique de la langue des signes peut moduler l'asymétrie entre le CV supérieur et inférieur. Nous avons donc, une nouvelle fois, comparé notre modèle nul à un modèle alternatif dans lequel nous avons ajouté un effet d'interaction entre les variables CV et groupes.

La comparaison statistique des modèles montre que le modèle alternatif explique mieux les données que le modèle nul, $X^2(2) = 10.98$, $p = 0.004$. Le tableau détaillé de l'analyse statistique est reporté en annexe V. L'effet d'interaction peut se constater sur les graphiques de la figure 2.39, où les droites de régressions linéaires estimées par le modèle ont été

tracées. Comme suggéré par l'ANOVA à mesures répétées, les entendants signeurs présentent une asymétrie de CV alors que les deux autres groupes ne présentent pas de différence entre les TR dans le CV supérieur et inférieur.

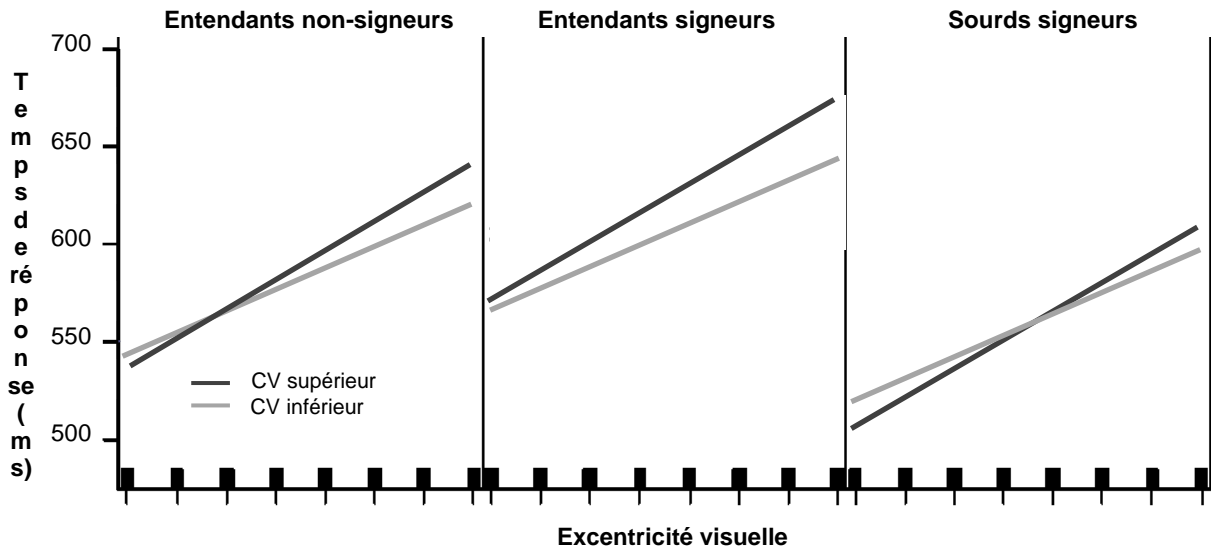


Figure 2.39 : Estimation de l'évolution des temps de réponse (en ms) selon le CV et le groupe.

Discussion

La seconde partie de cette étude explorait un aspect plus complexe du traitement visuel que la détection de cibles, la discrimination de cible nécessitant l'engagement de l'attention endogène. L'analyse de la proportion de bonnes réponses suggère que seule l'excentricité visuelle de la cible affecte la précision de la réponse. Les trois groupes ont des performances stables entre 15° et 25° d'excentricité visuelle (environ 95% bonnes réponses), puis elles diminuent progressivement jusqu'à atteindre un niveau comparable au hasard pour les entendants (signeurs ou non signeurs) ou légèrement supérieur au hasard pour les sourds signeurs à 53° d'excentricité. Ces performances sont comparables que la cible soit présentée dans le CV supérieur ou inférieur. Il semblerait donc que ni la surdité ni la pratique de la langue des signes n'améliore la précision de discrimination de cibles dans le CVP.

Au niveau des temps de réponse, l'analyse statistique montre un effet principal du groupe, suggérant que les sourds sont plus rapides que les entendants (signeurs et non-signeurs) pour discriminer correctement une cible dans le CVP et cela quel que soit l'excentricité visuelle de la cible. Les tests *post-hoc* et l'analyse par comparaison de modèle montrent que cet avantage pour les sourds signeurs est principalement dû à une différence

entre les temps de réponse des sourds signeurs et des entendants signeurs. Malgré une différence non significative, il est également intéressant de noter que les entendants signeurs ont des temps de réponse plus longs que les entendants non-signeurs. Cette différence pourrait venir du fait que nos entendants signeurs sont plus âgés que les sourds, $F(1,51) = 3.95$, $p = 0.052$, et les entendants non-signeurs $F(1,51) = 10.30$, $p = 0.002$, l'âge étant un facteur de ralentissement des processus perceptifs et cognitifs (Der & Deary, 2006). Les sourds signeurs ne sont donc pas plus rapides que les entendants dans la tâche de discrimination de cibles.

Les analyses des temps de réponse suggèrent également l'existence d'une interaction entre la variable groupe et la variable champ visuel et plus précisément qu'il y aurait une différence entre le CV supérieur et inférieur uniquement chez les entendants signeurs. En regardant la modélisation des données (2.39), on constate que chez ces derniers, plus l'excentricité visuelle est importante, plus l'avantage du CV inférieur est important. Il semblerait alors que l'apprentissage de la langue des signes chez les entendants accentue les asymétries visuelles verticales.

Discussion générale de l'étude 2

Le premier but de l'étude était de tester si l'avantage de traitement dans le CVP des personnes sourdes était comparable selon les excentricités, plus spécifiquement si il existait un effet d'interaction entre la variable groupe et l'excentricité visuelle. Le second objectif était de comparer l'asymétrie entre le champ visuel supérieur et inférieur et plus précisément si la pratique de la langue des signes pouvait induire ou augmenter une différence entre le CV supérieur et inférieur en faveur du CV inférieur. Enfin, le dernier objectif de cette étude était de comparer les performances des trois groupes dans une tâche simple d'attention exogène et dans une tâche plus complexe d'attention endogène.

Tout d'abord, les sourds sont plus rapides que les entendants (signeurs et non-signeurs) pour détecter des cibles et cela, quelle que soit l'excentricité visuelle testée. Cet avantage ne s'observe que dans la première tâche puisqu'en discrimination de cibles les différences entre groupes ont presque entièrement disparu. La réalisation de ces deux tâches implique des

ressources attentionnelles différentes. Les temps de réponse dans la tâche de détection reflètent principalement les capacités de réactivité de la capture de l'attention exogène suite à l'apparition aléatoire d'une cible. Au contraire, dans la tâche de discrimination, une fois l'attention exogène capturée par l'apparition de la cible, il est nécessaire d'engager et d'orienter l'attention endogène vers la cible pour la traiter. Les temps de réponse dans cette tâche reflètent donc principalement les capacités d'engagement et d'orientation de l'attention endogène. Les résultats suggèrent donc que les sourds signeurs auraient une réactivité de l'attention exogène (i.e., traitement visuel de bas niveau) plus efficace que les entendants, avec des capacités d'engagement et d'orientation de l'attention endogène similaires (i.e., traitement visuel de plus haut niveau).

Comme la rapidité de traitement visuel de bas niveau dans le CV central est similaire entre sourds et entendants (i.e., dans la zone visuelle proche du point de fixation, e.g., Loke & Song, 1991), il serait maintenant très intéressant d'établir l'excentricité visuelle à partir de laquelle les sourds sont plus rapides que les entendants. Il serait par exemple intéressant d'utiliser un paradigme proche de celui de cette étude, mais entre 0° et 15° d'excentricité. Il se peut toutefois que cette valeur évolue selon le type de tâche et la difficulté du traitement visuel, une telle expérience permettrait dans un premier temps d'avoir une idée plus précise et plus correcte de la portion d'espace visuel modifiée par la surdité précoce. En effet, et comme discuter dans l'introduction de ce chapitre, il n'existe pas de définition claire des différences entre CV central et périphérique et la disparité des excentricités visuelles testées dans la littérature sur la surdité rend difficile la comparaison des résultats de différentes études.

Nous avons également observé que la pratique de la langue des signes chez les entendants signeurs accentuait l'asymétrie perceptive entre les CV inférieurs et supérieurs. Les entendants signeurs avaient un avantage du CV inférieur plus important que les sourds signeurs et entendants non-signeurs. Cette particularité pourrait être une conséquence de la sollicitation importante du CV inférieur qu'impose la langue des signes. Cette particularité ne s'observerait pas chez les sourds signeurs car ils subissent des sollicitations visuelles sur l'intégralité de leur champ visuel. En effet, pour avoir une bonne représentation de leur environnement, ils doivent avoir conscience à la fois de leur espace visuel inférieur et supérieur. Cette différence d'asymétrie s'observe principalement en discrimination, il est

donc possible que l'asymétrie soit une conséquence de l'engagement de l'attention endogène. Contrairement à l'étude précédente sur la sensibilité aux contrastes de luminance chez les entendants signeurs, on ne peut parler ici de plasticité fonctionnelle puisque les excentricités visuelles testées sont au-delà de l'espace de signation. Il s'agirait peut-être d'une autre forme de plasticité visuelle «non localisée » affectant un processus de cognition visuelle de plus haut niveau que la sensibilité aux contrastes de luminances. La pratique de la langue des signes pourrait donc impacter d'une part les traitements visuels de bas niveau dans la région spécifique de signation et en même temps des traitements liés à l'attention endogène (i.e., de plus haut niveau) en renforçant l'avantage naturel du CV inférieur.

Il serait intéressant de mettre en place des protocoles expérimentaux permettant de tester cette hypothèse en utilisant par exemple l'EEG et l'analyse des potentiels évoqués visuels. En effet, il existe des composantes visuelles de relativement bas niveau comme C1 (Clark, Fan, & Hillyard, 1995; Mangun, 1995) ou de plus haut niveau voire attentionnelles comme par exemple P1 (Clark et al., 1995; Clark & Hillyard, 1996) ou N2pc particulièrement impliquée dans les tâches d'attention sélective (Eimer, 1996). C1 est la composante visuelle la plus précoce provenant du cortex visuel primaire avec un pic d'amplitude environ 80 ms après l'apparition du stimulus visuel et sa polarité va dépendre de l'hémi-champ visuel dans lequel le stimulus a été présenté (Clark et al., 1995; Mangun, 1995). P1 est la première composante positive s'observant environ 100 ms après l'apparition du stimulus. Son amplitude et latence est sensible à la charge attentionnelle de la personne alors que C1 y est particulièrement robuste (Fu, Fedota, Greenwood, & Parasuraman, 2010). En comparant ces différentes composantes visuelles il serait ainsi possible de mieux caractériser et comprendre les différences observées dans la présente et précédente étude.

Pour conclure, nous avons observé que la surdité précoce et la pratique de la langue des signes pouvaient avoir un impact différent sur le traitement visuel dans le grand espace périphérique. La surdité précoce affecterait la rapidité des traitements visuels de bas niveau (i.e., détection de cibles) alors que la pratique de la langue des signes chez les entendants affecterait la distribution des ressources attentionnelles pour des traitements visuels plus complexes impliquant notamment l'attention endogène (i.e., discrimination de cibles).

Etude 3 : Distribution de l'attention visuelle chez les sourds signeurs et les CODAs

Abstract

While a substantial body of work has suggested that deafness increased allocation of visual attention to the periphery, there has been less investigations on how using a signed language may also influence attentional allocation. Signers fixate upon the face of interlocutors and do not directly look at the hands moving in the inferior visual field. It is therefore reasonable to predict that signed languages require observers to covertly shift their visual attention to the inferior visual field. This study assesses the spatial distribution of visual attention in early signers both deaf and hearing in a visual search task. We estimated decision-making parameters with a Bayesian Hierarchical Drift Diffusion Model for the superior and inferior visual field. Results suggest that deaf early signers are faster than hearing to extract the relevant information in the inferior visual field even if all groups needed the same amount of visual information to make a decision. In addition deaf signers were also faster than hearing in non-decisional processes. Altogether our results are in accordance with literature with higher attentional resources in deaf signers but mixed results in hearing signers do not permit to clearly understand the impact of early signing experience.

Communication scientifique associée

Stoll, C., Palluel-Germain, R., Pascalis, O., & Dye, M. Analyzing the Allocation of Visual Attention in Deaf and Hearing Signers with a Drift-Diffusion Model. *40th European Conference on Visual Perception*, 27-31 August, 2017, Berlin.

Problématique et hypothèses

Comme vu dans les études précédemment présentées, la langue des signes et la surdité semblent être deux facteurs indépendants pouvant moduler certains aspects plus ou moins complexes de la cognition visuelle périphérique notamment dans les différences de performances entre les CV supérieur et inférieur. En ce qui concerne plus particulièrement l'attention visuelle dans le CVP, la littérature avance des hausses de performances chez les sourds (signeurs) et peu (voire pas) chez les entendants signeurs comparativement aux entendants non-signeurs (voir la partie théorique de ce chapitre). Comme nous l'avons discuté dans l'étude des CV chez les entendants signeurs (étude 1), les études concluant à une absence d'effet de la pratique de la langue des signes dans le traitement visuel périphérique n'ont que très rarement dissocié les performances du CV inférieur et supérieur. Ce constat est plutôt surprenant compte tenu de l'importance du CV inférieur dans la communication signée. Cette étude s'inscrit dans la continuité de l'étude de Dye et al. (2015) dans laquelle les auteurs avaient observé un biais du CV inférieur chez les signeurs (sourds et entendants) dans la distribution des erreurs dans une tâche de l'*UFOV* (voir la discussion de l'étude 1 pour une description détaillée de leurs résultats). Selon les auteurs, la sollicitation visuelle de la langue des signes pourrait induire un biais attentionnel dans la partie spécifique de l'espace de signation.

Le but de cette étude est donc de tester directement l'observation faite par Dye et al. (2015) et plus précisément de comparer la distribution de l'attention visuelle entre le CV inférieur et supérieur chez les signeurs (sourds et entendants) et les entendants non-signeurs. Pour ce faire nous avons utilisé une tâche de recherche visuelle. En effet, c'est une tâche dans laquelle les asymétries verticales de perception ont déjà été documentées chez les entendants non-signeurs (Rezec & Dobkins, 2004). Si la pratique de la langue des signes modifie l'attention visuelle du CV inférieur, sourds signeurs et entendants signeurs devraient présenter un biais vers le CV inférieur supérieur à celui des entendants non-signeurs.

Méthode

Cette étude s'est déroulée en deux parties distinctes pour des raisons de temps, de finances et d'accès à la population. La première partie de l'étude a comparé les performances de personnes sourdes signeuses à celles d'entendants non-signeurs. Elle a été réalisée au sein du National Technical Institute for the Deaf, Rochester Institute of Technology (RT/NTID) dans le cadre de mon séjour in-Doc dans le Deaf x Lab du Dr. Matthew Dye. La deuxième partie de l'étude s'est déroulée une fois les résultats de la première étude connus. En effet, comme la seconde partie de l'étude est constituée de CODAs, nous voulions avoir connaissance des résultats de la première étude afin de voir s'il était ou non nécessaire de tester l'hypothèse de la langue des signes indépendamment de la surdité.

Participants

Vingt-neuf étudiants sourds signeurs (18 femmes, $M_{\text{âge}} = 21.12$, $ET_{\text{âge}} = 1.94$) du NTID ont participé à cette étude. Ils avaient tous appris l'ASL avant l'âge de 6 ans et aucun d'entre eux n'avait de troubles non corrigés de la vue ou d'antécédents neurologiques.

Vingt-huit étudiants entendants non-signeurs du RIT ont également participé à l'étude (11 femmes, $M_{\text{âge}} = 21.31$, $ET_{\text{âge}} = 3.60$). Aucun d'entre eux ne connaissait l'ASL ou une autre langue des signes, ne jouait fréquemment aux jeux vidéo d'action, ni ne présentait des troubles non corrigés de la vue ou d'antécédents neurologiques.

Dix-huit CODAs (10 femmes, $M_{\text{âge}} = 21.11$, $ET_{\text{âge}} = 4.43$) ont participé à cette étude. Ils avaient tous appris l'ASL comme langue maternelle et aucun d'entre eux n'avait de troubles non corrigés de la vue ou d'antécédents neurologiques. Ils ont été recrutés soit au RIT/NTID soit au summer camp *Camp Mark Seven* (camp d'été de la culture sourde ayant lieu tous les ans dans l'état de New-York). Deux d'entre eux ont rapporté jouer une dizaine d'heures par semaine aux FPS, mais considérant la difficulté de recrutement de cette population nous avons décidé de les conserver dans notre groupe expérimental. L'étude a été validée par le comité d'éthique du RIT « Institutional Review Board of Human Subject Research » et chaque participant donnait son consentement écrit avant de commencer l'étude.

Matériel et procédure

Le paradigme de recherche visuelle utilisé dans cette étude a été inspiré par Carlei & Kerzel (2017). Le participant était assis dans une pièce calme et sombre à 57 cm d'un écran BenQ XL2720Z (27 pouces, 1920 x 1080 pixels). Sur l'écran gris étaient présentées 6 formes géométriques de couleur rouge distribuées à 10 degré d'excentricité visuelle du point de fixation centrale. Trois formes étaient situées dans le CV inférieur et trois dans le CV supérieur. Les formes étaient soit des cercles 3 cm de diamètre soit des losanges de 3 cm de diagonale. A l'intérieur de ces formes était présentée une ligne blanche verticale ou horizontale de 2 cm. Pour chaque essai, 5 des 6 formes étaient identiques et 3 des lignes intérieures étaient horizontales (et les 3 autres verticales). L'association forme géométrique/ligne intérieure était aléatoire, tout comme la location de cette association autour du point de fixation centrale.

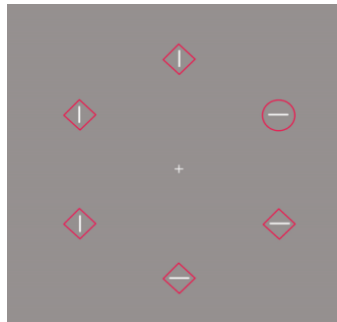


Figure 2.40 : Exemple d'essai. Le participant doit indiquer grâce aux touches du clavier l'orientation de la ligne située à l'intérieur de la forme géométrique unique. Ici la forme unique est le cercle qui contient une ligne horizontale.

La tâche du participant consistait à indiquer avec les flèches gauche ou droite du clavier l'orientation verticale ou horizontale de la ligne à l'intérieur de la forme géométrique unique (voir exemple figure 2.40). La correspondance entre la direction de la flèche et l'orientation de la ligne était contrebalancée entre les participants. L'essai durait un temps fixe de 1 500 ms et le participant devait répondre le plus rapidement possible sans bouger les yeux du centre de l'écran (la durée fixe du temps de présentation était liée à la première utilisation d'un dispositif EEG afin d'avoir un traitement des données plus aisé pour des néophytes. La durée a été établie après plusieurs tests pilotes). Entre chaque essai, la croix de fixation était présentée pendant une période de temps aléatoire entre 800 et 1200 ms (figure 2.41).

Au total le participant réalisait 826 essais répartis en 2x2 blocs expérimentaux. Chaque bloc était séparé par une pause aussi longue que nécessaire pour le participant. Dans 2 blocs, les essais étaient constitués de 5 losanges et 1 cercle et dans les deux autres, les essais étaient constitués de 5 cercles et 1 losange. L'ordre des blocs était aléatoire, mais les deux blocs avec la même configuration étaient toujours présentés l'un après l'autre au participant. Avant de commencer la phase expérimentale, le participant effectuait une phase d'entraînement de 20 essais. Si le participant bougeait les yeux ou faisait beaucoup d'erreurs, une seconde phase d'entraînement était réalisée avant de commencer la phase expérimentale.

En parallèle des données comportementales, le participant était équipé d'un casque EEG composé de 16 électrodes sèches (Brain Vision, ActiCap Xpress). Comme cette mesure électro-physiologique a connu *quelques* problèmes (i.e., taille de casque mal adaptée, interférence dans l'enregistrement, signal très bruité impossible à traiter), il n'y sera plus fait référence dans la suite de ce manuscrit.

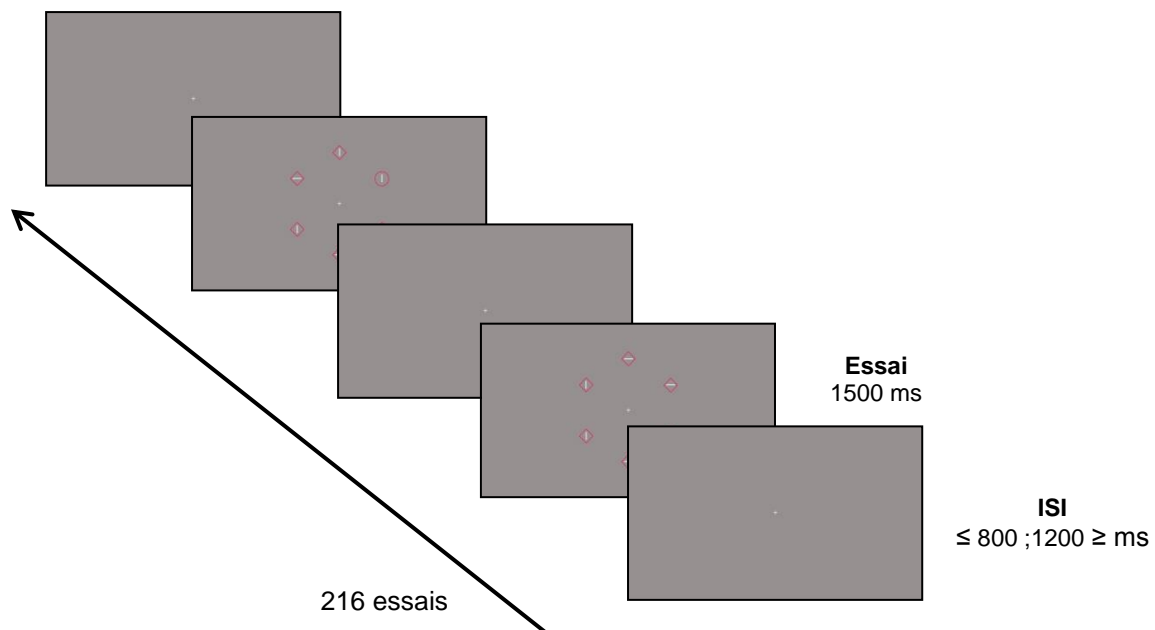


Figure 2.41 : Déroulement d'un bloc expérimental. Au total le participant réalisait 4 blocs expérimentaux.

Analyse des données

Les données recueillies ont été modélisées avec un *Bayesian Hierarchical Drift Diffusion (HDD) Model* dont le principe est détaillé encart 5. Le HDD modèle a pour but de décrire le comportement de prise de décision dans une tâche à choix forcé comme par exemple la tâche du *two alternative forced choice (2AFC)*. Ce modèle postule que lors d'un processus de prise de décision, l'individu extrait des informations au cours du temps jusqu'à ce qu'il estime avoir suffisamment de preuve envers l'une des deux propositions pour prendre une décision et initier une réponse motrice. La modélisation des données par le HDD permet d'extraire deux paramètres différents reflétant ce phénomène de prise de décision et un troisième paramètre reflétant le temps de réponse non-décisionnel (t). L'estimation des paramètres de prise de décision (i.e., le *threshold* (a) et le *drift-rate* (v)) a été faite en utilisant une modélisation bayésienne du modèle HDD (HDD python package- Wiecki, Sofer, & Frank, 2013). Le modèle utilise une estimation hiérarchique bayésienne (Markov chain Monte Carlo via PyMC). Les trois paramètres ainsi estimés par le modèle HDD ont été indépendamment analysés via des ANOVA à mesures répétées bayésiennes (BANOVA) avec le logiciel libre de statistiques Bayésiennes Jasp (Marsman & Wagenmakers, 2016). La BANOVA avait pour variable inter-sujet le groupe (entendants non-signeurs, sourds signeurs, CODAs) et le CV en variable intra-sujet (CV supérieur, CV inférieur).

Résultats

Un participant du groupe sourd signeur n'a pas commencé la phase expérimentale, car il n'a pas réussi à accomplir la phase d'entraînement sans bouger les yeux ou sans faire un grand nombre d'erreurs. Un autre participant du groupe des entendants non-signeurs n'a pas terminé l'étude et enfin, les données de 4 participants ont été retirées de l'analyse statistique car considérées comme déviantes selon la méthode des résidus supprimés studentisés (RSS) (Belsley et al., 2005). La valeur des RSS calculés sur les données des participants était supérieure à la valeur critique calculée (3.46). L'analyse statistique a donc été conduite sur les données de 26 participants sourds signeurs, de 26 entendants non-signeurs et de 17 CODAs. Les tableaux complets des BANOVA sont reportés en Annexes VI, VII et VIII.

Threshold (a). L'estimation des facteurs bayésiens par la BANOVA montre que le modèle le plus vraisemblable est le modèle nul, $BF_{10} = 1.000$, suggérant que ni le groupe, ni le champ visuel, ni l'interaction des deux variables n'a d'effet sur le *Threshold* dans notre tâche de recherche visuelle (tableau 2.9).

Tableau 2.9

Threshold moyens chez les sourds signeurs, les entendants non-signeurs et les CODAs. Les valeurs entre parenthèses représentent les erreurs standard à la moyenne.

	<i>Threshold (a)</i>	
	<i>CV inférieur</i>	<i>CV supérieur</i>
Entendants non-signeurs	1.69 (0.06)	1.70 (0.09)
CODAs	1.72 (0.19)	1.71 (0.19)
Sourds signeurs	1.76 (0.11)	1.82 (0.16)

Drift-rate (v). L'estimation des facteurs bayésiens par la BANOVA suggère que le modèle le plus vraisemblable est le modèle incluant un effet d'interaction entre groupe et CV, $BF_{10} = 18980.54$. Ce modèle incluant l'interaction est meilleur que le modèle incluant uniquement un effet principal du groupe, $BF_{12} = 55016.06$, ou du CV, $BF_{12} = 18.06$, ou même un effet principal du groupe et du CV sans interaction, $BF_{12} = 49.86$.

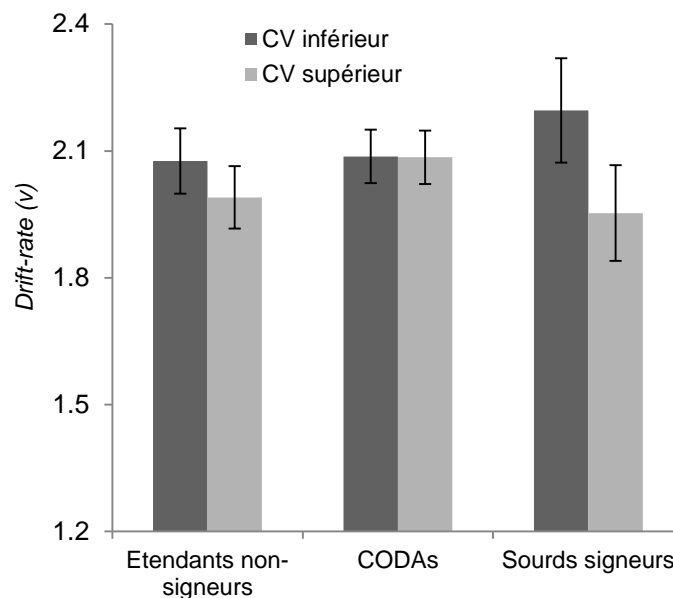


Figure 2.42 : *Drift-rate* moyens selon le groupe et le CV. Les barres d'erreurs représentent les erreurs standard à la moyenne.

Afin de comprendre l'effet d'interaction observé, une comparaison entre le CV supérieur et inférieur a été réalisée pour chacun des trois groupes via un t-test bayésien pour échantillons appariés. Chez les sourds signeurs, la comparaison entre les champs visuels suggèrent un fort avantage pour le drift-rate dans le CV inférieur, $BF_{10} = 459.43$. Cette asymétrie avec un avantage pour le CV supérieur semble également présent chez les entendants non-signeurs mais bien plus faiblement, $BF_{10} = 1.41$. Les CODAs, quant à eux, ne présentent pas d'asymétrie visuelle, $BF_{10} = 0.253$. Enfin, les biais entre les entendants signeurs et les entendants non-signeurs sont relativement similaires, $BF_{10} = 0.934$. Il semblerait donc que l'avantage du CV inférieur dans le *drift-rate* soit présent principalement chez les sourds signeurs et non chez les entendants qu'ils soient signeurs ou non (figure 2.42).

Non-decision time (t). L'estimation des facteurs bayésiens par la BANOVA suggère que le modèle le plus vraisemblable est le modèle incluant uniquement un effet du groupe, $BF_{10} = 9.520$. Ce modèle est meilleur que celui incluant uniquement un effet du CV, $BF_{12} = 51.46$, un effet du CV et du groupe, $BF_{12} = 5.35$, ou encore un effet d'interaction entre groupe et CV, $BF_{12} = 7.74$. La comparaison inter-groupe suggère que l'effet du groupe provient d'un *non-decision time* plus court chez les sourds, $BF_{10} = 22.87$ et qu'il n'y a pas de différence entre les deux groupes d'entendants, $BF_{10} = 0.666$, figure 2.43.

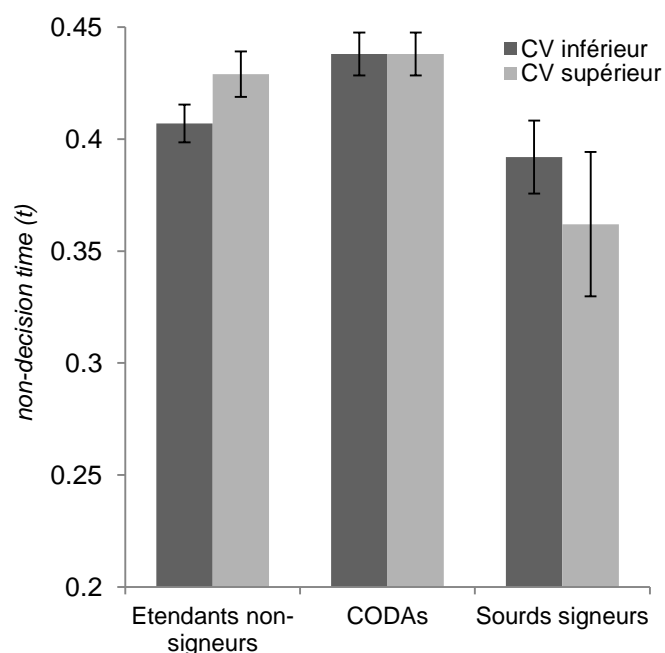


Figure 2.43 : *Non-decision time* moyens selon le groupe et le CV. Les barres d'erreurs représentent les erreurs standard à la moyenne.

Analyse statistique alternative : Temps de réponses et proportion de bonnes réponses

Bien que l'analyse des données par l'estimation des paramètres du HDDm soit la façon la plus adaptée de traiter nos données, nous avons tout de même voulu analyser nos données en utilisant la méthode « standard » et fréquentiste de comparaison des temps de réponses correctes d'une part et de la précision des réponses de l'autre. Cette analyse permet entre autres de pouvoir comparer nos données avec les résultats de la littérature chose difficile actuellement avec l'analyse des paramètres du modèle de diffusion ou même avec l'analyse bayésienne. Deux ANOVA à mesures répétées sur les temps de réponses et sur la précision des réponses avec le CV (i.e., CV supérieur et inférieur) comme variable intra-sujet et le groupe comme variable inter-sujet ont donc été conduites.

Un participant du groupe des sourds signeurs a été exclu des analyses statistiques, car ses données étaient considérées comme déviantes selon la méthode des RSS (Belsley et al., 2005). La valeur des RSS calculés sur les données des participants étant supérieure à la valeur critique calculée (3.46). L'analyse statistique a donc été conduite sur les données de 27 participants sourds signeurs, de 26 entendants non-signeurs et de 18 CODAs.

Précision des réponses. L'ANOVA à mesures répétées révèle un effet principal du champ visuel, $F(1,68) = 29.61$, $p < 0.0001$, $\eta^2_p = 0.30$, avec une proportion de réponses correctes plus importante dans le CV inférieur. L'analyse ne révèle pas d'effet principal du groupe, $F(2,68) = 0.56$, $p = 0.57$, $\eta^2_p = 0.02$, ou d'effet d'interaction entre les deux variables $F(2,68) = 2.46$, $p = 0.09$, $\eta^2_p = 0.07$. Néanmoins, les comparaisons planifiées en utilisant les contrastes d'Helmert montre un effet significatif de la pratique de la langue des signes, $t(68) = -2.14$, $p = 0.035$, mais pas de la surdité, $t(68) = 0.29$, $p = 0.77$ sur la différence de performance entre le CV supérieur et inférieur. Ainsi, l'asymétrie de CV est plus importante chez les signeurs (sourds et entendants) que chez les entendants non-signeurs, figure 2.44. Un biais de CV a également été calculé pour chaque groupe en soustrayant la performance du CV supérieur à celle du CV inférieur. Chaque biais a été comparé à 0 avec un test-t pour comparaison à un standard. Les entendants non-signeurs ne présentent pas d'asymétrie de CV, $t(25) = 1.82$, $p = 0.08$, contrairement aux sourds signeurs, $t(26) = 3.93$, $p = 0.0005$, et aux CODAs, $t(17) = 3.55$, $p = 0.002$, qui ont plus de bonnes réponses dans le CV inférieur que supérieur, figure 2.45.

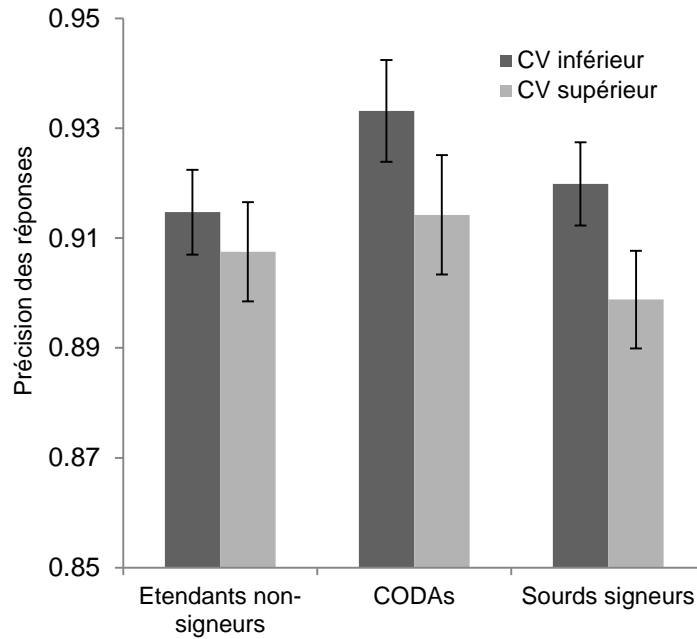


Figure 2.44 : Précision moyenne des réponses selon le groupe et le champ visuel. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard à la moyenne.

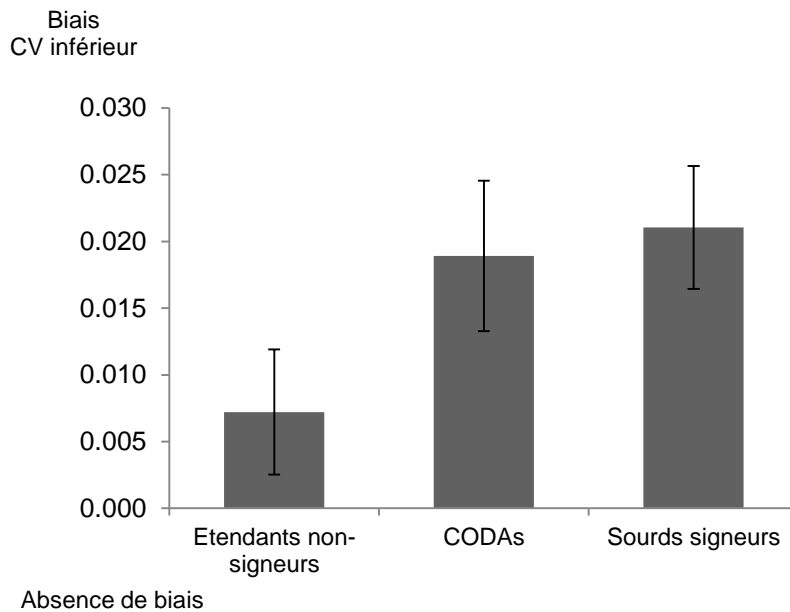


Figure 2.45 : Biais de champ visuel dans la proportion de réponses correctes selon le groupe. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard à la moyenne.

Temps de réponses correctes. L'ANOVA à mesures répétées révèle un effet principal du champ visuel, $F(1,68) = 70.13$, $p < 0.0001$, $\eta^2_p = 0.51$, avec un temps de réponse plus court dans le CV inférieur. L'analyse ne révèle pas d'effet principal du groupe, $F(2,68) = 0.56$, $p =$

0.57, $\eta^2_p = 0.02$, ou d'effet d'interaction entre les deux variables $F(2,68) = 0.58$, $p = 0.56$, $\eta^2_p = 0.02$. De plus, les comparaisons planifiées en utilisant les contrastes d'Helmert ne montrent ni d'effet de la pratique de la langue des signes, $t(68) = 1.07$, $p = 0.29$, ni d'effet de la surdité, $t(68) = 0.005$, $p = 0.99$, figure 2.46.

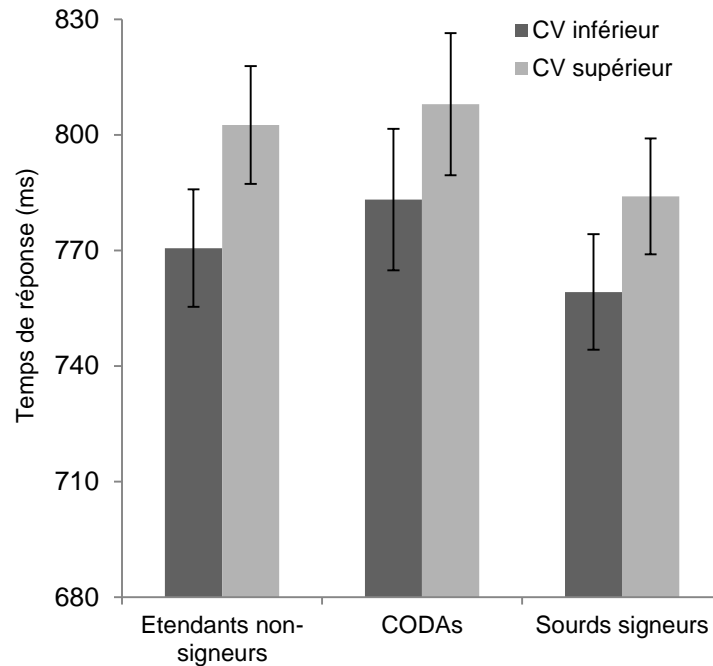


Figure 2.46 : Temps de réponse moyens selon le groupe et le champ visuel. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard   la moyenne.

Analyse complémentaire sur les asymétries entre le CV gauche et droit

Bien que nos hypothèses n'impliquent pas les champs visuels latéraux, nous avons conduit une analyse statistique pour tester l'existence éventuelle de différences entre les deux groupes sur les 4 cibles latérales (les données des 2 cibles à la verticale du point de fixation centrale ont été retirées). La BANOVA conduite sur le *threshold* suggère que le modèle le plus vraisemblable est le modèle incluant uniquement un effet (anecdotique) du CV, $BF_{10} = 1.347$. On retrouve le même type de résultat avec la BANOVA conduite sur le *drift-rate*, où le modèle le plus vraisemblable est également celui qui inclue uniquement un effet du CV, $BF_{10} = 2.91$. Et finalement, pour le *non-decision time*, L'estimation des facteurs bayésiens par la BANOVA suggère que le modèle le plus vraisemblable est le modèle nul, $BF_{10} = 1.000$. La variable groupe ne semble donc pas être un facteur influant les

performances dans entre les parties gauches et droites du CV. L'asymétrie entre le CV gauche et droit (i.e., un *threshold* et un *drift-rate* plus élevé pour le CV droit) n'est pas surprenante puisqu'il existe de nombreuses études illustrant des différences de traitement entre ces deux parties du CV liées en grande partie à la spécialisation de l'hémisphère cérébral controlatéral (voir partie théorique du chapitre 2).

Discussion de l'étude 3

Le but de cette étude était de tester expérimentalement la présence d'un biais attentionnel dans le CV inférieur chez les signeurs (sourds et entendants) comme observé dans l'étude de Dye et al. (2015). Nous avons comparé les performances de sourds signeurs, de CODAs et d'entendants non-signeurs dans la réalisation d'une tâche de recherche visuelle dans le CV périphérique. La tâche utilisée dans cette étude nécessite l'engagement de l'attention divisée et sélective. En effet, le participant doit déployer son attention sur les 6 formes géométriques présentées pour ne sélectionner que la cible et traiter l'information à l'intérieur (i.e., orientation de la ligne)

Avec un modèle hiérarchique de diffusion dans la de prise de décision, nous avons estimé les valeurs de 3 paramètres résumant les performances des participants. Les paramètres a et v représentent les caractéristiques inhérentes à la prise de décision avec la quantité d'informations nécessaires pour prendre une décision (a) et la vitesse à laquelle ces informations sont accumulées (v). En plus le modèle estime un dernier paramètre (t) illustrant le temps non-décisionnel c'est-à-dire, le temps écoulé avant le début du processus de prise de décision (ex., perception sensorielle, encodage visuel) ainsi que le temps écoulé entre la prise de décision et la réponse effective du participant (ex., processus sensoriels, planification et exécution motrice). Le premier paramètre, le *threshold* (a) reflétant la quantité d'information nécessaire pour prendre une décision, était comparable dans les trois groupes, quel que soit le champ visuel. En effet, le modèle expliquant le mieux les valeurs des *threshold* est le modèle n'incluant ni d'effet du groupe, ni d'effet du CV. Par contre, les résultats montrent une différence intéressante dans les asymétries de champ visuel entre les groupes dans la vitesse d'extraction des informations pertinentes pour prendre une décision

(*drift-rate*, v). Les trois groupes possèdent une vitesse globale d'extraction des informations similaire, mais les sourds signeurs présentent une asymétrie entre la vitesse dans le CV inférieur et celle dans le CV supérieur avec une vitesse plus élevée dans le CV inférieur. Cette différence ne semble pas attribuable à l'apprentissage précoce de la langue des signes puisque les CODAs ne présentent pas d'asymétrie de CV. Il est possible que l'absence de retour sonore suite à la réalisation de mouvements (e.g., le bruit d'un verre que l'on pose sur une table) obligerait à porter davantage d'attention visuelle vers l'espace d'action. Or, l'espace visuel inférieur peut être considéré comme l'espace de l'action⁴. Ainsi, grâce aux mécanismes de compensation sensorielle, la vitesse d'extraction des informations visuelles pertinentes dans cet espace de l'action se serait développée chez les personnes sourdes afin d'intégrer de manière optimale les détails nécessaires à la compréhension des conséquences de leurs actions (non linguistiques). Cette hypothèse pourrait expliquer un *drift-rate* plus rapide chez les sourds dans le CV inférieur. Enfin, les sourds signeurs possèdent un temps de réponse non décisionnel (t) plus court que les entendants non-signeurs et les CODAs quel que soit le CV. Bien qu'il ne soit pas possible de caractériser directement le processus « non décisionnel » à l'origine de cette différence, il est fort probable que ce soit un processus ayant lieu avant le début de la prise de décision du type perception sensorielle, encodage visuel puisque les sourds signeurs sont généralement plus rapides que les entendants (signeurs ou non-signeurs) dans les tâches de type détection cible qui ne nécessitent pas de prise de décision (étude 2 de ce travail de thèse, Bottari, Nava, Ley, & Pavani, 2010; Loke & Song, 1991; Neville & Lawson, 1987). De plus, il est difficilement concevable que cette différence soit due à une programmation ou exécution motrice plus rapide, puisqu'il n'existe -à notre connaissance- aucune étude suggérant une telle différence entre sourds et entendants. Ainsi il semble donc que les différences observées avec l'application du modèle de prise de décision dans la tâche de recherche visuelle soient davantage une conséquence de la surdité précoce plutôt que de la pratique de la langue des signes.

Nous pensons que la façon la plus précise pour analyser les données dans des tâches comme celle de cette étude est d'utiliser les modèles de diffusion afin de décomposer les

⁴ Voir les travaux de Previc (1990, 1998). Selon cet auteur, l'espace inférieur est l'espace de l'action, l'espace péri-personnel principalement relié à la voie magnocellulaire. Au contraire, l'espace supérieur est l'espace lointain, celui par lequel on construit et perçoit son environnement principalement relié à la voie parvocellulaire.

performances en différents paramètres reflétant différents des processus cognitifs (Ratcliff & Childers, 2015). Malgré cela, nous avons également analysé les données brutes de notre étude en comparant les temps de réponses d'un côté et la précision des réponses de l'autre afin de pouvoir comparer nos résultats avec la littérature, car il n'existe pas, à ma connaissance, d'étude ayant appliqué un modèle de prise de décision dans le traitement de leurs données. Au niveau des temps de réponses correctes, l'analyse « classique » ne révèle pas de différence notable entre les trois groupes avec également une proportion bonnes réponses similaires avec environ 90% de bonnes réponses. Mais si l'on s'intéresse à la distribution de ces bonnes réponses entre les CV supérieur et inférieur, les signeurs (sourds et entendants) présentent un profil différent des entendants non-signeurs. Alors que les performances entre les deux CV sont similaires chez ces derniers, les signeurs font davantage de réponses correctes dans le CV inférieur. Ce biais pourrait être le reflet d'une redistribution des ressources attentionnelles vers le CV inférieur chez les signeurs. La pratique de la langue des signes ne permettrait pas une augmentation globale des bonnes réponses, mais modifierait l'équilibre dans la sensibilité des CV. A force de sollicitation, le CV inférieur drainerait des ressources attentionnelles habituellement dévolues au CV supérieur afin de pouvoir répondre de façon optimale aux contraintes de la langue des signes.

La redistribution de l'attention visuelle chez les sourds a été observée dans une précédente étude entre le CV central et le périphérique (Proksch & Bavelier, 2002). La tâche utilisée dans cette étude est une tâche d'attention sélective. Selon Proksch et Bavelier (2002) la redistribution de l'attention vers le CV périphérique chez les sourds signeurs ne serait pas la conséquence d'un apprentissage précoce de la langue des signes puisque les CODAs présentaient des performances comparables aux entendants non-signeurs. Mais, ces résultats ne sont pas nécessairement incompatibles avec les nôtres puisque les auteurs ne se sont pas intéressés aux différences de performances entre le CV supérieur et inférieur. Il est possible que globalement les entendants (signeurs ou non) aient moins de ressources attentionnelles dans l'espace périphérique que les sourds, mais qu'en même temps, la pratique de la langue des signes (chez les sourds ou et les entendants) entraîne un biais attentionnel en faveur du CV inférieur périphérique. Cette hypothèse explique les résultats de l'étude de Dye et collaborateurs (Dye, Hauser, & Bavelier, 2009; Dye et al., 2015). En effet, dans cette étude les auteurs ont observé que les sourds (signeurs ou non) avaient de

plus grandes capacités d'attention divisée et sélective entre le CV central et périphérique que les entendants (signeurs ou non), mais que les signeurs (sourds ou entendants) présentaient un biais attentionnel dans leur CV périphérique inférieur plus important que les non-signeurs (sourds ou entendants).

Même si l'analyse "RT & Accuracy" n'est pas la plus optimale, elle permet de faire un parallèle très intéressant entre nos résultats et ceux rapportés par la littérature. Elle illustre l'importance d'explorer davantage les asymétries verticales de CV chez les sourds et entendants signeurs. De plus, l'absence d'étude sur la cognition visuelle chez les sourds utilisant les modèles de diffusion pour la prise de décision rend compliqué la mise en perspective de nos résultats. Il serait extrêmement intéressant de pouvoir récupérer les données de certaines études précédemment publiées afin d'estimer les paramètres du modèle et de les comparer dans une méta-analyse. Il serait également très intéressant de comprendre mieux pourquoi les résultats du HDDm et de l'analyse classique ne sont pas compatibles vis-à-vis de l'impact de la pratique de la langue des signes. Les deux méthodes d'analyse ne se focalisent pas tout à fait sur des mécanismes cognitifs équivalents. La modélisation des données a pour but de décomposer les processus de prise de décision dans les temps de réponse avec que l'analyse "RT & Accuracy" donne un aperçu des performances brutes des participants. Il se pourrait ainsi que sur les données brutes on observe un effet de la pratique de la langue des signes avec un biais en faveur du CV inférieur, mais que si l'on se concentre sur les mécanismes de prise de décision on observe que la surdité précoce entraîne un biais dans la vitesse d'extraction des informations en faveur du CV inférieur. Le calcul d'un d' serait pertinent pour évaluer la sensibilité respective dans le CV inférieur et supérieur de chacun des groupes.

Pour conclure, nos résultats corroborent la littérature avec des performances d'attention divisée et sélective dans le champ visuel périphérique plus élevées chez les sourds signeurs (e.g., Proksch & Bavelier, 2002 ; Dye et al., 2015) particulièrement dans le CV inférieur. L'influence de l'apprentissage précoce de la langue des signes sur ces performances attentionnelles est néanmoins difficile interpréter à cause de résultats d'analyses différentes relativement contradictoires. Cette étude corrobore également la littérature avec des temps de traitement visuel bas niveau (non-decision time) plus rapides chez les sourds signeurs que chez les entendants (e.g., Bottari et al., 2010 ; Loke & Song,

1991 ; Neville & Lawson, 1987). Cette étude étant la première à utiliser un modèle de prise de décision dans l'étude du traitement visuel chez les sourds et les signeurs, il serait désormais intéressant de compléter et de répliquer nos observations avec des données traitées de façon similaires.

Conclusion du chapitre 2

Les trois études de ce chapitre avaient pour but de mieux comprendre l'impact de la surdité précoce et profonde et de la pratique de la langue des signes sur le traitement visuel périphérique. La première étude évaluait les seuils de sensibilité aux contrastes de luminance chez des entendants signeurs et des entendants non-signeurs. Dans la seconde étude, les capacités attentionnelles pour la détection et la discrimination de cibles ont été comparées dans une large portion du champ visuel périphérique chez des sourds signeurs, des entendants signeurs et des entendants non-signeurs. Enfin, la dernière étude évaluait la distribution de l'attention sélective périphérique avec une tâche de recherche visuelle chez des sourds signeurs, des CODAs et des entendants non-signeurs.

Dans la première étude nous observons une plus grande sensibilité aux contrastes de luminance chez les entendants signeurs dans l'espace de signation, c'est-à-dire entre 3 et 15 degrés d'excentricité dans le champ visuel inférieur. En parallèle, la distribution des cellules dans la partie supérieure et inférieure de la macula est différente entre les deux groupes d'entendants. Cette distribution atypique est corrélée chez les entendants signeurs avec leur fréquence hebdomadaire de pratique de la langue des signes.

Dans la seconde étude nous observons que l'attention exogène des personnes sourdes est plus réactive que celle des entendants avec des temps de détection de cible plus courts quelle que soit la localisation de la cible entre 15 et 53 degrés d'excentricité visuelle. Les résultats de la tâche de discrimination suggèrent que les processus d'attention endogène nécessaire à la réussite de la tâche, notamment l'orientation, ne sont pas modifiés chez les sourds pour traiter des cibles entre 15 et 53 degrés d'excentricité visuelle. De manière intéressante les entendants signeurs présentent une asymétrie de traitement entre les champs visuels supérieur et inférieur plus importante que les entendants non-signeurs et que les sourds signeurs. L'avantage pour le CV inférieur des entendants signeurs est particulièrement important dans la tâche de discrimination et suggère un biais dans l'attention visuelle endogène pour cette portion de l'espace.

Enfin, dans la dernière étude certains résultats sont relativement contradictoires avec ceux de la seconde. En effet, notre hypothèse postulait l'existence d'un biais attentionnel dans le CV inférieur chez les signeurs mais seuls les sourds sont plus rapides que les entendants non-signeurs pour extraire les informations pertinentes dans leur CV inférieur. Ce résultat reste néanmoins à nuancer, car l'analyse de la proportion de bonnes réponses montre que les CODAs et les sourds signeurs ont un pourcentage de bonnes réponses plus important dans leur CV inférieur que dans leur CV supérieur alors que les entendants non-signeurs présentent des performances équivalentes dans les deux CV. Grâce à l'estimation des paramètres de prise de décision nous observons également, comme dans l'étude 2, que le traitement visuel de bas niveau semble plus rapide chez les sourds que chez les entendants.

L'impact de la surdité

L'ensemble de ces études montrent que les sourds ne sont pas meilleurs que les entendants pour traiter l'information visuelle périphérique. S'ils l'étaient, leurs performances en discrimination de cibles (étude 2) et en recherche visuelle (étude 3) auraient été supérieures à celles des entendants, or ce n'est pas le cas. Il semble plutôt que la surdité entraîne une augmentation de la vitesse de traitement de l'information visuelle et en particulier les traitements de bas niveau. En d'autres termes, les sourds auraient une attention exogène plus réactive que les entendants dans l'espace périphérique (du moins entre 10 et 53°) leur permettant de détecter plus rapidement l'apparition d'une information visuelle quelle que soit sa localisation. Ces résultats sont cohérents avec la littérature (e.g., Loke & Song, 1991; Bottari et al., 2010; Codina et al., 2017), mais comme discuté dans la discussion de l'étude 2, il serait désormais intéressant de déterminer l'excentricité critique à partir de laquelle cette attention exogène est plus réactive chez les sourds.

Les résultats de la littérature et de l'étude 3 suggèrent également que les processus d'attention endogène peuvent être modulés par la surdité et notamment lorsque l'attention endogène est divisée et sélective. Cependant, la tâche de discrimination de cibles (étude 2) qui implique également l'attention endogène ne montre pas de différence entre sourds et

entendants⁵. Il est ainsi possible qu'il n'y ait que certains aspects de l'attention endogène qui soient modulés chez les sourds signeurs. Les résultats montrant un changement dans les ressources attentionnelles endogène chez les sourds s'observent principalement dans des tâches impliquant une attention divisée et sélective dans le champ visuel périphérique (e.g., Chen et al., 2010; Dye et al., 2009, 2015; Hauthal et al., 2012; Proksch & Bavelier, 2002; Seymour et al., 2017; Stivalet, Moreno, Richard, Barraud, & Raphel, 1998) et moins dans des tâches d'orientation et d'engagement de l'attention visuelle pour traiter une cible (Bottari et al., 2010). Certaines études concluent à des mécanismes d'orientation de l'attention visuelle plus rapides chez les personnes sourdes (e.g., Calmenero et al., 2004 ; Bosworth & Dobkins, 2002), mais avec des paradigmes différents de celui utilisé dans l'étude 2. Les tâches utilisées étaient majoritairement des tâches de détection de cible après indiçage. Dans ces études le participant ne devait donc pas *traiter la nature* de la cible, mais la *localiser spatialement* dans des conditions de facilitation ou d'interférence. Le traitement visuel nécessaire à la réalisation de ces tâches est donc différent. La seule étude utilisant un paradigme proche du nôtre est celle de Bottari et al. (2010) dans laquelle les sourds n'étaient pas plus rapides que les entendants non-signeurs pour discriminer l'orientation d'une cible (i.e., C ou ∩), avec même un pourcentage d'erreur plus élevé chez les sourds signeurs que chez les entendants non-signeurs. Nos résultats seraient alors cohérents avec la littérature suggérant une modification spécifique de l'attention endogène sélective (étude 3), mais pas ou peu de l'orientation de l'attention endogène pour traiter la nature d'une cible (étude 2).

Un point soulevé par l'étude 3 est pourquoi l'avantage du drift-rate s'observe chez les sourds et uniquement dans le CV inférieur. Comme avancé dans la discussion de l'étude 3, cette asymétrie pourrait être une conséquence de l'absence de retour auditif de la réalisation de leurs actions, qui sont en grande majorité effectuées dans l'espace inférieur. Chez une personne entendante, il existerait une association entre une action et le son de sa réalisation. A la suite de la réalisation d'une action (e.g., poser un verre sur une table), il y aurait une attente d'un retour auditif pour statuer sur le succès (e.g., bruit attendu du verre

⁵ Le modèle de prise de décision a également été appliqué sur les données de discrimination, mais comme aucun résultat intéressant n'en est ressorti, nous avons décidé de ne pas les ajouter au manuscrit. Nous avons en effet estimé que la partie *résultats* de l'étude 2 était déjà suffisamment longue.

sur la table) ou l'échec (e.g., bruit du verre qui éclate sur le sol) de l'action en question. L'augmentation de la rapidité d'extraction des informations visuelles pertinentes dans le CV inférieur chez les personnes sourdes pourrait alors être une conséquence de l'absence de cette association action-son chez les sourds. En l'absence de ce feedback auditif informatif, ils se reposeraient sur la modalité visuelle. Cette proposition nécessite davantage de recherche à la fois chez la personne sourde et la personne entendante. En effet, il serait tout d'abord nécessaire de comprendre les liens entre la réalisation d'une action et l'attente sonore associée puis d'explorer l'importance de ce feedback auditif en testant l'effet de l'absence d'un feedback ou d'un feedback non-congruent sur l'activité cérébrale par exemple.

Pour conclure, il semblerait que la surdité précoce et profonde améliore la vitesse de réactivité face à l'apparition d'un stimulus et cela même sur des grandes excentricités visuelles. Cette hausse de réactivité visuelle permettrait ainsi aux personnes sourdes d'être alertées lorsqu'un événement potentiellement dangereux se déroule dans leur environnement. Il semblerait également que la surdité ait un impact sélectif sur l'attention endogène et particulièrement lorsque l'attention divisée et sélective est nécessaire pour la réalisation de la tâche.

L'impact de la langue des signes

Contrairement à ce qui est suggéré dans la littérature, la pratique de la langue des signes semble avoir un effet sur le traitement visuel. Plus précisément, la pratique de la langue des signes ne modifie pas les performances globales ou la rapidité du traitement visuel, mais semble augmenter la saillance de l'espace visuel inférieur (étude 1, 2 et 3). L'absence de résultat sur la pratique de la langue des signes dans la littérature est certainement due à l'absence de comparaison entre les performances entre le CV supérieur et inférieur.

La pratique de la langue des signes chez les entendants aurait dans un premier temps un impact sur le traitement visuel de bas niveau en augmentant la sensibilité aux contrastes de luminance dans la zone où sont habituellement perçus et traités les signes entre 3 et 15° d'excentricité visuelle (étude 1). En parallèle de cette hausse de sensibilité, les signeurs auraient également un biais attentionnel en faveur du CV inférieur comme observé dans l'étude de Dye et al. (2015). En effet, les signeurs sourds et entendants auraient de

meilleures capacités pour sélectionner et traiter une information spécifique dans leur CV inférieur que dans leur CV supérieur (étude 3). Contrairement aux entendants non-signeurs dont l'*attentional spotlight*⁶ est orienté par défaut avec le champ visuel central, celui des signeurs serait orienté vers l'espace inférieur autour des 10°, c'est-à-dire dans l'espace de signation. En plus de cela, les entendants signeurs auraient une asymétrie entre le CV inférieur et supérieur plus importante que les sourds signeurs et les entendants signeurs et notamment pour discriminer la forme d'une cible (étude 2). Les capacités endogènes d'engagement et d'orientation de l'attention seraient plus importantes dans le CV inférieur que supérieur chez les entendants signeurs et cela d'autant plus que l'excentricité visuelle est importante. De plus les résultats de l'étude 2 ne sont pas compatibles avec les récents résultats de Codina et al. (2017) qui observaient un effet additif de la pratique de la langue des signes et de la surdité dans la détection de cibles dans la grande périphérie avec des temps de réponses d'interprètes de la BSL plus rapides que ceux des entendants non-signeurs.

En essayant de synthétiser nos 3 études il est compliqué de comprendre clairement quel(s) mécanisme(s) précis est/sont impacté(s) par la pratique de la langue des signes. En effet, même si dans chacune des études il est possible d'observer un biais en faveur du CV inférieur, les tâches impliquent des traitements visuels de différentes complexités. Il serait intéressant de mieux caractériser ces différences avec des techniques d'imagerie comme l'EEG puisqu'il n'y a pas de limites de présentation dans les excentricités visuelles. Nos études sont cependant parmi les premières à mettre en lumière un effet de la pratique de la langue des signes dans le traitement du champ visuel inférieur et nos résultats ouvrent de nouvelles perspectives de recherche.

⁶ Ou faisceau attentionnel. L'*attentional spotlight* peut se définir comme étant la portion de l'espace dans laquelle se concentrent les capacités attentionnelles d'une personne. Les capacités attentionnelles se réduisent en s'éloignant de centre de ce faisceau. La baisse de ces capacités suit ce que l'on appelle un gradient attentionnel.

CHAPITRE 3 :

Le traitement des visages et reconnaissance des expressions faciales

Section théorique

1. Le traitement et la reconnaissance d'un visage

Le traitement d'un visage va en partie dépendre de l'expérience sensorielle précoce (Le Grand, Mondloch, Maurer, & Brent, 2001), du type de visages présents dans l'environnement (Kelly et al., 2007) ou du contexte linguistique (Kandel et al., 2016), autant de raisons de penser que la surdit   pr  coce pourrait impacter les diff  rents processus de traitement des visages. Il est possible qu'en l'absence d'informations sonores pour comprendre son interlocuteur, une personne sourde se repose de mani  re plus importante sur les indices visuels donn  s par le visage et son expression et sur la lecture labiale. Cette plus grande d  pendance au visage pourrait ainsi affecter certains m  canismes de traitement des visages. Mais il est   galement possible que la place centrale des expressions faciales dans la communication en langue des signes avec la n  cessit   de comprendre rapidement les changements fins dans la configuration des parties internes du visage puisse   tre un facteur de modulation des processus du traitement des visages.

i. Contexte th  orique g  n  ral

Le visage n'est pas un signal visuel comme les autres pour l'  tre humain. C'est un signal social porteur d'un grand nombre d'informations sur l'identit   de la personne (e.g., genre,   ge, origine culturelle) et d'indices permettant d'inf  rer sur son   tat mental (e.g., humeur,   motion, attirance ou aversion). Toutes ces informations nous permettent de juger de la familiarit   de la personne et d'ajuster notre comportement de mani  re    avoir des r  actions les plus adapt  es possible. Percevoir un visage est un processus faisant appel    notre repr  sentation mentale prototypique du visage poss  dant une configuration spatiale sp  cifique et des   l  ments invariants (Gosselin, Schyns, 2003; Smith, Gosselin, & Schyns,

2012). Ce prototype doit en même temps avoir suffisamment de degrés de liberté pour reconnaître une grande variété de visages ou différents exemplaires d'un même visage.

L'un des principaux modèles pour la reconnaissance des visages a été proposé par Bruce et Young en 1986. Ce modèle s'inscrit dans la même idée que le modèle de perception des objets de Marr (1982) et postule que la reconnaissance des visages est hiérarchique avec une extraction d'informations visuelles à différents niveaux de complexité. Ainsi grâce à l'encodage structural de l'image, il est possible de catégoriser le stimulus comme étant un visage humain, un visage non-humain, un mot, ou toute autre grande catégorie. Une fois catégorisé comme visage, différents types d'informations plus complexes vont être extraites comme l'expression faciale, l'âge, le sexe, l'ethnicité, la configuration interne des éléments du visage ou encore les éventuelles caractéristiques du visage (e.g., cicatrice, yeux vairons). Si les invariants du visage perçus sont suffisamment proches d'une de nos représentations internes, un sentiment de familiarité va émerger. La dernière étape va alors consister à caractériser ce sentiment de familiarité en activant les informations sémantiques et personnelles qui y sont liées afin de pouvoir identifier ou nommer ce visage.

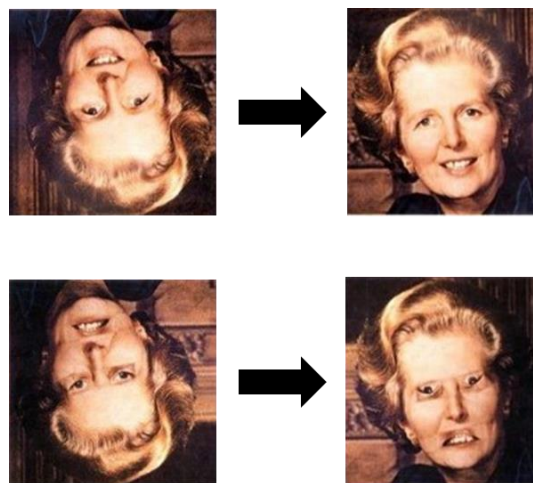


Figure 3.1: Illustration du Thatcher Effect d'après Thompson (1980). Sur la ligne du haut le visage de M. Thatcher n'a pas été modifié alors que dans la ligne du bas les yeux et la bouche ont été retournés. Lorsque le visage modifié est présenté à l'envers, il est difficile pour un observateur naïf de remarquer les transformations alors que ces dernières « sautent aux yeux » lorsque le visage est présenté à l'endroit.

Le visage a une orientation canonique et sa présentation inversée (i.e., la tête en bas) perturbe fortement nos capacités de traitement et de reconnaissance. Par exemple, le

Thatcher Effect (Thompson, 1980) illustre les limites de notre traitement des visages lorsque ce dernier est présenté à l'envers, et ce notamment pour percevoir les détails internes du visage (voir figure 3.1). Cet effet viendrait de la difficulté à extraire les informations pertinentes d'un visage présenté à l'envers et donc à créer des relations cohérentes entre les caractéristiques internes du visage. On parle alors de l'effet d'inversion ou *face inversion effect* (Rossion & Gauthier, 2002). Ce processus d'extraction des relations et des configurations spatiales internes d'un visage (e.g., l'espace entre les sourcils ou la taille du nez par rapport à celle de la bouche) est un traitement dit configural du visage. D'un point de vue expérimental, l'effet d'inversion est généralement testé par des tâches de reconnaissance ou d'appariement de visages présentés à l'endroit et à l'envers et a pour conséquence des temps de réponse plus longs et un plus fort taux d'erreurs. Il est important de noter que cet effet est propre au visage c'est-à-dire que la présentation inversée d'objet avec une orientation canonique (e.g., maison, arbre, voiture) n'entraîne que peu de baisse de performance de reconnaissance.

Le traitement du visage serait holistique, c'est-à-dire que le tout serait supérieur à la somme de ses parties (théorie de la Gestalt) et l'effet composite illustre cette intégration holistique des informations du visage. Cet effet consiste à présenter un visage composé de deux moitiés de visages connus ou célèbres (e.g., moitié supérieure de Brad Pitt et moitié inférieure de Tom Cruise). Ainsi assemblées en un nouveau visage (figure 3.2), il est très difficile de discerner les deux parties indépendantes et de les identifier. Le visage est alors perçu comme étant celui d'une tierce personne inconnue.



Figure 3.2: Illustration de l'effet composite (inspiré de Lee, Anzures, Quinn, Pascalis, & Slater, 2011). Les images A et B sont les visages de B. Pitt et de T. Cruise. L'image C représente le visage composite constitué de la partie supérieure du visage de B. Pitt et de la partie inférieure du visage de T. Cruise. L'image D représente les mêmes demi-visages, mais non-alignés.

Cet effet composite se réduit de manière considérable dès que les deux moitiés ne sont plus alignées, quand il n’y a plus de traitement holistique (i.e., il devient alors possible de dissocier les deux parties du visage). Un visage peut donc être traité de différentes façons. Le traitement configural permet d’établir des relations entre les différents éléments internes du visage et le traitement holistique intègre toutes les caractéristiques du visage en un tout cohérent. Ces processus permettent *in fine* la reconnaissance d’un visage, c’est-à-dire d’émettre un jugement de familiarité, de discriminer deux visages entre eux ou encore d’identifier et nommer un visage.

Le visage possède des régions et des dynamiques d’activations cérébrales qui lui sont principalement dédiées. Concernant les régions cérébrales, percevoir et traiter un visage ferait appel à un système central et à un système étendu (Haxby, Hoffman, & Gobbini, 2000). Selon le modèle de Haxby et al. (2000) le système central du traitement des visages est bilatéral et se situe dans la voie ventrale parvocellulaire. Ce système comprend l’aire occipitale des visages (OFA), l’aire fusiforme des visages (FFA) et, le sulcus temporal supérieur (STS). Le visage est par la suite traité par le système étendu dont la distribution cérébrale est plus vaste et dont les activations sont moins spécifiques aux visages (figure 3.3).

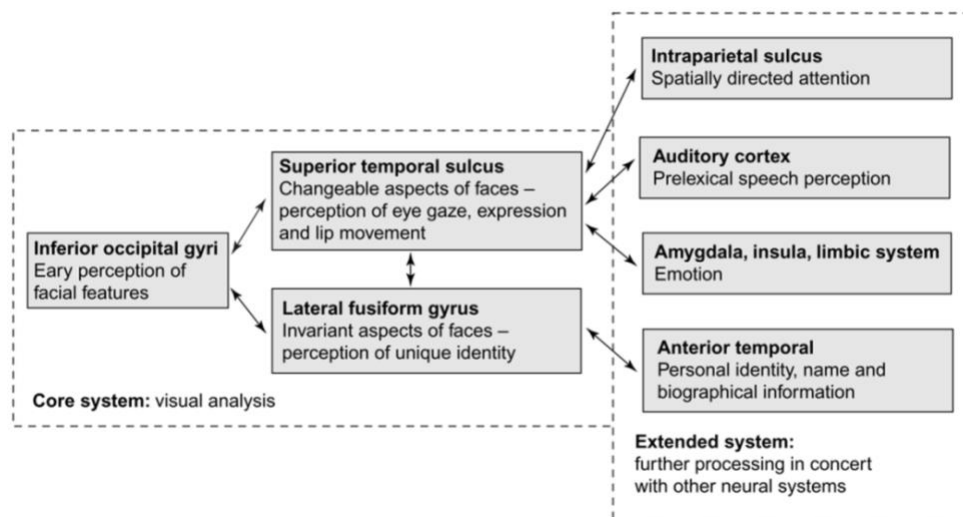


Figure 3.3 : Modèle de la distribution du système cérébral humain du traitement des visages. Le *core system* ou système central est composé d’aires spécifiques au traitement des visages alors que le *extended system* ou système étendu est composé d’aires moins spécifiques (Haxby et al., 2000).

Dans le système central l’OFA (figure 3.4-A) constituerait une des premières étapes du traitement des visages. Cette région permettrait la classification du stimulus visuel comme

étant un visage par l'extraction de ses caractéristiques élémentaires et de sa structure (Kanwisher & Barton, 2011; Pitcher, Walsh, & Duchaine, 2011). La FFA (figure 3.4-B) servirait à reconnaître ou à mettre une identité sur un visage grâce au traitement de ses aspects invariants (Kanwisher & Barton, 2011; Gauthier et al., 2000; Kanwisher, Mcdermott, & Chun, 1997). Enfin, le STS et notamment sa partie postérieure (figure 3.4-C) serait principalement impliqué dans le traitement des aspects variants et dynamiques du visage comme les expressions ou les émotions (Lidaka, 2014; Kanwisher & Barton, 2011). Au niveau de la dynamique temporelle, le traitement des visages entraîne également une spécificité dans la composante N170 et est particulièrement observable dans les régions occipito-temporales. Cette négativité est plus importante et plus rapide après la présentation d'un visage que d'un autre stimulus suggérant une fois encore un traitement privilégié des visages (Bentin, Allison, Puce, Perez, & McCarthy, 1996; Eimer, 2012).



Figure 3.4 : Coupe sagittale de l'hémisphère droit de l'activation système central du traitement des visages. À : aire occipitale des visages, B : aire fusiforme des visages et C : sulcus temporal supérieur postérieur. Les activations sont représentées après le contraste visage-objet (d'après Pitcher et al., 2011)

ii. Le traitement des visages chez les sourds signeurs

La littérature sur le traitement des visages et des émotions chez les personnes adultes sourdes et ou signeuses n'est pas très conséquente et peu d'études ont pu tester l'hypothèse d'un rôle particulier de la pratique de la langue des signes indépendamment de la surdité précoce. Cette limite méthodologique et expérimentale s'explique en très grande partie par la difficulté à recruter des entendants signeurs. L'hypothèse de la plasticité fonctionnelle du traitement des visages induite par la pratique de la langue des signes de Emmorey (2001) est par conséquent difficile à étayer ou non. Cette hypothèse postule que les signeurs seraient plus efficaces que les non-signeurs pour traiter un visage, mais

uniquement sur les aspects du traitement du visage impliqués dans la communication signée.

1. Discrimination des caractéristiques internes d'un visage

Les premières études sur les capacités de traitement des visages chez les personnes sourdes signeuses se sont particulièrement intéressées aux capacités de discriminations des visages (Bettger, Emmorey, McCullough, & Bellugi, 1997; McCullough & Emmorey, 1997). L'hypothèse avancée par ces études est que les signeurs doivent être capables d'identifier et discriminer les changements à l'intérieur d'un visage afin de comprendre les expressions faciales lors d'une communication signée et d'associer le sens exact aux gestes de parole. Afin de tester ces capacités chez les signeurs Bettger et al. (1997) ont utilisé le Benton Face of Facial Recognition (ou Benton Test) auprès de différentes populations de signeurs (i.e., sourds signeurs natifs, sourds signeurs tardifs et entendants signeurs natifs) et d'une population d'entendants non-signeurs. Dans le Benton Test, le participant doit retrouver parmi six visages se ressemblant le ou les visages correspondant(s) au visage cible présenté simultanément (figure 3.5). Le participant doit donc discriminer les visages afin de faire des appariements corrects. Le visage cible est toujours présenté de face, mais les visages proposés peuvent être présentés de face, de profil ou mal éclairé (i.e., avec des ombres). Dans cette étude le pourcentage de bonnes réponses pour chaque condition de présentation des visages était pris en compte.



Figure 3.5 : Exemple de stimuli du Benton Test utilisés dans l'étude de Bettger et al. (1997) pour la condition visages de profils. Les visages n°2, n°5 et n°6 sont identiques au visage cible de gauche.

Les auteurs ont observé un effet principal du groupe sur les performances de discrimination/appariement. Plus précisément les trois groupes de signeurs avaient des scores supérieurs aux entendants non-signeurs. Cependant, la différence de performance provenait principalement de la condition où les visages étaient mal éclairés. En d'autres termes, l'effet de la pratique de la langue des signes s'observait uniquement lorsque le traitement était particulièrement difficile. Un point important à soulever est que les sourds signeurs natifs et sourds signeurs tardifs avaient des performances de discrimination comparables suggérant que, une fois adulte, l'âge d'apprentissage de la langue des signes ne serait pas un facteur déterminant les performances de discrimination des visages.

La même équipe de recherche s'est par la suite intéressée à mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à cette hausse des performances (McCullough & Emmorey, 1997). Selon eux cette performance ne proviendrait pas d'une meilleure mémoire des visages, ni d'une meilleure perception globale des visages, mais d'une meilleure capacité à détecter les changements dans les caractéristiques internes d'un visage. Pour tester cette idée, le participant devait dans un premier temps observer et mémoriser une photo de visage. Ensuite, deux versions de ce même visage étaient présentées et le participant devait décider lequel des deux visages présentés correspondait exactement au visage cible, un des deux visages ayant subi une modification au niveau des yeux, du nez ou de la bouche (i.e., remplacement de la partie du visage par celle d'un autre visage). Les sourds signeurs étaient plus efficaces que les entendants (signeurs ou non-signeurs) pour détecter des modifications au niveau de la bouche alors que les entendants signeurs étaient plus efficaces que les entendants non-signeurs pour détecter les changements au niveau des yeux. Les auteurs concluent ainsi que les signeurs ne sont pas meilleurs que les non-signeurs pour traiter les visages, mais plutôt qu'ils sont plus efficaces pour détecter les modifications subtiles dans la configuration interne d'un visage. Pour les auteurs cette compétence semble indispensable à la compréhension des visages en langue des signes contrairement à la mémorisation et au traitement global d'un visage.

2. Effet d'inversion et effet composite

Si les sourds signeurs sont plus efficaces que les entendants non-signeurs pour discriminer les détails internes d'un visage, il est légitime de se demander s'ils traitent les

visages de manière différente. Une étude de de Heering, Aljuhanay, Rossion, & Pascalis, (2012) a testé la sensibilité des sourds signeurs à l'effet d'inversion et à l'effet composite. Les sourds signeurs présentaient un effet d'inversion plus important que les entendants non-signeurs. Ils avaient besoin de plus de temps que les entendants non-signeurs pour traiter correctement un visage quand celui-ci était présenté de manière inversée. Les auteurs suggèrent alors que les sourds signeurs seraient plus dépendants du traitement configural des visages. Ces derniers auraient besoin de plus de temps quand les informations fournies habituellement par le traitement configural ne sont pas (ou peu) disponibles. Dans la tâche sur de visages composites, sourds signeurs et entendants non-signeurs présentaient des profils de réponses similaires. Pour les auteurs, la surdité précoce associée à la pratique de la langue des signes ne changerait pas fondamentalement la façon dont les visages sont traités, mais augmenterait la dépendance aux informations aux relations entre les éléments internes du visage.

Une seconde étude plus récente s'est également intéressée à l'effet d'inversion chez les personnes sourdes signeuses (He, Xu, & Tanaka, 2016). En plus de manipuler l'orientation du visage, les auteurs ont également manipulé les détails internes du visage en modifiant soit la région autour de la bouche soit celle autour des yeux (figure 3.6). Cette variable expérimentale permettait de tester l'importance respective de la bouche et des yeux dans le traitement des visages indépendamment de son orientation. Les participants réalisaient une tâche de *same/different* ; ils devaient indiquer si les deux visages successifs qu'ils avaient observés étaient physiquement (morphologiquement) identiques ou non. L'effet d'inversion sur les visages était globalement moins fort chez les sourds signeurs que chez les entendants non-signeurs et cela plus particulièrement quand les changements internes du visage avaient lieu au niveau de la bouche puisque aucun des deux groupes ne présentait d'effet d'inversion pour les changements au niveau des yeux. Les auteurs s'appuient sur la théorie du champ perceptif pour interpréter ces résultats (Rossion, 2009). Cette théorie postule que la taille du champ perceptif du visage est fonction de l'orientation d'un visage. Un visage présenté à l'endroit induit un champ perceptif relativement large permettant d'extraire toutes les informations des différentes parties du visage.

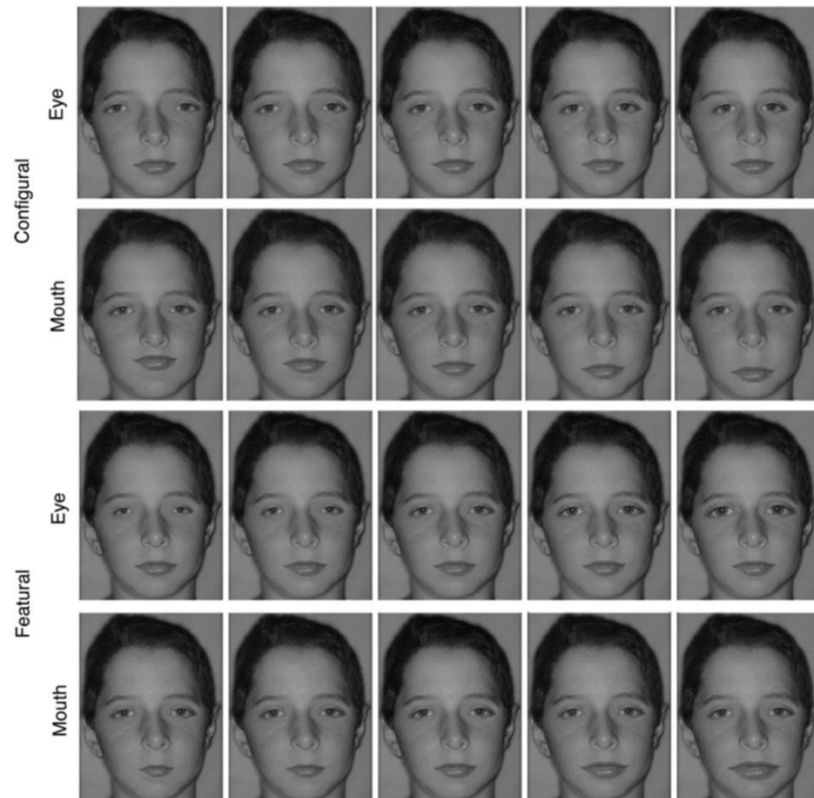


Figure 3.6 : Manipulations des détails internes du visage autour des yeux ou de la bouche utilisées dans l'étude de He et al. (2016).

Avec ce grand champ perceptif, il est possible de détecter des changements au niveau de la bouche puisque l'attention est essentiellement portée sur les yeux. Au contraire, quand le visage est inversé, la taille de ce champ perceptif se réduit fortement limitant la quantité d'informations pouvant être extraites. Ainsi avec une taille plus réduite de champ perceptif et une attention portée principalement sur les yeux, il est difficile de détecter les changements au niveau de la bouche. Toujours selon les auteurs, les yeux étant la partie la plus saillante du visage, elle serait celle que l'on regarde le plus (et en premier) quand le champ perceptif est réduit, expliquant l'absence d'effet d'inversion quand les changements ont lieu au niveau des yeux. Comme les sourds ont des capacités visuelles périphériques supérieures aux entendants non-signeurs, ils seraient moins impactés par le rétrécissement du champ perceptif quand le visage est inversé, expliquant l'effet d'inversion moins important chez les sourds pour les changements au niveau de la bouche. Une seconde hypothèse pouvant expliquer cette différence dans l'effet d'inversion au niveau de la bouche serait lié aux capacités de lecture labiale. En effet, comme les sourds sont plus à même d'utiliser la lecture labiale que les entendants pour comprendre leurs interlocuteurs, il est

possible qu'ils développent une sensibilité supérieure à la région de la bouche réduisant ainsi l'effet d'inversion. Les résultats de ces deux études suggèrent que les sourds seraient plus sensibles aux éléments internes du visage que les entendants non-signeurs avec une saillance particulièrement importante de la bouche. D'autres études portant spécifiquement sur les asymétries de traitement des visages ont corroboré et précisé ces observations.

3. Asymétrie des champs visuels dans le traitement des visages

Les études présentées précédemment semblent montrer que les sourds signeurs sont plus sensibles que les entendants non-signeurs aux éléments internes du visage et notamment à la région autour de la bouche. Une étude s'est spécifiquement intéressée à cette question en testant la sensibilité comportementale et cérébrale des sourds signeurs à la partie inférieure et supérieure des visages en utilisant l'effet composite (Mitchell, Letourneau, & Maslin, 2013). Les auteurs ont construits des visages composites constitués de deux moitiés de visages de deux personnes différentes (figure 3.7). Les participants devaient décider le plus rapidement et le plus précisément possible si les deux visages successivement présentés étaient constitués ou non de la même moitié supérieure du visage (ou inférieure selon la condition expérimentale) sans porter attention à la moitié inférieure (ou supérieure). Les visages présentés étaient soit intacts (i.e., alignés) soit non-alignés.

Au niveau comportemental, les sourds signeurs étaient globalement plus sensibles à l'alignement des moitiés de visages. Ils faisaient plus d'erreurs que les entendants non-signeurs pour discriminer correctement des moitiés de visage indépendamment de l'autre moitié. De plus, alors que les entendants non-signeurs avaient des performances équivalentes lorsqu'il leur était demandé de juger la moitié supérieure et inférieure du visage, les sourds signeurs avaient de meilleures performances lorsqu'ils devaient juger la moitié inférieure du visage par rapport à la moitié supérieure. La surdité précoce associée à la pratique de la langue des signes semble donc augmenter la sensibilité pour la partie inférieure du visage (i.e., la bouche). L'analyse des potentiels évoqués pendant la réalisation de la tâche n'a pas révélé de différence importante dans les activations cérébrales et notamment dans la N170. Les auteurs ont tout de même observé une légère asymétrie dans

la latence de la N170 avec une latence légèrement plus courte dans l'hémisphère droit chez les sourds signeurs alors que les entendants non-signeurs ne présentaient aucune asymétrie.

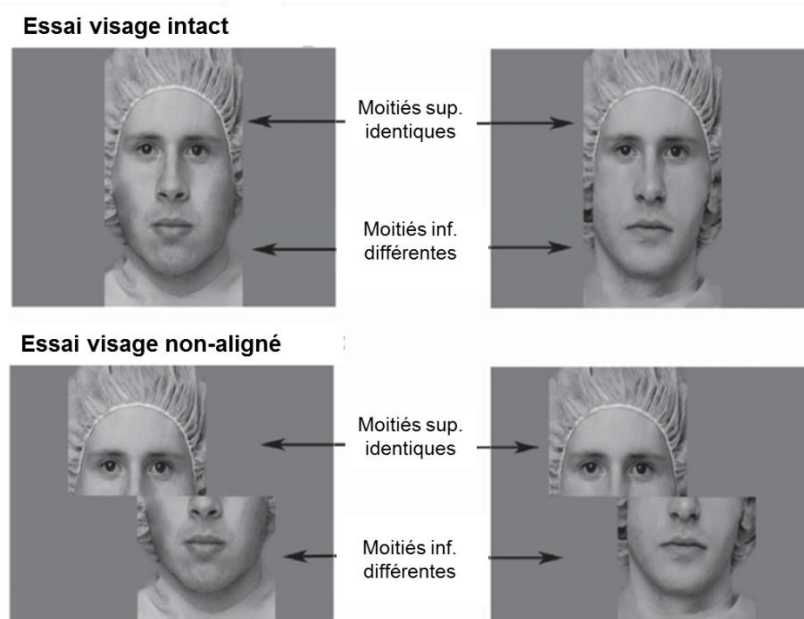


Figure 3.7 : Exemple de visages composites utilisés dans l'étude de Mitchell et al. (2013).

Cette étude soulève donc deux points importants. Tout d'abord elle corrobore l'idée que la région de la bouche a un statut particulier chez les sourds signeurs. Si cette sensibilité particulière pour la bouche est due à l'utilisation de la lecture labiale, elle ne devrait pas se retrouver chez les entendants signeurs (ou être aussi marquée). En effet, bien que la lecture labiale soit utilisée chez les entendants (signeurs ou non signeurs), elle est indispensable chez les sourds pour la compréhension du langage. Au contraire, si cette sensibilité est davantage liée à la pratique de la langue des signes, elle devrait également se retrouver chez les entendants signeurs. En effet, en langue des signes il est nécessaire de pouvoir discriminer correctement les différentes positions et mouvements de la bouche pour y associer la bonne signification linguistique et émotionnelle. Le second point important de cette étude est que les asymétries cérébrales de traitement des visages pourraient également être modulées par la surdité précoce associée à la pratique de la langue des signes. Cette modulation de latéralisation hémisphérique du traitement des visages chez les sourds signeurs a en effet été observée en EEG (Mitchell, 2017), en oculométrie (Dole, Méary, & Pascalis, 2017), ou encore en comportement (Dole et al., 2017; Letourneau & Mitchell, 2013) avec un recrutement plus important de l'hémisphère gauche (CV droit) chez

les sourds signeurs que chez les entendants non-signeurs. De plus, Mitchell (2017) a conduit une étude pilote sur 5 participants CODA et a observé des patterns de réponses similaires entre entendants signeurs et sourds signeurs. La cause de cette modulation pourrait donc être la pratique de la langue des signes. Il serait nécessaire que l'hémisphère spécialisé classiquement dans le traitement du langage soit également spécialisé dans le traitement des visages, car en langue des signes, traiter un visage est un processus langagier.

4. Mémorisation et appariement des visages

Arnold a réalisé deux études un peu différentes sur les capacités des sourds et des signeurs à mémoriser et appairer des visages sur un laps de temps relativement court (Arnold & Murray, 1998; Arnold & Mills, 2001). Les auteurs ont créé une tâche inspirée du jeu *The Concentration Game* (traduit sous le nom de *Memory* en France) dans lequel les participants doivent retrouver de mémoire des paires de cartes identiques. Au début du test le participant a une matrice de 6x6 cartes faces cachées face à lui. À chaque essai il peut retourner deux cartes de son choix, si ces deux cartes sont identiques l'essai est réussi et il peut enlever les deux cartes de sa matrice. Si les deux cartes sont différentes, l'essai est raté et le participant doit replacer les deux cartes faces cachées à leur emplacement d'origine. Cette tâche implique différents mécanismes cognitifs complexes comme la mémoire de travail, la reconnaissance des visages et des objets, la discrimination des items ainsi que de la mémoire spatiale. Les auteurs ont mesuré le temps total ainsi que le nombre d'essais nécessaires pour trouver les 18 paires identiques auprès de sourds signeurs, d'entendants signeurs tardifs et d'entendants non-signeurs.

Dans l'étude de Arnold & Murray (1998), les participants étaient testés sur une matrice de 18 paires de visages et sur une matrice de 18 paires d'objets. Pour retrouver les paires d'objets, les trois groupes avaient des performances relativement similaires avec tout de même un temps de réalisation total légèrement plus court chez les sourds signeurs. Au niveau des paires de visages, les sourds signeurs étaient meilleurs que les entendants tant en termes de temps total de réalisation qu'en termes de nombre d'essais. Les entendants signeurs étaient meilleurs que les non-signeurs mais également moins bons que les sourds signeurs. De plus, dans ce même groupe d'entendants signeurs, les auteurs ont observé une

corrélation négative entre l'expérience de pratique de la langue des signes et le nombre d'essais nécessaires pour trouver toutes les paires de visages. Plus la personne avait une longue expérience en langue des signes, moins elle avait besoin d'essais pour trouver les paires de visages. Selon les auteurs il y aurait donc un effet à la fois de la surdité précoce et de la pratique de la langue des signes pour réaliser la tâche d'appariement, mais uniquement pour les visages.

La seconde étude de Arnold & Mills (2001) reprend le même paradigme expérimental et les mêmes groupes d'intérêt, mais avec une matrice supplémentaire de paires de chaussures. En effet, les auteurs ont voulu comprendre l'origine de la différence de performances entre les visages et les objets. Cette différence pourrait, dans un premier temps, être due au statut particulier du visage chez les sourds/signeurs. Dans ce cas, les performances pour trouver les paires d'objets et de chaussures devraient être équivalentes entre elles, mais différentes des performances pour les paires de visages. Mais cette différence pourrait également être due à la différence entre la nature verbalisable des objets (e.g., marteau, chaise, lunettes ...) et la nature non verbalisable des visages de personnes inconnues ; or il se trouve qu'une paire de chaussures partage cette dimension non-verbalisable des visages. Dans ce cas, les performances pour trouver les paires d'objets devraient être différentes des performances pour trouver les chaussures et les visages qui, elles, devraient être équivalentes. Les résultats semblent aller dans le sens de cette seconde hypothèse puisque les appariements des chaussures et des visages étaient relativement similaires tant en termes de temps total de réalisation que de nombre d'essais. Les signeurs (sourds et entendants) étaient meilleurs que les entendants non-signeurs pour retrouver les paires de chaussures et de visages, mais pas pour les paires d'objets.

Ces deux études illustrent donc davantage une hausse des performances d'imagerie mentale non-verbale chez les signeurs qu'une hausse des performances pour le traitement des visages en tant que tels. Il convient donc de considérer ces résultats avec un œil critique lorsqu'ils sont utilisés comme argument pour étayer l'hypothèse que les signeurs (sourds ou entendants) possèdent de meilleures capacités de reconnaissance de visages que les non-signeurs.

2. Reconnaître une émotion et son expression

Le vécu émotionnel et le traitement des expressions faciales dépendent à la fois de la culture, du lexique et de la trajectoire neuro-développementale d'une personne. Il est donc important de prendre un individu dans sa globalité. Cette importance est d'autant plus forte chez les personnes sourdes qu'elles possèdent une identité très forte avec une culture et un lexique à part entière. Nous considérerons donc ici la personne sourde signeuse dans sa singularité à la fois neuro-développementale, culturelle et lexicale.

i. Contexte théorique général

1. Qu'est-ce qu'une émotion ?

Une des premières théories modernes des émotions date de William James, considéré comme un des pères de la psychologie moderne. La théorie de James-Lange des émotions postule que « les changements corporels suivent directement la perception d'un fait excitant et que le sentiment de ces changements est l'émotion » (traduction de James, 1884, pp. 189-190). Un changement corporel serait donc à l'origine de nos émotions, suite à une stimulation ou variation de notre système nerveux périphérique. Pour Charles Darwin, une émotion et son expression auraient une fonction adaptative (et évolutive) puisqu'elles seraient utiles à l'organisme pour préparer une action adaptée à l'environnement physique ou social (Darwin, 1872). Bien qu'une émotion difficile à définir, les psychologues contemporains s'accordent sur le fait qu'une émotion est multicomponentielle (Sander & Scherer, chapitre 1, 2014). Plus précisément une émotion est constituée d'un sentiment subjectif, d'une réaction physiologique, d'une expression motrice/faciale, d'une tendance à l'action (e.g., prendre la fuite en cas de peur) et d'une évaluation cognitive de la situation. L'expérience émotionnelle est donc propre à chacun en termes d'intensité ou de nature de l'émotion.

Une émotion n'a pas nécessairement la même réalité psychologique à travers le monde (Butler, Lee, & Gross, 2007; Tcherkassof, 2008; van Hemert, Poortinga, & van de Vijver, 2007). L'expérience émotionnelle est subjective. Elle dépend des personnes, mais également

des cultures : la fréquence d'apparition d'une émotion, l'événement qui la suscite, le ressenti physiologique ou même les croyances qui y sont associées. En plus du ressenti, une émotion est quelque chose qui se nomme qui se partage avec ses proches et est donc par définition associée au lexique disponible dans la langue. Si le lexique est un facteur « limitant » de l'expérience émotionnelle, une population parlant une langue qui possède un grand nombre de nuances de tristesse dans le vocabulaire pourrait ressentir un plus grand panel de tristesse qu'une langue qui en possède moins. En effet, comment ressentir une émotion alors qu'il n'existe aucun nom pour l'exprimer et la partager ? Un exemple très empirique. Lors d'une discussion entre amis, il n'est pas rare de raconter un événement vécu et d'avoir du mal à exprimer réellement ce que l'on a ressenti, de mettre le mot « juste » sans une longue explication bancale «- Ce que j'ai ressenti, ce n'était pas vraiment de la colère ni de la tristesse. Mais plus un genre de déception inattendue qui m'a contrariée sans vraiment me mettre en colère... Tu comprends ? - Non pas du tout !!» Il peut donc être difficile d'exprimer une émotion lorsqu'on ne peut y associer un mot précis.

D'un point de vue scientifique, il existe de nombreuses études anthropologiques et interculturelles illustrant ce constat. Certaines populations n'ont pas d'équivalent pour exprimer certaines émotions qui, pour nous, semblent évidentes. La fascinante histoire de l'anthropologue Briggs lors de sa visite chez le peuple Ukta, un peuple Inuit qui ne connaîtrait ni ne ressentirait l'émotion de la colère (Briggs, 1970) illustre parfaitement ce propos. Briggs aurait exprimé sa colère face à une situation qu'il jugeait injuste, et face à cette réaction étrange et incompréhensible, les Uktas auraient décidé de l'exclure du groupe en lui demandant de rentrer chez lui. Ces différences culturelles peuvent également s'illustrer sur la façon dont nous ressentons une émotion au niveau physiologique. Tcherkassof (2008) explique que le ressenti corporel d'une même émotion va, lui aussi, varier selon la culture. Par exemple, la tristesse chez les Belges est synonyme de nœud dans la gorge et de maux de ventre alors qu'en Équateur cette même tristesse sera associée à des maux de tête et des palpitations cardiaques. Ces sensations, qui nous semblent pourtant biologiques, voire viscérales, seraient elles aussi culturo-dépendantes.

Bien que l'expérience émotionnelle soit subjective et dépendante de notre culture, il existerait tout de même une certaine universalité dans la nature des émotions ressenties et leurs expressions. À l'origine, Paul Ekman (1972) recense 6 émotions de bases qu'il estime

innées et universelles: la joie, la colère, la peur, la tristesse, la surprise et le dégoût. Il tire cette conclusion après avoir demandé à des personnes de cultures très différentes (i.e., USA, Brésil, Japon, Nouvelle Guinée et Bornéo) de catégoriser des photos d'expressions faciales (Ekman, Sorenson, & Friesen, 1969). Malgré des différences entre les cultures du taux de reconnaissance correcte en fonction émotions, elles étaient toutes capables de faire la distinction entre ces 6 émotions. Plus tard, Ekman (1999) élargira cette liste d'émotions universelles avec 10 nouvelles émotions supplémentaires comme l'amusement, la gêne, la culpabilité ou encore la satisfaction.

Les questions de la définition d'une émotion, de la nature des émotions ressenties et de leurs expériences subjectives respectives sont des questions très complexes et très débattues qui ne seront pas développées dans ce travail de thèse. Pourtant, en tenant compte de cette dimension interculturelle très forte dans l'expression et le ressenti des émotions, il serait légitime de se questionner sur la culture Sourde. En effet, la communauté sourde possède une culture à part entière, ils pourraient donc posséder des représentations émotionnelles différentes de celles des entendants non-signeurs. Ils pourraient par exemple ressentir les émotions de façon différente ou bien avoir un lexique différent pour exprimer des nuances émotionnelles. Il n'existe, à ma connaissance, aucune étude ayant étudié ces questions dans la culture Sourde, et elles ne seront malheureusement pas non plus étudiées dans ce travail de thèse. Ce genre de problématique serait en effet, davantage un travail de linguistes ou d'anthropologues que celui d'une psychologue cognitive.

2. Le visage d'une émotion

Comme évoqué précédemment une des dimensions principales de l'émotion est son expression faciale. Pour Darwin (1872) cette dimension serait essentielle pour la régulation sociale entre les individus et par conséquent pour la (sur)vie du groupe. En effet, la production et la compréhension des émotions d'autrui sont des mécanismes centraux dans la communication et les relations interpersonnelles. Les personnes atteintes de lacunes dans la lecture des expressions faciales d'autrui éprouvent des difficultés de communication ou de compréhension de l'autre, comme par exemple chez des personnes atteintes de certains troubles psychiatriques ou neuro-développementaux comme la schizophrénie (Mandal, Pandey, & Prasad, 1998) ou l'autisme (Uljarevic & Hamilton, 2013). Dans un autre registre, la

nature des interactions avec autrui et notamment les interactions familiales peuvent également influencer le développement des capacités de traitement et de compréhension des expressions faciales chez l'enfant. Par exemple, les enfants ayant subi des maltraitances ou de la négligence de la part de leurs parents éprouvent davantage de difficultés que les autres enfants à reconnaître ou catégoriser des expressions faciales (Pollak, Cicchetti, Hornung, & Reed, 2000; Pollak & Kistler, 2002). L'expérience sociale ou développementale façonne donc les processus cognitifs de la reconnaissance faciale émotionnelle.

Le traitement et la capacité de reconnaissance des expressions faciales apparaissent fortement liés à la culture et aux expériences précoces de l'individu. Compte tenu de la particularité culturelle et de l'expérience précoce atypique des personnes sourdes signeuses (i.e., absence de la modalité auditive et communication via une langue visuo-spatiale nécessitant un traitement particulier du visage), l'étude du traitement des visages émotionnels de cette population est tout à fait pertinente. Il est par exemple intéressant d'étudier si sourds signeurs et entendants non-signeurs possèdent les mêmes sensibilités aux variations de qualité ou d'intensité de l'information émotionnelle ou encore si ces deux populations diffèrent dans leur stratégie d'extraction des informations sur les visages. La littérature sur le traitement des expressions faciales et des émotions dans la population sourde reste encore lacunaire et les expériences réalisées dans ce travail de thèse tentent d'élargir les connaissances sur ces questions et de proposer des pistes de réponses.

ii. La reconnaissance des émotions chez les sourds signeurs

1. Les expressions faciales linguistiques et émotionnelles

Comme expliqué dans le premier chapitre, l'expression du visage est essentielle dans la communication signée. Pourtant il est nécessaire de faire la différence entre une expression faciale à visée linguistique et une expression faciale à visée émotionnelle. En effet, certaines expressions du visage vont être purement grammaticales et d'autres purement émotionnelles ou affectives. Ces deux types d'expressions se différencient également sur leurs dynamiques temporelles et sur les muscles utilisés. Prenons par exemple le verbe « étudier » et les marqueurs linguistiques de l'American Sign Language (ASL) (figure 3.8). En signant le verbe étudier en association avec l'expression linguistique MM, le signeur exprime

qu'il étudie de manière détendue sans réel investissement cognitif. Si ce même signe est associé à l'expression linguistique PUFF, le signeur exprime son exaspération, sa lassitude vis-à-vis de son activité d'étudier. Enfin, si le verbe étudier est associé à un haussement des sourcils (marqueur de la forme interrogative), le signeur demande à son interlocuteur si ce dernier a l'intention d'étudier. Toutes ces expressions faciales n'ont alors de sens que si elles sont connues et associées à un verbe et ne s'observent que dans les interactions en ASL. Il est au contraire possible de rencontrer un visage exprimant la peur dans un contexte autre que celui d'une communication en langue des signes tant chez les sourds que chez les entendants. À noter qu'il est pour autant possible d'associer le verbe étudier à l'émotion de la peur si le signeur veut exprimer l'émotion ressentie lorsqu'il a commencé à étudier le programme d'un cours auquel il a très peu assisté, une semaine avant l'examen.

Un second exemple illustrant la différence entre une expression linguistique et une expression émotionnelle concerne la nuance des couleurs. En ASL il existe un signe pour un certain nombre de couleurs, mais pas pour leurs nuances qui, elles, sont apportées par l'expression faciale. La couleur est toujours signée de la même façon, mais l'expression faciale précise sa nuance (e.g., un ton clair est signé avec les yeux plissés, un ton foncé avec les sourcils et les lèvres froncés). Ces expressions ont uniquement une portée linguistique et n'ont de sens que dans un contexte de communication et sans aucune valence émotionnelle.

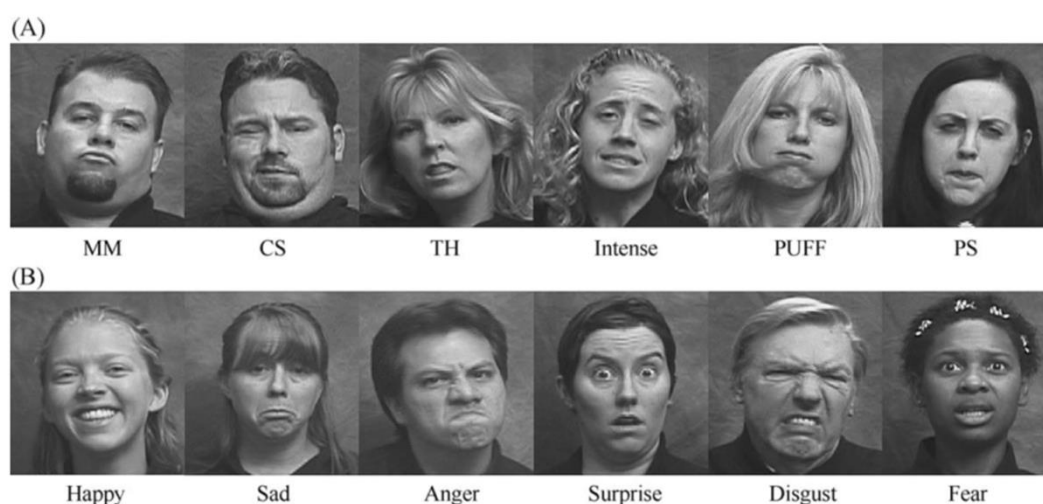


Figure 3.8 : Exemple d'expressions faciales linguistiques en ASL (A) et d'expressions faciales émotionnelles (B). Les labels sous les expressions linguistiques correspondent au nom des différents adverbes. D'après McCullough et al. (2005).

Cette distinction des expressions faciales linguistiques et émotionnelles est importante à prendre en compte, car elle s'observe également au niveau cérébral chez des personnes sourdes signeuses précoces (Corina, 1989; McCullough, Emmorey, & Sereno, 2005) et chez des patients sourds cérébro-lésés (Corina, Bellugi, & Reilly, 1999). Ainsi l'étude de McCullough et al. (2005) a comparé les activations cérébrales des personnes sourdes ayant l'ASL comme langue maternelle et des entendants non-signeurs en réponse (1) à la présentation de signes associés à des expressions faciales linguistiques ou émotionnelles (i.e., condition visage et signe) ou (2) à la présentation d'expressions faciales linguistiques ou émotionnelles sans signe associé (i.e., condition visage seul). Les participants réalisaient, dans une IRM, une tâche de jugement suite à la présentation de deux expressions consécutives (i.e., expression identique ou différente). Les auteurs se sont particulièrement intéressés à l'activation du Sulcus Temporal Supérieur (STS) et du Gyrus Fusiforme (GF), deux zones impliquées dans le traitement des visages comme expliqué plus haut de ce manuscrit. Le STS est impliqué dans le traitement des zones « mobiles » d'un visage comme le regard ou la bouche et plus généralement dans les expressions faciales. Une attention particulière portée à une expression émotionnelle engendrerait des changements d'activations du STS de l'hémisphère droit. Le GF est quant à lui impliqué dans le traitement des propriétés invariantes d'un visage, d'où son autre nom de *fusiform face area*. Son activation suite à la présentation d'un visage est bilatérale ou spécialisée dans l'hémisphère droit selon les personnes.

Au niveau du STS les auteurs ont notamment observé que lorsqu'une expression linguistique associée à un signe était présentée aux sourds signeurs, ceux-ci présentaient une activation plus importante dans l'hémisphère gauche. Cette préférence hémisphérique ne s'observait que quand les expressions linguistiques étaient associées à un signe et uniquement chez les sourds signeurs. Les entendants non-signeurs présentaient quant à eux des activations plus importantes dans l'hémisphère droit, quel que soit le type d'expression et qu'elles soient ou non associées à un signe (figure 3.9, graphique A). Au niveau du GF, quel que soit le type d'expression faciale et qu'elle soit ou non présentée avec un signe, les sourds signeurs présentaient une spécialisation hémisphérique gauche à la présentation d'un visage. Au contraire, les entendants non-signeurs ne présentaient pas de spécialisation hémisphérique (figure 3.9, graphique B).

Ces résultats illustrent la plasticité du traitement cérébral des visages en réponse à des contraintes perceptives telles que la surdité précoce ou l'utilisation de la langue des signes comme langue maternelle en recrutant majoritairement l'hémisphère gauche (spécialisé dans le traitement du langage) pour traiter les visages. De plus, l'activation du STS de l'hémisphère gauche va dépendre du contexte de l'expression faciale et ne va répondre que lorsque le visage présente une expression linguistique associée à un signe, c'est-à-dire dans un contexte purement linguistique. Enfin il faut noter que les entendants non-signeurs ont des activations similaires que le contexte soit linguistique ou émotionnel et présentent des activations typiques (i.e. activation bilatérale ou dans l'hémisphère droit).

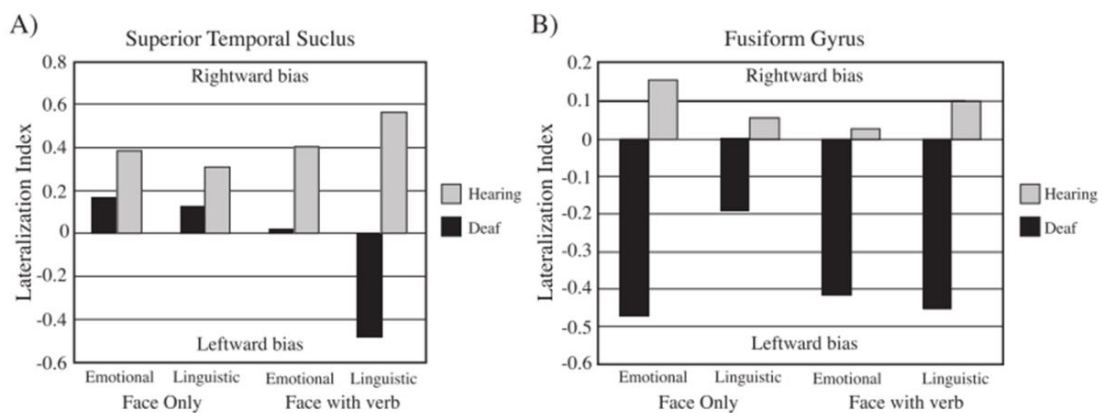


Figure 3.9 : Index de latéralisation en termes d'activation de voxels dans l'hémisphère gauche ou droit dans le STS (A) et dans le GF (B) selon les différentes conditions et pour chaque groupe. D'après McCullough et al. (2005).

2. Catégorisation d'émotions et jugement de valence émotionnelle

Comme nous venons de le voir, il semble que les sourds signeurs et les entendants non-signeurs présentent des patterns d'activations cérébrales différents suite à la présentation d'un visage. Il est donc tout à fait possible que ces différences cérébrales se répercutent au niveau comportemental. Il n'existe pourtant que très peu d'études qui se soient intéressées à la sensibilité des expressions émotionnelles des personnes sourdes et/ou signeurs.

Une première étude de Goldstein et Feldman (1996) s'est intéressée aux capacités de catégorisations des expressions émotionnelles chez les personnes entendantes fluentes en ASL. Dans cette étude les participants regardaient de courtes vidéos de visages expressifs et catégorisaient ensuite l'émotion qu'ils avaient perçue parmi les différents choix possibles (i.e., joie, tristesse, peur/surprise, colère et dégoût). Les auteurs ont constaté que les

personnes fluentes en ASL avaient un meilleur score que celles non fluentes en ASL (69.2% vs 63.3%). Les auteurs proposent alors deux hypothèses différentes pour expliquer leurs résultats. La première consiste à dire que l'apprentissage de la langue des signes permet l'amélioration de la discrimination des expressions faciales, compétence nécessaire à la communication signée. La seconde hypothèse repose sur le raisonnement inverse et postule que seules les personnes suffisamment compétentes pour discriminer correctement les expressions faciales s'engageaient dans une formation poussée en ASL (les étudiants testés avaient tous au minimum validé un semestre universitaire d'ASL). Cette étude donne un premier aperçu intéressant, mais ne permet pas de comprendre les liens entre surdité/langue des signes et discrimination des expressions faciales.

Une seconde étude plus récente (Watanabe, Matsuda, Nishioka, & Namatame, 2011) a mesuré le jugement de valence émotionnelle d'un visage chez les sourds signeurs et entendants non-signeurs. Les participants observaient des photos de visages exprimant des expressions différentes (i.e., neutre, joie associée à une bouche ouverte ou fermée, peur, colère associée à une bouche ouverte ou fermée, contentement, dégoût, tristesse et surprise) et estimaient ensuite la valence émotionnelle du visage sur une échelle en 7 points (1 : valence positive, 4 : valence neutre, 7 : valence négative). Les deux groupes jugeaient les expressions avec des valences émotionnelles comparables. Pour autant, les auteurs ont observé une différence dans l'exploration des visages entre les deux groupes en analysant les mouvements oculaires. Alors que les sourds signeurs passaient la majorité de leur temps d'exploration au niveau des yeux, les entendants non-signeurs focalisaient leur regard majoritairement au niveau du nez (figure 3.10). Les auteurs concluent donc que la stratégie d'extraction des informations est modul e par la surdité précoce associée à la pratique de la langue des signes.

Bien que ces deux études utilisent des tâches différentes, il est relativement difficile de statuer sur le traitement des expressions émotionnelles dans la surdité précoce ou dans la pratique de la langue des signes. En effet, alors que la première observe une différence chez les entendants signeurs tardifs pour catégoriser des émotions, la seconde n'en n'observe pas chez les sourds signeurs pour juger la valence émotionnelle d'un visage. Il semble donc nécessaire d'explorer la question de façon plus précise.

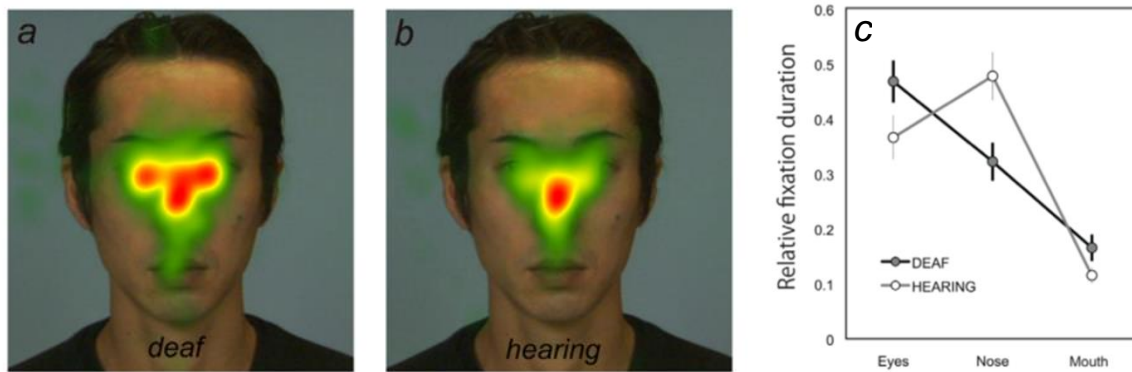


Figure 3.10 : temps de fixation oculaire sur les différentes parties d'un visage chez les personnes sourdes (a) et les personnes entendantes (b). Le graphique (c) illustre le temps de fixation relatif des différentes régions d'intérêt d'un visage. D'après Watanabe et al. (2011).

3. Saillance des différentes parties d'un visage émotionnel

L'étude de Watanabe et al. (2011) a observé une exploration des visages différente chez les sourds signeurs et entendants non-signeurs dans une tâche de jugement de valence émotionnelle. Il semble donc possible qu'ils prennent en compte des détails différents du visage que les entendants pour juger une émotion. Dans cette idée, l'étude de Letourneau & Mitchell (2011) s'est intéressée à la dépendance à la partie supérieure ou inférieure d'un visage pour reconnaître une émotion ou l'identité d'un visage. Les participants sourds signeurs et entendants non-signeurs devaient reconnaître une émotion ou l'identité d'un visage en se basant sur la partie inférieure du visage, la partie supérieure du visage ou sur le visage entier. Durant la tâche, les mouvements oculaires des participants étaient enregistrés. Les auteurs ont observé que les sourds signeurs faisaient plus d'erreurs que les entendants non-signeurs dans la reconnaissance d'émotion quand la partie inférieure du visage n'était pas présenté suggérant que les sourds signeurs sont plus dépendants que les entendants non-signeurs aux informations dispensées par la bouche. Ces résultats comportementaux sont en partie étayés par l'analyse des mouvements oculaires. Les sourds signeurs avaient tendance à fixer davantage la partie inférieure du visage, quelle que soit la tâche demandée (i.e., reconnaissance d'identité ou reconnaissance d'émotion). Au contraire, les entendants non-signeurs modifiaient leur exploration en fonction de la tâche. Ces derniers fixaient plus la partie supérieure du visage pour reconnaître une émotion et inversement pour la partie inférieure pour reconnaître une identité. Comme évoqué dans la section sur le traitement des visages, les sourds signeurs développeraient donc une sensibilité particulière pour la

partie inférieure du visage et plus particulièrement pour traiter et reconnaître une émotion. Il est par ailleurs intéressant de remarquer que la partie du visage la plus saillante pour les personnes sourdes (i.e., la bouche) n'est pas la même que dans l'étude de Watanabe et al. (2011) (i.e., les yeux). Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que les populations testées dans la première étude étaient des Américains (Letourneau & Mitchell, 2011) et des Japonais dans la seconde (Watanabe et al., 2011). En effet, plusieurs études ont mis en avant l'importance de la culture dans l'exploration des visages avec des patterns d'observation différents entre *Western Caucasian* et *Eastern Asian* (Blais, Jack, Scheepers, Fiset, & Caldara, 2008; Mielle, He, Zhou, Lao, & Caldara, 2011; Mielle, Vizioli, He, Zhou, & Caldara, 2013). Outre la différence culturelle entre les deux populations testées, les deux études concluent à une modification des patterns d'observations d'un visage suite à la surdité précoce associée à la pratique de la langue des signes. À l'heure actuelle et à ma connaissance, il n'existe pas d'étude permettant d'isoler l'effet de la pratique de la langue des signes de l'effet de la surdité précoce sur l'exploration des visages émotionnels. Il semble donc nécessaire de réaliser des études incluant un groupe d'entendants signeurs (idéalement des CODAs utilisant fréquemment la langue des signes) voire même un groupe de sourds non-signeurs (i.e., des sourds oralistes connaissant peu la langue des signes et utilisant le langage oral comme moyen de communication privilégié).

L'essentiel

Compte tenu de l'atypicité neuro-développementale, culturelle et linguistique des personnes sourdes signeuses, il est pertinent d'étudier la façon dont elles perçoivent un visage et son expression.

Traitement des visages

- Le traitement holistique/configural du visage ne semble pas modifié par la surdité précoce associée à la pratique de la langue des signes,
- Les sourds signeurs seraient plus sensibles que les entendants non-signeurs aux informations internes du visage et particulièrement dans la région au tour de la bouche,
- Les sourds signeurs présenteraient un recrutement plus important de l'hémisphère gauche pour traiter les visages que les entendants non-signeurs,
- Ces modulations pourraient être davantage liées à la pratique de la langue des signes qu'à la surdité précoce, mais peu d'études ont pu tester cette hypothèse.

Traitement des expressions faciales

- Les sourds signeurs, contrairement aux entendants non-signeurs, traitent différemment les visages à portée linguistique et les visages à portée émotionnelle,
- Les sourds signeurs ne semblent pas se reposer sur les mêmes indices des visages pour juger une expression faciale,
- Les capacités de discrimination et de jugement émotionnel ont été peu étudiées et présentent des résultats contradictoires.

Section expérimentale

Etude 4 : Traitement superordinal et subordinal du visage chez les sourds et entendants signeurs

Abstract

Previous research suggests that early deaf signers differ from hearing non-signers in face processing. Which aspects of face processing are changed and the role that sign language may have played in that change is however unclear. Here, we compared face categorization (human/non-human) and human face recognition performance in early profoundly deaf signers, hearing signers, and hearing non-signers. In the face categorization task, the three groups performed similarly in terms of both response time and accuracy. However, in the face recognition task, signers (both deaf and hearing) were slower than hearing non-signers to accurately recognize faces, but had a higher accuracy rate. We conclude that sign language experience, but not deafness, drives a speed-accuracy trade-off in face recognition (but not face categorization). This suggests strategic differences in the processing of facial identity for individuals who use a sign language, regardless of their hearing status.

Publication associée :

Stoll, C., Palluel-Germain, R., Caldara, R., Lao, J., Dye, M. W., Aptel, F., & Pascalis, O. (2017). Face Recognition is Shaped by the Use of Sign Language. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 1-9. <https://doi.org/10.1093/deafed/enx034>

Problématique et hypothèses

Comme nous l'avons déjà mentionné, le traitement des visages est un processus hiérarchique et peut donc s'effectuer à différents niveaux de détails et de difficultés (Bruce & Young, 1986). Selon ce modèle Le premier niveau de traitement est le niveau *superordinal* (encodage structurel) qui permettrait de catégoriser un visage humain parmi d'autres stimuli visuels et notamment parmi les visages des autres espèces mammifères. C'est un processus simple impliquant des réponses rapides (Besson et al., 2017). En effet, le visage, est depuis les toutes premières heures de la vie, un percept très particulier. Les nouveau-nés sont ainsi davantage attirés par un visage (ou un pattern perception ressemblant à un visage) que par n'importe quel autre stimulus visuel (Farroni et al., 2005; Johnson, Dziurawiec, Ellis, & Morton, 1991; Mondloch et al., 1999). Ces observations suggèrent l'existence d'un mécanisme très précoce permettant d'extraire et traiter un visage et ses invariants perceptifs (i.e., deux yeux, un nez, une bouche). Ce mécanisme permettrait de catégoriser un visage humain dès la première étape du traitement du percept visuel. Par exemple, une personne atteinte de prosopagnosie est incapable de reconnaître ou de nommer un visage connu, mais est tout à fait capable de catégoriser le percept visuel comme étant un visage humain (Caldara et al., 2005; Rossion et al., 2003). Ce niveau superordinal de catégorisation est essentiel pour le traitement des visages et est relativement robuste à l'expérience et à l'apprentissage contrairement aux niveaux subordinaux.

Les niveaux subordinaux du traitement des visages se situent au-delà de la catégorisation du visage (Bruce & Young, 1986). Ils sont de plusieurs niveaux de complexité et de détails et permettent d'extraire des informations telles que l'ethnicité, le genre ou encore l'âge du visage. Le niveau le plus subordonné est le processus permettant la reconnaissance de l'identité d'une personne à partir des informations faciales. Il existe de nombreuses observations suggérant l'importance de l'expérience visuelle dans les capacités de reconnaissance des visages. Par exemple, les personnes nées avec une cataracte⁷ et opérées pendant leur prime enfance pour recouvrer une acuité visuelle normale, présentent à l'âge adulte des compétences atypiques de reconnaissances des visages (Le Grand et al., 2001). L'expérience visuelle précoce atypique que ces patients ont vécu a affecté leur

⁷ Ici le terme se réfère à une cataracte dense empêchant totalement la lumière d'atteindre la rétine

processus de reconnaissance des visages. L'importance de l'expérience visuelle précoce dans la reconnaissance des visages peut également s'observer chez des adultes typiques. Ainsi, un individu discrimine mieux et reconnaît plus facilement des visages provenant d'un type de visage familier que ceux provenant d'un type de visage non-familier (i.e., *the other face effect*, par exemple voir Caldara & Abdi, 2006; Vizioli, Foreman, Rousselet, & Caldara, 2010; Vizioli, Rousselet, & Caldara, 2010). L'expérience précoce des visages d'un individu va donc modeler ses capacités de traitement des visages en privilégiant une efficacité envers le type de visage le plus rencontré.

À notre connaissance il existe peu de travaux concernant l'impact de la surdité précoce et/ou de la pratique de la langue des signes sur différents niveaux de traitement d'un visage et plus particulièrement, ayant directement comparé deux niveaux de traitement tels que la catégorisation et la reconnaissance de visages auprès de personnes sourdes signeuses, entendantes signeuses et entendantes non-signeuses. Le but de cette étude est donc (1) de déterminer si la surdité précoce entraîne des modulations dans la catégorisation (niveau superordinal) et/ou dans la reconnaissance (niveau subordinal) d'un visage. Si c'est le cas, le deuxième but de cette étude est (2) de déterminer l'influence respective de la surdité précoce et de la pratique de la langue des signes dans les modulations observées. Pour cela un groupe de sourds signeurs, d'entendants signeurs et d'entendants non-signeurs ont réalisé une tâche de catégorisation de visage et une tâche de reconnaissance de visages.

Si l'absence précoce de l'audition est la cause principale de la modification des performances observées dans le traitement des visages, alors les sourds devraient avoir des performances différentes des entendants que ces derniers soient fluents ou non en LSF. Au contraire, si la pratique de la langue des signes est le facteur déterminant, alors les signeurs sourds et entendants présenteraient des profils de réponses différents des entendants non-signeurs. Il se pourrait enfin, qu'à la fois la surdité et la pratique de la langue des signes influencent indépendamment le traitement des visages. Dans ce cas, les trois groupes testés présenteraient des performances différentes. Comme la catégorisation d'un visage est un processus fonctionnel depuis la naissance, la surdité et/ou la pratique de la langue des signes devraient avoir un effet limité sur les performances de tous les groupes dans la tâche de catégorisation. Au contraire, la reconnaissance d'un visage qui est façonnée par

l'expérience devrait être davantage affectée par la surdité précoce et/ou la pratique de la langue des signes.

Méthode

Participants

Dix-neuf entendants non-signeurs, 15 entendants signeurs et 19 sourds profonds précoces ont participé à cette étude. Aucun d'entre eux n'a rapporté avoir d'antécédents neurologiques, de troubles visuels non corrigeables à la normale ou ne jouaient aux jeux vidéo d'action. Chaque participant signait un consentement de participation écrit et était payé en échange de sa participation. L'étude a été approuvée par Le Comité d'Ethique pour les Recherches Non Interventionnelles (CERNI) du pôle Grenoble Cognition (CERNI 2013-12-24-32).

Les 19 entendants non-signeurs ($M_{\text{âge}} = 29.6$, $ET_{\text{âge}} = 8.6$, étendu = 20-45 ans) n'avaient aucune expérience avec une quelconque langue des signes. Ils ont été recrutés via une plateforme en ligne de recrutement pour la recherche en sciences cognitives dans la région de Grenoble.

Parmi les 15 entendants signeurs ($M_{\text{âge}} = 40.2$, $ET_{\text{âge}} = 12.3$, étendu = 22-63 ans), une personne était née de parents sourds et avait par conséquent la LSF comme langue maternelle. Les 14 autres entendants signeurs avaient appris la LSF à l'âge adulte ($M_{\text{âge d'acquisition}} = 27.0$; $ET_{\text{âge d'acquisition}} = 10.17$, étendue = 16-50 ans) et signaient activement depuis 4 à 28 ans ($M_{\text{temps de pratique}} = 15.1$; $ET_{\text{temps de pratique}} = 6.5$) à une fréquence entre 7 et 50 heures par semaine ($M_{\text{fréquence de pratique}} = 23.7$; $ET_{\text{fréquence de pratique}} = 12.0$). Ils ont estimé leur niveau de LSF sur une échelle de 1 (Pas de connaissance en LSF) à 5 (Maîtrise parfaite de la LSF) à un niveau moyen de 4.7/5 ($ET_{\text{niveau LSF}} = 0.4$; étendu = 3.5-5). Les données individuelles sont reportées dans le tableau 3.1. Les personnes composant ce groupe étaient soit des interprètes français-LSF, soit des professionnels de santé formés en LSF de l'Unité d'accueil et de soins pour les sourds du CHU de Grenoble.

Les 19 participants sourds ($M_{\text{âge}} = 33.5$, $ET_{\text{âge}} = 8.05$, étendu = 21-49 ans) étaient atteints de surdité profonde (perte supérieure à 90 dB, rapportée par le participant sur questionnaire) depuis la naissance ou la première année de vie. Leur niveau moyen de LSF était de 4.0/5 ($ET_{\text{niveau LSF}} = 1.0$; étendu = 2-5, voir encart 3). Les données individuelles sont reportées dans le tableau 3.2. Les instructions pour les tâches étaient données soit à l'écrit, soit à l'oral soit en LSF par vidéo selon la préférence du participant. Les vidéos en LSF ont été

réalisées par une interprète français-LSF professionnelle de la société coopérative et participative « Mots pour Mots » de Grenoble.

Tableau 3.1.

Connaissances et caractéristiques de pratique de la LSF dans le groupe des entendants signeurs.

##	Âge d'acquisition de la LSF	Fréquence de pratique de la LSF	Niveau estimé de LSF
1	naissance	2	5
2	19	30	4.5
3	19	20	5
4	26	20	4.5
5	42	15	5
6	37	7	4.5
7	22	35	4.5
8	35	8	3.5
9	50	50	5
10	28	12	5
11	20	20	5
12	16	35	5
13	23	30	4.5
14	20	30	5
15	21	20	5

Tableau 3.2.

Connaissances et caractéristiques de pratique de la LSF et aide auditive dans le groupe des sourds signeurs. IC= Implant Cochléaire. L'astérisque indique que la personne n'utilise plus l'aide auditive.

##	Aide auditive	Âge d'acquisition de la LSF	Niveau estimé	première langue
1	Contours d'oreille	16	2	Français
2	Contours d'oreille	4	4	LSF
3	Contours d'oreille + IC	15	5	Français
4	Aucune	7	4	LSF
5	Contours d'oreille	5	4.5	Français
6	Contours d'oreille	23	3	Français
7	Contours d'oreille + IC	20	3	Français
8	Contours d'oreille*	naissance	5	LSF
9	Contours d'oreille	15	5	Français
10	Contours d'oreille	21	3	Français
11	Contours d'oreille + IC	25	3	Français
12	Contours d'oreille	12	4.5	LSF
13	Contours d'oreille	20	5	LSF
14	IC*	5	5	LSF
15	IC*	5	2	Français
16	Contours d'oreille	naissance	4	Français
17	IC	16	4.5	Français
18	Contours d'oreille	6	5	LSF
19	Contours d'oreille	5	5	LSF

Matériel et procédure

Catégorisation de visages. Dans la tâche de catégorisation faciale, le participant devait décider le plus rapidement possible si le stimulus présenté au centre d'un écran était un visage humain ou non-humain (figure 3.11). Les stimuli humains étaient des photos de 562x762 pixels en niveau de gris de 40 individus (20 femmes, 20 hommes) à l'expression neutre appartenant à la base de données de visages KDEF (Lundqvist, Flykt, & Öhman, 1998). Les stimuli non-humains étaient des visages de 40 mammifères de 4 espèces différentes (10 chats, 10 tigres, 10 chimpanzés et 10 moutons). Après une croix de fixation centrale de 500 ms, le stimulus apparaissait au centre de l'écran et restait visible jusqu'à la réponse du participant ou après un temps maximal de 1500 ms. Le participant devait appuyer sur « A » avec l'index gauche si le stimulus était humain ou sur « P » avec l'index droit si il était non-humain. Les correspondances des touches « A » et « P » étaient contrebalancés au fil des participants. Chaque stimulus était présenté 3 fois dans un ordre aléatoire soit un total de 240 essais séparés par une pause après le 120^{ième} essai. Avant la phase expérimentale, le participant réalisait 10 essais d'entraînement pour se familiariser avec la tâche. Pendant l'entraînement le participant recevait un feedback sur la justesse de sa réponse après chaque essai.



Figure 3.11 : exemple de stimuli pour les catégories « non-humain » et « humain ».

Reconnaissance de visages. Pour la tâche de reconnaissance des visages, un paradigme dit du *Two Alternative Forced Choices* (2AFC) similaire à celui rapporté par Busigny et Rossion (2010) et de de Heering, Aljuhanay, Rossion, & Pascalis (2012). Les visages de 24 individus (12 femmes, 12 hommes) étaient présentés en niveau de gris et ne possédaient pas d'indices « extérieurs » au visage comme les cheveux, les oreilles ou la présence d'accessoires. Ils couvraient un angle visuel de 4.6° x 6.2°. Dans la phase de reconnaissance, les visages étaient présentés à 8.9° d'excentricité à gauche et à droite du centre de l'écran.

Chaque essai débutait par une croix de fixation centrale de 500 ms remplacée ensuite par un visage de face au centre de l'écran pendant 1500 ms. Après un intervalle de 250 ms, deux visages de profile 3/4 étaient présentés au participant (un visage de chaque côté de l'écran). Parmi ces deux visages, un était similaire au visage présenté de face précédemment et l'autre était un distracteur de même sexe (figure 3.12). Les visages restaient visibles jusqu'à la réponse du participant ou après un temps maximal de 3000 ms. La tâche du participant consistait à décider lequel des deux visages présentés de 3/4 était identique à celui présenté seul de face précédemment en appuyant sur la touche du clavier correspondante (i.e., touche « A » avec index gauche pour le visage de gauche et bouton « P » avec index droit pour le visage de droite). Un même visage pouvait être le visage cible à un essai et le visage distracteur à un autre essai. Chaque visage était présenté deux fois comme le visage à reconnaître, mais les paires de visages présentés en phase de reconnaissance étaient différentes à chaque essai. Par exemple, le visage de femme n°1 ne pouvait être associé qu'une seule fois au visage de femme n°2. De plus, le visage à reconnaître de 3/4 était présenté une fois à gauche et une fois à droite du centre de l'écran. Avant la phase expérimentale, le participant réalisait 5 essais d'entraînement pour se familiariser avec la tâche. Pendant l'entraînement le participant recevait un feedback sur la justesse de sa réponse après chaque essai.

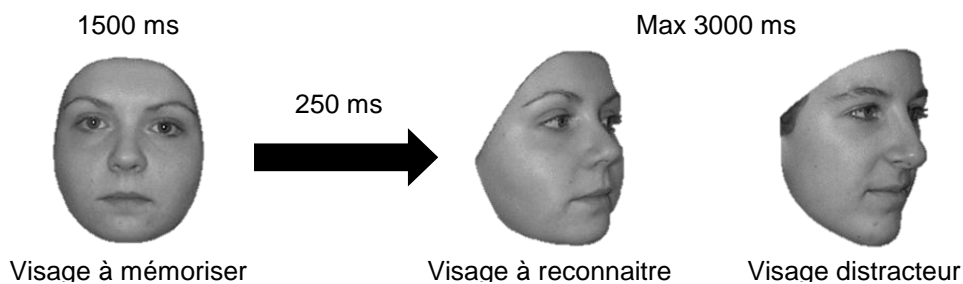


Figure 3.12: Déroulement d'un essai dans la tâche de reconnaissance de visage.

Le participant effectuait les deux tâches dans un ordre aléatoire et était informé qu'il devait répondre le plus rapidement et le plus précisément possible à chaque essai. Les deux tâches ont été programmées avec Eprime® 2.0 software (Psychology Software Tools, Inc.) et réalisées avec un ordinateur portable 19 pouces à une distance d'environ 60 cm du

participant dans une pièce sombre et calme. La durée totale de l'étude était d'environ 15 minutes.

Analyse des données

Pour la tâche de catégorisation de visages, une ANOVA à mesures répétées a été utilisée avec le type de visage (i.e., humain vs non-humain) comme variable intra-sujet et avec le groupe (i.e., entendants non-signeurs, entendants signeurs et sourds signeurs) comme variable de classement pour les temps de réponses correctes et la proportion de bonnes réponses. Pour la tâche de reconnaissance de visages une ANOVA pour échantillons indépendants (i.e., entendants non-signeurs, entendants signeurs et sourds signeurs) pour les temps de réponse corrects et la proportion de bonnes réponses.

Résultats

Catégorisation de visages

Les données d'un participant sourd ont dû être retirées de l'analyse statistique, car elles étaient considérées comme déviantes suivant la méthode des Résidus Supprimés Studentisés (RSS) ; son score en RSS étant supérieur à la valeur critique calculée (i.e., 3.26) sur la variable temps de réponse (Belsley et al., 2005). L'analyse statistique a donc été conduite sur 19 entendants non-signeurs, 15 entendants signeurs et 18 sourds signeurs. Les résultats sont reportés figure 3.13.

Âge des participants. L'analyse de l'âge des participants révèle un effet principal significatif du groupe, $F(2,49) = 5.18$, $p = 0.01$, $\eta^2 = 0.17$. Cette différence s'explique par l'âge plus important des entendants signeurs par rapports aux entendants non-signeurs, $F(1,49) = 10.30$, $p = 0.002$, et aux sourds signeurs, $F(1,49) = 3.95$, $p = 0.052$. Par conséquent, nous avons testé l'effet de l'âge des participants sur les temps de réponse ainsi que sur la proportion de réponses correctes. Les analyses de régression se sont toutes les deux révélées non significatives ($p > 0.05$), suggérant que l'âge des participants n'influence pas significativement les résultats.

Temps de réponse sur les réponses correctes. L'ANOVA ne révèle pas d'effet principal significatif du groupe, $F(2,49) = 0.42$, $p = 0.66$. Les contrastes d'Helmert testant l'impact de la surdité ou de la pratique de la langue des signes étaient également non significatifs (effet de la langue des signes : $t(49) = -0.58$, $p = 0.56$; effet de la surdité $t(49) = -0.82$, $p = 0.41$). L'analyse ne révèle pas d'effet principal significatif du type de visage entre temps de réponse pour la discrimination des visages humains ou non-humains, $F(1,49) = 0.001$, $p = 0.98$, ou d'effet d'interaction significatif entre le groupe et le type de visage, $F(2,49) = 1.81$, $p = 0.17$.

Proportion de réponses correctes. L'ANOVA ne révèle pas d'effet principal significatif du groupe, $F(2,49) = 0.50$, $p = 0.59$. Les contrastes d'Helmert testant l'impact de la surdité ou de la pratique de la langue des signes étaient également non significatifs (effet de la langue des signes : $t(49) = -0.57$, $p = 0.56$; effet de la surdité $t(49) = -0.82$, $p = 0.41$). L'analyse ne révèle pas d'effet principal significatif du type de visage entre la proportion de réponses correctes pour la discrimination des visages humains ou non-humains, $F(1,49) = 0.2$, $p = 0.68$, ou d'effet d'interaction significatif entre le groupe et le type de visage, $F(2,49) = 0.1$, $p = 0.89$.

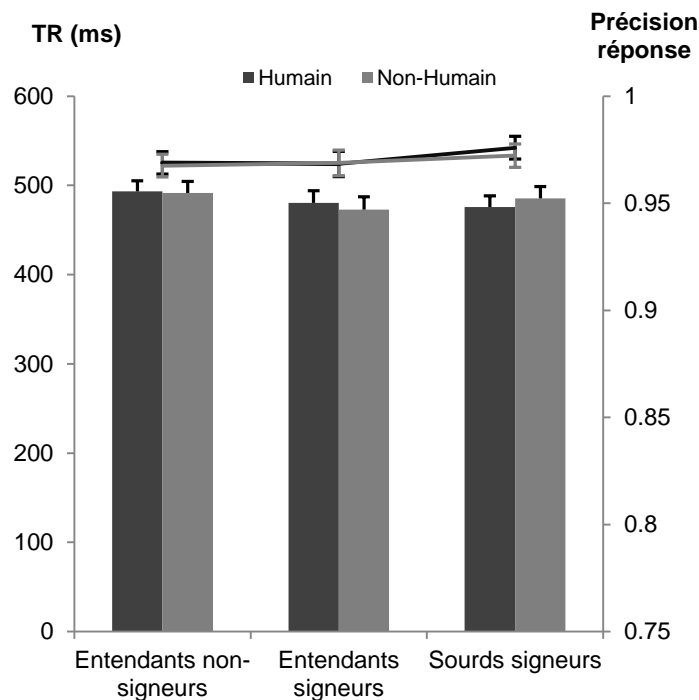


Figure 3.13 : Temps de réponse moyen en ms et précision des réponses dans la tâche de catégorisation de visages. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard à la moyenne.

Fréquence de pratique de la LSF et âge d'acquisition. Due à une variabilité importante dans la fréquence de pratique de la LSF au sein des entendants signeurs et plus généralement en dans l'âge d'acquisition de la LSF dans les deux groupes signeurs, nous avons testé leur effet respectif sur les temps de réponse ainsi que sur la proportion des réponses correctes. Les analyses de régression se sont toutes révélées non significatives ($p > 0.05$), suggérant que ni la fréquence de pratique ni l'âge d'acquisition de la LSF n'influencent significativement les résultats.

Reconnaissance de visages

En raison d'un problème technique lors de l'acquisition des données, les données d'un participant sourd n'ont pas été enregistrées. Les données d'un participant entendant non-signeur ont également dues être retirées de l'analyse statistique, car il était considéré comme déviant suivant la méthode des Résidus Supprimés Studentisés (RSS) ; son score en RSS étant supérieur à la valeur critique calculée (i.e., 3.26) sur la variable temps de réponse (Belsley et al., 2005). L'analyse statistique a donc été conduite sur 18 entendants non-signeurs, 15 entendants signeurs et 18 sourds signeurs. Les résultats sont reportés figure 3.14.

Âge des participants. Comme pour la tâche de catégorisation, nous avons testé l'effet de l'âge des participants sur les temps de réponse ainsi que sur la proportion de réponses correctes. Les analyses de régression se sont toutes les deux révélées non significatives ($p > 0.05$), suggérant que l'âge des participants n'influence pas significativement les résultats.

Temps de réponse sur les réponses correctes. L'ANOVA ne révèle pas d'effet principal significatif du groupe, $F(2,48) = 2.98$, $p = 0.06$. Les contrastes d'Helmert testant l'impact de la surdité ou de la pratique de la langue des révèlent quant à eux un effet significatif de la pratique de la langue des signes, $t(48) = -2.43$, $p = 0.019$; $\eta^2_p = 0.11$, mais pas de la surdité, $t(48) = 0.41$, $p = 0.69$.

Proportion de réponses correctes. L'ANOVA révèle un effet principal significatif du groupe, $F(2,48) = 4.84$, $p = 0.012$, $\eta^2_p = 0.17$. Les contrastes d'Helmert testant l'impact de la surdité ou de la pratique de la langue des révèlent quant à eux un effet significatif de la

pratique de la langue des signes, $t(48) = -3.09$, $p = 0.003$; $\eta^2_p = 0.17$, mais pas de la surdité, $t(48) = -0.23$, $p = 0.82$.

Fréquence de pratique de la LSF et âge d'acquisition. Comme pour la tâche de catégorisation, les analyses de régression se sont toutes révélées non significatives ($p > 0.05$), suggérant que ni la fréquence de pratique ni l'âge d'acquisition de la LSF n'influencent significativement les résultats.

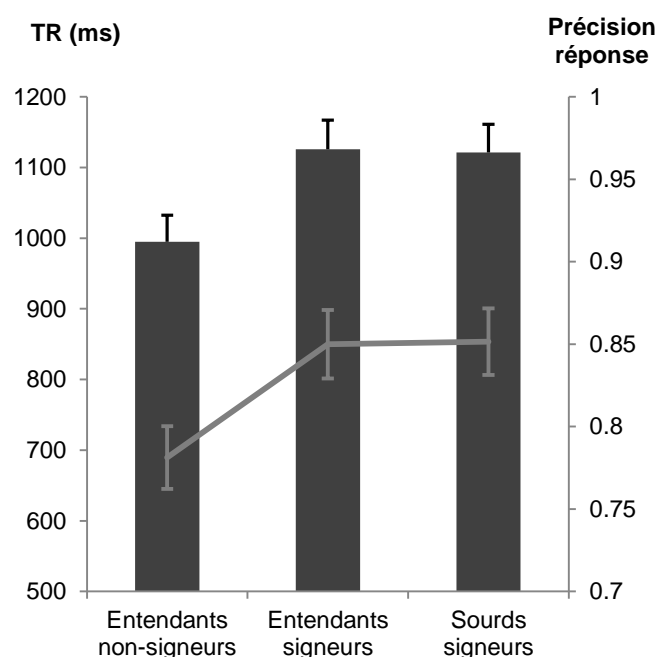


Figure 3.14 : Temps de réponse moyen en ms et précision des réponses dans la tâche de reconnaissance de visages. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard à la moyenne.

Ces résultats suggèrent que les signeurs adoptent une stratégie différente que celle des non-signeurs avec un *trade-off* vitesse/précision dans leur réponse. En effet, bien qu'ils soient plus lents à répondre correctement, ils sont plus précis dans leur réponse. Afin d'approfondir ces résultats et de caractériser plus précisément une différence dans la stratégie adoptée pour réaliser la tâche de reconnaissance de visages, deux analyses supplémentaires ont été effectuées. Dans un premier temps, nous avons calculé un score d'efficacité appelé *Inverse Efficiency Score* (IES) pour nos différents groupes puis nous avons, dans un second temps, modélisé les données avec un modèle hiérarchique bayésien de prise de décision appelé *bayesian Hierarchical Drift Diffusion* (bHDD).

Inverse Efficiency Score (IES)

Le principe du IES est de combiner les temps de réponse et la précision des réponses dans un même score. Il s'agit de pondérer le temps réponse moyen d'un participant par sa proportion de bonnes réponses (RT/ACC) (Bruyer & Brysbaert, 2011). Un IES proche du temps de réponse moyen indique une réponse rapide sans que la précision de la réponse ne soit « sacrifiée ». L'ANOVA pour échantillons indépendants réalisée sur les IES des trois différents groupes ne révèle pas de différence significative, $F(2,48) = 0.34$; $p = 0.71$. Les contrastes d'Helmert ne révèlent pas non plus d'effet significatif de la pratique de la langue des signes, $t(48) = 0.58$, $p = 0.5$, ou de la surdité, $t(48) = -0.62$, $p = 0.54$. Les résultats sont reportés tableau 3.3.

Tableau 3.3

Valeurs moyennes et dispersion du score IES pour chaque groupe.

	<i>M</i>	<i>IES</i> <i>Err. standard</i>
Entendants non-signeurs	994.83	0.78
Entendants signeurs	1128.77	0.85
Sourds signeurs	1121.22	0.85

Bayesian Hierarchical Drift Diffusion (HDD) Model

Le HDD modèle a pour but de décrire le comportement de prise de décision dans une tâche à choix forcé comme par exemple la tâche du 2AFC. Ce modèle postule que lors d'un processus de prise de décision, l'individu extrait des informations au cours du temps jusqu'à ce qu'il estime avoir suffisamment de preuve envers l'une des deux propositions pour prendre une décision et initier une réponse motrice. La modélisation des données par le HDD permet d'extraire deux paramètres différents reflétant ce phénomène de prise de décision et un troisième paramètre reflétant le temps de réponse non-décisionnel (pour une explication détaillée du HDD modèle voir encart 5). L'estimation des paramètres de prise de décision (i.e., le *threshold* (a) et le *drift-rate* (v)) a été faite en utilisant une modélisation bayésienne du modèle HDD (HDD python package- Wiecki, Sofer, & Frank, 2013). Le modèle utilise une estimation hiérarchique bayésienne (Markov chain Monte Carlo via PyMC) des paramètres et est efficace même sur un nombre restreint d'essais (Ratcliff & Childers, 2015).

L'analyse statistique montre une distribution différente du *threshold* chez les signeurs (sourds et entendants) par rapport aux entendants non-signeurs. Les sourds signeurs et les entendants signeurs ont un *threshold* plus élevé que les entendants non-signeurs (respectivement $p = 0.040$, et $p = 0.027$). De plus, les signeurs ont un *threshold* comparable ($p = 0.608$). Les mêmes différences sont retrouvées avec l'analyse de la distribution du *drift-rate* avec une différence entre signeurs et entendants non-signeurs (respectivement $p = 0.029$, et $p = 0.017$), mais pas de différence significative entre entendants signeurs et sourds signeurs, $p = 0.63$. Les signeurs ont un *drift-rate* plus élevé que les entendants non-signeurs. Voir tableau 3.4 pour plus de détails. Ces résultats suggèrent donc que les signeurs sont plus rapides pour extraire et accumuler des informations du stimulus (i.e., *drift-rate* plus élevé) et qu'ils adoptent une stratégie plus précautionneuse (i.e., *threshold* plus élevé) que les entendants non-signeurs.

Tableau 3.4

Valeurs moyennes estimées et dispersion du *threshold* et du *drift-rate* par le modèle HDD.

	<u>Threshold (a)</u>		<u>Drift-rate (v)</u>	
	<i>M</i>	<i>IC 95%</i>	<i>M</i>	<i>IC 95%</i>
Entendants non-signeurs	1.52	1.39-1.66	0.97	0.8-1.15
Entendants signeurs	1.69	1.55-1.84	1.21	1.09-1.40
Sourds signeurs	1.72	1.57-1.87	1.25	1.04-1.45

Discussion de l'étude 4

Le but de cette étude était de comprendre le rôle respectif de la surdité précoce profonde et de la pratique de la langue des signes dans les processus superordinaux et subordinaux de traitement des visages. Le niveau superordinal a été testé avec une tâche de catégorisation de visages censée refléter la première étape du traitement d'un visage. Cette étape initiale est considérée comme étant robuste à l'âge et à l'expérience. Le niveau subordinal a été testé avec une tâche de reconnaissance des visages qui peut être considérée comme un des niveaux les plus subordonnés. Ces niveaux subordinaux sont connus pour être sensibles à l'expérience visuelle et peuvent être influencés par la surdité et/ou la pratique de la langue des signes. En effet, des études ont observé des différences

entre signeurs et non-signeurs dans ce niveau de traitement (Arnold & Murray, 1998; Arnold & Mills, 2001; Bettger, Emmorey, Mccullough, & Bellugi, 1997).

En accord avec nos hypothèses, nous n'avons pas observé de différences significatives entre les signeurs et non-signeurs ou entre les sourds et les entendants sur la tâche de catégorisation de visages. Les trois groupes avaient des performances similaires pour catégoriser visages humains et non-humains- un processus à priori non lié aux contraintes de la langue des signes. Les temps de réponse courts associés à une proportion de réponses correctes très élevés (entendants non-signeurs 96.8%, entendants signeurs 96.8%, sourds signeurs 97.2%) pourraient refléter un effet plafond de la tâche. La catégorisation de visages humains parmi des non-humains est une tâche ne demandant que très peu de ressources cognitives et la tâche a été utilisée dans le but d'écarter la possibilité d'une différence importante dès la première étape du traitement des visages entre nos groupes expérimentaux et également dans le but de contrôler qu'un pan plus général du traitement visuelle n'est affecté ni par la surdité, ni par la langue des signes ou une combinaison des deux.

Au contraire, nous avons observé que les signeurs (quel que soit leur statut auditif) étaient plus lents mais plus précis pour reconnaître correctement un visage que les (entendants) non-signeurs. Ces différences ne peuvent être probablement que très peu expliquées par les différences d'âge observées entre les groupes puisque les régressions entre l'âge et les TR et l'âge et la précision des réponses étaient toutes deux non significatives. De même, ces différences sont très peu probablement liées à des changements cognitifs plus généraux comme la perception visuelle, la mémoire de travail ou l'attention visuelle puisque les études antérieures n'ont pas observé d'augmentation des temps de réponse chez les (sourds) signeurs pour la détection de cible (Loke & Song, 1991), la recherche visuelle (Rettenbach, Diller, & Sireteanu, 1999; Stivalet et al., 1998), ou dans les mécanismes d'orientation de l'attention (Heimler et al., 2015; Parasnis & Samar, 1985) dans le champ visuel central.

Le *trade-off* observé entre vitesse et précision de la réponse a été analysé plus précisément tout d'abord en calculant un score d'efficacité -IES (Bruyer & Brysbaert, 2011) puis en modélisant les données de nos participants avec un modèle bayésien hiérarchique de prise de décision -HDD (Wiecki et al., 2013). L'analyse IES a montré qu'aucun groupe ne

semblait plus efficace qu'un autre alors que les paramètres estimés par le modèle HDD reflétaient une différence dans la stratégie adoptée par les signeurs. Ces derniers, bien que plus efficaces pour extraire les informations pertinentes du signal (i.e., *drift-rate* plus élevé), avaient besoin d'accumuler plus d'informations pour répondre (i.e., *threshold* plus élevé) que les entendants non-signeurs. Cette stratégie de prise de décision plus « précautionneuse » a donc entraîné un temps de réponse plus long chez les signeurs. Contrairement à d'autres études (Arnold & Murray, 1998; Arnold & Mills, 2001; Bettger, Emmorey, McCullough, & Bellugi, 1997) nous n'observons pas de hausse dans les performances de reconnaissance des visages pour les participants signeurs mais plutôt une différence dans la stratégie adoptée pour effectuer cette reconnaissance. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que ces précédentes études n'ont jamais enregistré à la fois les temps de réponse et la précision de la réponse ou encore par la nature de la tâche utilisée pour évaluer les performances de reconnaissance. Les études d'Arnold et al. (1998, 2001) se sont focalisées sur un temps de réalisation de tâche complexe, et Bettger et al. (1997) n'ont analysé que la précision des réponses. De plus, nous avons testé les capacités de reconnaissances de visages dans une tâche de type 2-AFC alors que les études d'Arnold et al. (1998, 2001) ont utilisé une tâche d'appariement différé de visages et Bettger et al. (1997) ont utilisé une tâche d'appariement simultané de visages.

Notre étude suggère que la pratique de la langue des signes pourrait influencer au moins un niveau subordinal du traitement des visages (ici la reconnaissance), quel que soit le statut auditif et ce malgré la légère différence de niveau estimé en LSF entre les participants sourds et entendants (voir encart x pour plus de détails). Les processus cognitifs nécessaires à la tâche de reconnaissance des visages utilisée ici pourraient également être nécessaires à la communication signée puisque dans les deux cas, il est nécessaire de porter attention aux petits détails et changements sur un visage pour prendre une décision et agir de manière adéquate.

Il est également intéressant de noter que cette modulation n'est pas due à un apprentissage précoce de la langue des signes, mais plutôt à une pratique régulière sur du long terme. En effet, les personnes entendants ont toutes (sauf une participante CODA) appris la langue des signes à l'âge adulte ($M=27$ ans) avec une pratique régulière de la LSF depuis en moyenne une quinzaine d'années. Avoir un niveau de pratique élevé de la langue

des signes semble être la condition nécessaire à l'observation d'une différence en reconnaissance des visages puisque ni l'âge d'acquisition, ni la fréquence de pratique de la LSF ne sont significativement liés au temps de réponse ou à la proportion de réponses correctes.

Au moins trois hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette modulation fonctionnelle pour la reconnaissance des visages chez les signeurs. La première hypothèse serait que l'activité motrice inhérente à la langue des signes affecterait la cognition visuelle. Certaines études ont montré qu'une motricité particulière dans l'espace pouvait moduler la perception visuelle (Dupierrix, Gresty, Ohlmann, & Chokron, 2009; Herlihey, Black, & Ferber, 2013). Cette hypothèse est peu probable, car les changements observés portaient soit sur des changements dans la perception visuelle spatiale (Dupierrix et al., 2009) soit dans des étapes précoces de la perception visuelle (Herlihey et al., 2013) et non sur des traitements complexes impliqués qui pourraient être impliqués dans la reconnaissance de visages.

La seconde hypothèse avancée s'inspire d'une récente étude effectuée auprès d'entendants monolingues et bilingues (Kandel et al., 2016). Cette étude suggère que l'acquisition d'une seconde langue (orale) influencerait les processus de reconnaissance des visages. Les auteurs ont observé que, comme les signeurs de notre étude, les bilingues étaient plus lents et légèrement plus précis pour reconnaître des visages que les monolingues. Ces résultats s'inscrivent dans une perspective développementale, suggérant que l'apprentissage précoce d'une seconde langue induirait une organisation cérébrale et une sensibilité perceptive différente des monolingues qui ne se restreindrait pas aux seuls processus langagiers. Il serait donc possible que le traitement des visages des bilingues de notre étude (LSF-français) ait été influencé par des mécanismes d'affinage perceptif similaires. Cependant, les signeurs sourds ou entendants ont pour la plupart appris la langue des signes après cette période d'affinage perceptif qui s'opère dans les premières années de la vie (Maurer & Werker, 2014). Par conséquent, il serait plus probable qu'une pratique régulière et fréquente de la langue des signes soit suffisante pour induire une modulation dans la stratégie cognitive de la reconnaissance des visages. Il serait donc intéressant de savoir à quel moment dans le processus d'apprentissage et d'expertise en langue des signes cette modulation s'opère- c'est-à-dire quel niveau et quelles expériences sont nécessaires pour voir apparaître un *trade-off* entre le temps de réponse et la précision. Il est ici

impossible d'estimer ce niveau minimum puisque tous les signeurs ont été recrutés car ils avaient un bon niveau en LSF. Il n'est pas non plus possible de tester l'existence d'une corrélation entre le niveau de LSF et nos résultats puisque l'échelle de niveau utilisée ici était totalement arbitraire, basée sur de l'auto-évaluation et donc peu informative.

Enfin, la troisième hypothèse est une hypothèse de modulation fonctionnelle liée aux exigences de la langue des signes (Emmorey, 2001). Comme évoqué précédemment, le visage joue un rôle indispensable dans la communication signée. Il délivre des marqueurs linguistiques, syntactiques et émotionnels donnant sens ou nuances aux gestes de paroles (Brentari & Crossley, 2002; Liddell, 2003; Reilly et al., 1992). Le signeur doit donc être capable de porter une attention particulière aux changements de certains détails ou de configuration du visage pour comprendre correctement les gestes de paroles. Cette nécessité forcerait peut-être les signeurs à extraire et analyser différemment des non-signeurs les informations contenues sur un visage. Les signeurs pourraient passer plus de temps à analyser un visage, mais pour un résultat plus performant, et notamment dans une tâche de reconnaissance de visages. Cette différence ne se reflèterait pas sur une tâche comme la catégorisation de visages, car ce genre de processus (1) n'est pas impliqué dans la communication signée et (2) ne nécessite qu'un traitement superficiel du stimulus qui permet de rapidement faire la distinction entre un visage humain et non-humain (ex., forme générale, texture, couleur...).

Il serait également intéressant d'étendre cette recherche auprès d'une population d'enfants sourds et/ou signeurs puisqu'il est possible que le développement des capacités de traitement des visages suive une trajectoire différente selon le statut auditif ou l'expérience linguistique de l'enfant. Dans leur étude sur la reconnaissance des visages dans la tâche du Benton Test chez les adultes sourds signeurs (*study 2*), Bettger et al. (1997) n'ont pas observé de différence de performances entre les sourds signeurs de parents sourds et de sourds signeurs de parents entendants (i.e., avec un apprentissage plus tardif de la langue des signes), les deux groupes ayant de meilleures performances que les entendants non-signeurs. Mais dans la version développementale de cette étude (avec des enfants entre 6 et 9 ans, *study 4*), les enfants sourds de parents sourds avaient de meilleures performances que les enfants (sourds et entendants) de parents entendants. Ces résultats suggèrent que même si l'âge d'acquisition ne semble pas affecter les performances de reconnaissance de

visage à l'âge adulte, il pourrait tout de même affecter certains processus cognitifs en particulier chez les enfants.

Pour conclure, le premier niveau de traitement des visages, le niveau superordinal, permettant notamment de discriminer des visages humains des visages non-humains ne semble affecté ni par la surdité profonde précoce ni par la pratique de la langue des signes renforçant l'idée d'un processus résistant à l'expérience. Au contraire, un traitement subordinal et complexe d'un visage comme la reconnaissance, diffère chez les personnes pratiquant la langue des signes depuis des années qu'elles soient sourdes ou entendants. Bien que cette étude apporte de nouvelles informations sur le rôle respectif de la surdité et de la langue des signes sur différents processus de traitement des visages, il reste encore de nombreux aspects à explorer. La seconde étude de ce chapitre de thèse s'inscrit dans la continuité des résultats observés. Grâce à l'enregistrement des mouvements oculaires pendant l'observation de visages et à l'utilisation de paradigmes expérimentaux originaux développés au *Eye and Brain Mapping Lab* par l'équipe du professeur Roberto Caldara à l'Université de Fribourg (Suisse), il est possible de récolter des informations quantitatives et qualitatives et d'ainsi approfondir les connaissances sur le processus de reconnaissance de visages chez les personnes sourdes et signeuses.

Etude 5 : Stratégie d'exploration visuelle pour la reconnaissance d'un visage chez les sourds signeurs

Abstract

Research has shown that early profound hearing loss enhances the sensitivity and efficiency of the visual channel in deaf individuals, resulting into a larger peripheral visual attention compared to the hearing population. However, whether such perceptual bias extend to visual sampling strategies deployed during the biologically-relevant face recognition task remains unclear. To this aim, we recorded the eye movements of deaf signers and hearing non-signers while they performed a delayed matching task with upright and inverted faces. The deaf observers were not impaired by the face inversion and did not change their sampling strategy unlike hearing observers. To assess whether this particular fixation strategy in the deaf observers was paired with a larger information intake, the same participants performed the identical experiment with a gaze-contingent design parametrically and dynamically modulating the quantity of information available at each fixation – *the Expanding Spotlight*. Visual information reconstruction with a retinal filter revealed an enlarged visual field in deafness. Unlike hearing participants, deaf observers used larger information intake from all the fixations. Altogether, our data show that the face system is flexible and might tune to specific strategies as a function of experience.

Communication scientifique associée:

Lao, J., Stoll, C., Dye, M., Pascalis, O., Caldara, R. (2017). Deafness Amplifies Visual Information Sampling during Face Recognition, *Annual Meeting of the Vision Science Society*, May 19-24, St. Pete Beach, Florida

Problématique et hypothèses

Certaines parties du visage sont plus saillantes que d'autres pour fournir les informations pertinentes pour traiter un visage. De plus, la saillance des parties du visage est relative à l'information que l'on cherche sur le visage ou de la localisation de la première saccade oculaire sur le visage (Miellet, Caldara, & Schyns, 2011; Schyns, Bonnar, & Gosselin, 2002). Par exemple, s'il faut déterminer l'identité d'un visage, le participant regardera à la fois les yeux et la bouche ; s'il faut déterminer le genre du visage, un œil sera diagnostique alors que la bouche sera centrale pour déterminer une expression faciale (Schyns et al., 2002). La culture d'un individu va également jouer sur la stratégie d'exploration d'un visage, mais pas sur les performances de reconnaissance. Les populations asiatiques auraient tendance à fixer davantage le nez alors que les populations caucasiennes fixeraient plutôt les yeux (e.g., Miellet et al., 2013). La stratégie d'exploration et de reconnaissance des visages est donc un processus qui se modèle notamment selon la tâche et la culture du participant.

Le but de cette étude est d'explorer si la stratégie de reconnaissance des visages (présentés dans leur orientation canonique ou inversée) chez les personnes sourdes signeuses est modulée par une expérience visuelle et linguistique atypique. Plus précisément et en utilisant une méthode de contingence visuelle, il est possible d'estimer les informations quantitatives et qualitatives nécessaires pour reconnaître un visage. La méthode de contingence visuelle, l'*expanding spotlight*, permet de moduler la quantité d'informations visuelles péri-fovéolaires disponibles pour le participant en fonction du temps de fixation oculaire. Plus la fixation oculaire est longue, plus le champ perceptif d'informations disponibles est large. Si la surdité précoce associée à la pratique de la langue des signes modifie les informations qualitatives nécessaires à la reconnaissance des visages, les sourds signeuses devraient avoir des zones diagnostiques de reconnaissance différentes des entendants non-signes. De plus, si la surdité précoce associée à la pratique de la langue des signes modifie les informations quantitatives nécessaires à la reconnaissance des visages, la taille des zones diagnostiques devrait différer entre sourds signeuses et entendants non-signes. Si comme suggéré par l'étude sur la reconnaissance des visages de He et al. (2016), les sourds signeuses possèdent un champ réceptif plus grands que les entendants non-signes, ils devraient avoir besoin de plus d'informations péri-fovéolaires pour reconnaître un visage et cela quelle que soit son orientation.

Cette étude a également pour but de tester si la présentation inversée d'un visage impacte de manière différente les sourds signeurs et les entendants non-signeurs tant d'un point de vue comportemental que dans les mouvements oculaires. En effet, une analyse comportementale permettra de mieux comprendre le *face inversion effect* chez les sourds signeurs puisque les études de de Heering et al. (2012) et de He et al. (2016) trouvent des résultats contradictoires (i.e., une augmentation de l'effet dans la première étude vs une diminution de l'effet dans la seconde). Enfin et à notre connaissance, il n'existe pas d'étude en oculométrie sur le *face inversion effect* chez les sourds signeurs. Cette étude a été réalisée en collaboration avec l'IBM Lab de l'Université de Fribourg (Suisse) et avec le National Technical Institute for the Deaf du RIT (USA).

Méthode

Participants

Trente et un étudiants sourds du NTID ($M_{\text{âge}} = 22.14$, $ET_{\text{âge}} = 3.1$, étendu = 18-32 ans, 18 femmes) ont participé à cette étude. Ils étaient tous atteints de surdité sévère à profonde (perte auditive supérieure à 70dB), et avaient appris l'ASL (ou une autre langue des signes) au plus tard à 5 ans ($M_{\text{âge acquisition}} = 24.18$ mois, $ET_{\text{âge acquisition}} = 19.0$ mois). Ils ont estimé leur niveau d'ASL à en moyenne 3.8/4 ($Me_{\text{niveau ASL}} = 4$, $ET_{\text{niveau ASL}} = 0.38$). Aucun des 31 participants n'a rapporté avoir d'antécédents neurologiques ou de troubles visuels non corrigés à la normale. Chaque participant délivrait un consentement de participation écrit et était payé en échange de sa participation. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique local du Rochester Institute of Technology et les participants de ce groupe ont été testés au RIT/NTID.

Cinquante et une personnes sans trouble de l'audition constituant le groupe contrôle ($M_{\text{âge}} = 21.46$, $ET_{\text{âge}} = 2.43$, étendu = 18-33 ans, 35 femmes) ont également participé à cette étude. Aucun d'entre eux ne connaissait une quelconque langue des signes, avait des antécédents neurologiques ou des troubles visuels non corrigeables à la normale. Chaque participant délivrait un consentement de participation écrit et était payé en échange de sa participation. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique local de l'Université de Fribourg et les participants de ce groupe ont été testés à l'Université de Fribourg.

Matériel et Procédure

Stimuli. Les 56 visages caucasiens utilisés dans cette étude ont été sélectionnés dans la base de données KDEF (Lundqvist et al., 1998) avec autant d'hommes que de femmes. Pour chaque identité, 3 photos différentes ont été sélectionnées : la première avec une expression neutre et les deux autres avec une émotion différente parmi les six émotions de base. Chaque émotion était représentée un nombre équivalent de fois sur la totalité des stimuli. Les images ont été modifiées avec Adobe Photoshop pour s'assurer que la position des yeux et de la bouche était bien alignée et pour normaliser la luminance de chaque visage et expression. Les contours des visages ont été supprimés en ajoutant un contour uniforme

et identique sur toutes les images. Les visages couvraient un angle visuel de 15° (800 x 600 pixels) et étaient présentés sur un fond blanc.

Oculométrie et présentation des stimuli. Les mouvements oculaires de l'œil directeur du participant étaient enregistrés avec un SR Research Desktop-Mount EyeLink 2K eye-tracker® (résolution spatiale moyenne de 0.01° et une erreur moyenne de la position du regard de 0.25° avec un taux d'échantillonnage de 1000 Hz). La tête du participant était stabilisée par une mentonnière et l'exploration des stimuli était binoculaire. La présentation des stimuli était programmée avec la Psychtoolbox Psychophysics & Video Toolboxes (Brainard, 1997; Pelli, 1997); de Matlab® (R2010a, The MathWorks, Natick, MA, USA), sur un écran BenQ XL2720Z 1920 x 1080 pixels (27 pouces, taux de rafraîchissement de 120 Hz) disposé à 70 cm du participant.

Expanding spotlight. Le *expanding spotlight* est une méthode de contingence du regard développée par Mielle, Vizioli, He, Zhou et Caldara (2013) pour mesurer la quantité d'informations extra-fovéolaires nécessaires au participant durant une tâche de traitement des visages. Ce paradigme de contingence du regard utilise une ouverture dynamique de type gaussienne centrée sur la fixation du participant. Pendant l'observation d'un visage avec l'*expanding spotlight*, seuls les détails du visage se trouvant à l'intérieur de l'ouverture sont disponibles pour le participant. L'espace visuel non-fixé par le participant (i.e., l'espace hors de l'ouverture gaussienne) est masqué par un visage composite moyen permettant au participant de programmer naturellement les saccades oculaires nécessaires au traitement du visage. De plus tout comme dans l'étude de Mielle et al. (2013), la taille de l'ouverture délivrant les informations s'agrandissait à un taux de 1/25° d'angle visuel à chaque milliseconde durant une fixation oculaire. En d'autres termes, plus le participant fixait longtemps un point fixe du visage, plus l'ouverture s'agrandissait et donc plus le participant avait accès à des informations extra-fovéolaires. Cette vitesse d'expansion de l'ouverture 1/25° d'angle visuel par chaque milliseconde a été sélectionnée puisqu'elle est suffisamment rapide pour que les durées moyennes des fixations oculaires se rapprochent de celles habituellement observées en condition d'observation naturelle. Dans le même temps, cette vitesse d'expansion est suffisamment lente pour être sensible et mettre en lumière des différences dans l'extraction d'information. Par exemple, il faut au minimum 100 ms à l'ouverture pour s'agrandir au-delà de la région du nez. À chaque nouvelle fixation,

l'ouverture reprenait sa taille par défaut de 2° d'angle visuel au tour du point de fixation. Voir figure 3.15 pour une illustration de la technique de l'*expanding spotlight*. Une vidéo illustrative est également disponible sur le site web de l'IBM Lab à l'adresse suivante : <http://perso.unifr.ch/roberto.caldara/index.php?page=4§ion=2>

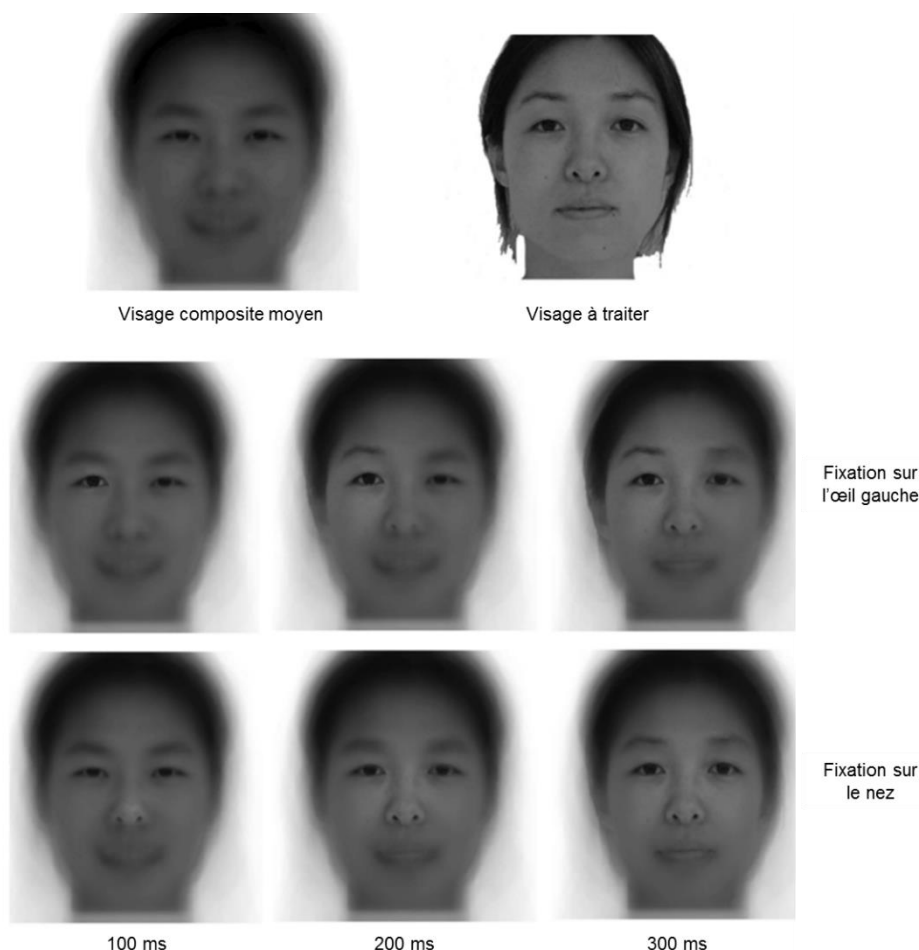


Figure 3.15 : Illustration de la technique *Expanding Spotlight*. La première ligne montre à gauche le visage composite moyen présenté au-delà de l'ouverture gaussienne et à droite le visage à traiter présenté dans l'ouverture. Les deux autres lignes illustrent l'expansion de l'ouverture avec le temps (100, 200 et 300 ms après le début de la fixation) en cas de fixation sur l'œil gauche (seconde ligne) ou en cas de fixation sur le nez (troisième ligne). D'après Miellet et al. (2013).

Procédure. Le participant réalisait une tâche de reconnaissance de visage. Un essai commençait par une croix de fixation centrale de 300 ms suivie par un écran blanc de 200 ms. Un visage apparaissait ensuite pendant 1100 ms à une localisation aléatoire (pour éviter la tendance centrale de la première fixation sur le visage) et était toujours observé par le participant dans une condition dite naturelle (i.e., sans l'*expanding spotlight*). Après un écran blanc de 600 ms un second visage était présenté. Le participant devait décider, le plus

précisément et le plus rapidement possible, si le second visage présenté appartenait ou non à la même personne que le premier. La réponse se faisait en appuyant sur les touches prédéfinies sur clavier (i.e., même personne ou différente personne). Le second visage était présenté aussi longtemps que nécessaire et seulement une réponse du participant permettait à l'essai suivant de commencer. Afin d'éviter un appariement visuel d'image, le premier et le second visage n'avaient jamais la même expression faciale. Enfin, si le premier visage était présenté à l'envers (la tête en bas), le second était également présenté sous cette orientation et réciproquement (figure 3.16). Chaque participant réalisait deux blocs expérimentaux de 96 essais chacun (ordre randomisé), un avec l'*expanding spotlight* et un avec l'observation normale des visages. Une session d'entraînement était réalisée avant le début de chaque bloc expérimental afin de se familiariser avec la tâche. Avant le début de chaque bloc une calibration sur 9 points était effectuée et également à l'intérieur du bloc si besoin afin d'assurer un enregistrement de qualité optimale.

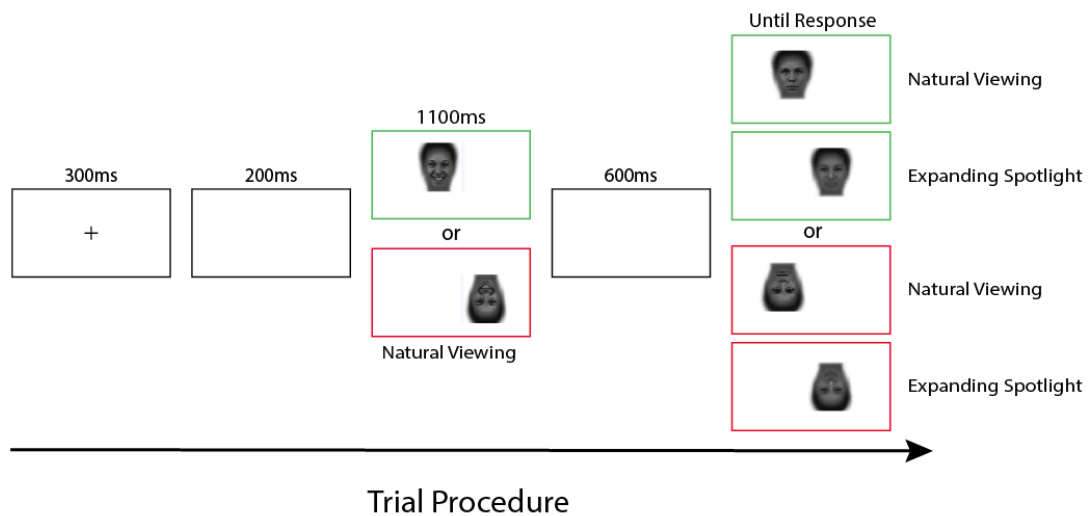


Figure 3.16. Déroulement d'un essai selon les différentes conditions expérimentales.

Analyse des données

Données comportementales. Les temps de réponse moyens et la proportion de bonnes réponses ont été analysées à l'aide d'une ANOVA à mesures répétées avec l'orientation du visage (i.e., inversée ou canonique) et son type de présentation (i.e., *expanding spotlight* ou

naturelle) comme variable intra-sujet et le groupe comme variable inter-sujets (i.e., sourds signeurs et entendants non-signeurs).

Données oculométriques⁸. Les enregistrements des mouvements oculaires bruts ont été traités avec des filtres de détection des saccades et des fixations oculaires (seuil de vitesse de saccade = $30^\circ/s$; seuil d'accélération de saccade = $4000^\circ/s$). L'analyse spatiale et temporelles des fixations oculaires a été faite via *iMap4* (Caldara & Mielliet, 2011; Lao, Mielliet, Pernet, Sokhn, & Caldara, 2015), une toolbox pour l'analyse statistique des cartographies de mouvements oculaires. Sa fonction principale est de projeter la durée de chaque fixation oculaire de chaque participant sur une carte 2D (i.e., ici un visage) à chaque essai. Les fixations oculaires ont par la suite étaient traitées par des modèles mixtes linéaires avec la variable sujet comme facteur aléatoire et les variables groupes, type de présentation et orientation du visage comme facteurs fixes. À noter que l'analyse de l'exploration du visage s'est effectuée uniquement sur les visages "à reconnaître" (i.e., le deuxième visage présenté au participant). Enfin, comme l'*expanding spotlight* permet de moduler la quantité d'information visuelle disponible à chaque fixation oculaire, il est possible de reconstituer l'information visuelle perçue par le participant à chaque fixation oculaire. Tout d'abord nous avons moyenné les temps de fixation sur chaque région d'intérêt (RIO) que sont les yeux, le nez et la bouche. Nous avons ensuite estimé la quantité d'information disponible sur chaque RIO puis reconstruit la taille du champ visuel pour chaque fixation pour les visages canoniques et inversés. La procédure détaillée de la reconstruction est décrite par Mielliet et al. (2013).

Résultats

Résultats comportementaux

Les données de 3 participants sourds ont été écartées de l'analyse statistique, car leur score de bonnes réponses en présentation naturelle des visages était inférieur à 50%. De plus, les données de deux participants sourds supplémentaires et d'un entendant non-

⁸ Le traitement et l'analyse des données oculométriques ont été réalisés par Junpeng Lao de l'IBM Lab de l'Université de Fribourg.

signeur ont été écartées de l'analyse statistique, car la valeur leurs RSS sur les temps de réponse moyens étaient supérieur à 3.5 sur au moins deux des quatre conditions expérimentales (Belsley et al., 2005). L'analyse a été conduite sur 27 participants sourds signeurs et 50 participants entendants non-signeurs.

Proportion de bonnes réponses. L'ANOVA à mesures répétées révèle un effet principal de l'orientation du visage, avec une proportion de réponses correctes plus importante quand le visage est présenté dans son orientation canonique, $F(1,75) = 18.43, p < 0.0001, \eta^2_p = 0.20$. Un effet principal du type de présentation est également observé avec un meilleur score de reconnaissance avec la présentation naturelle des visages qu'avec l'*expanding spotlight*, $F(1,75) = 42.97, p < 0.0001, \eta^2_p = 0.36$. De plus, un effet d'interaction est observé entre l'orientation et le type de présentation du visage, $F(1,75) = 18.97, p < 0.0001, \eta^2_p = 0.20$. Cette interaction s'explique par la disparition de l'effet d'inversion quand le visage est présenté avec l'*expanding spotlight*, $F(1,75) < 1$. Voir figure 3.17. Enfin, les deux groupes ont des performances comparables quelle que soit la condition de présentation du visage puisque l'analyse de révèle pas d'effet principal du groupe, $F(1,75) < 1$. Aucun d'effet d'interaction entre le groupe et les conditions de présentation de visage ne s'est révélé significatif.

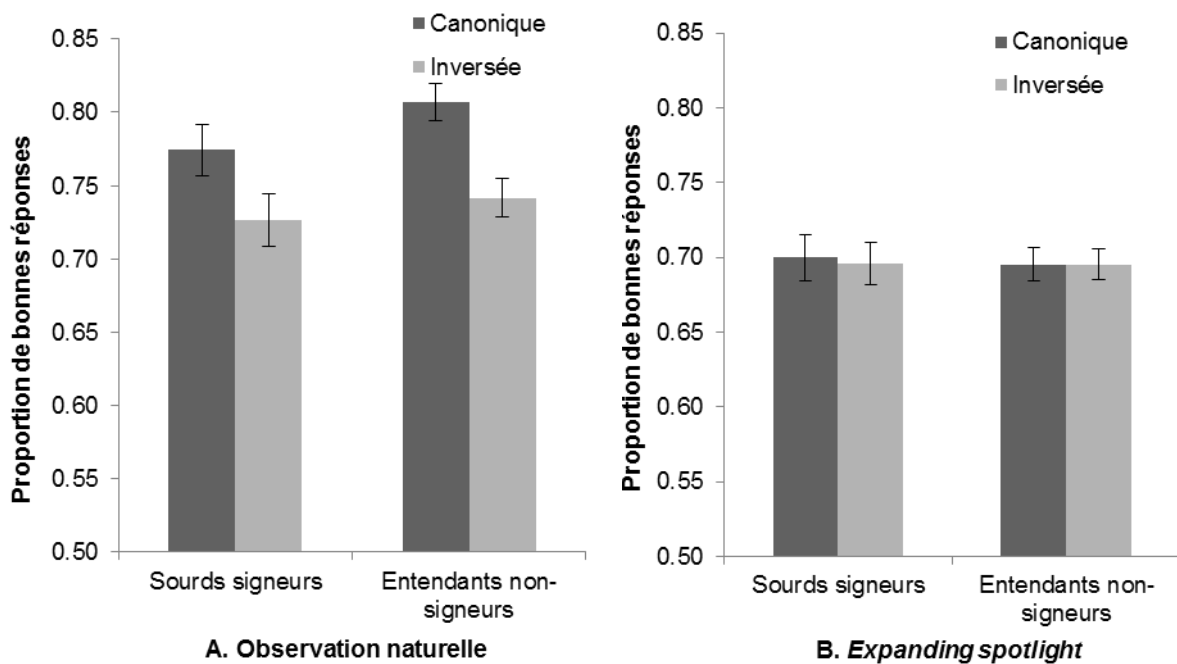


Figure 3.17 : Proportion de reconnaissances correctes chez les sourds signeurs et entendants non-signeurs selon la condition d'observation du visage. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard à la moyenne.

Temps de réponses correctes. L'ANOVA à mesures répétées révèle un effet principal de l'orientation du visage, avec un temps de réponse plus court quand le visage est présenté dans son orientation canonique, $F(1,75) = 4.19$, $p = 0.044$, $\eta^2_p = 0.05$. Un effet principal du type de présentation est également observé avec temps de réponse plus court avec la présentation naturelle des visages qu'avec l'*expanding spotlight*, $F(1,75) = 69.27$, $p < 0.0001$, $\eta^2_p = 0.48$. Contrairement au score de bonnes réponses, un effet principal du groupe suggère que les sourds signeurs sont plus lents que les entendants non-signeurs pour reconnaître correctement un visage, $F(1,75) = 6.25$, $p = 0.014$, $\eta^2_p = 0.08$. Enfin, aucun effet d'interaction significatif entre les différentes variables n'est observé (figure 3.18)

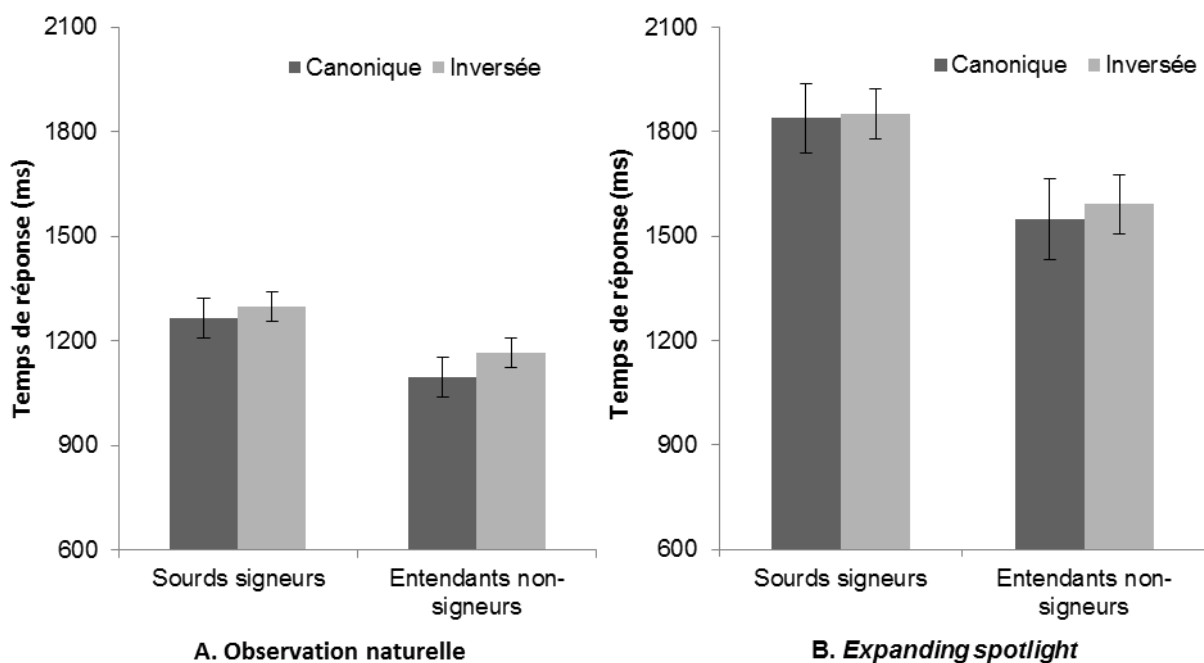


Figure 3.18 : Temps de réponse moyens (en ms) chez les sourds signeurs (graphique du haut) et chez les entendants non-signeurs (graphique du bas) selon la condition de présentation et l'orientation du visage. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard à la moyenne.

Résultats de l'oculométrie

Pour l'analyse des mouvements oculaires, seuls les participants avec un score inférieur à 50% de bonnes réponses ont été exclus de l'analyse (i.e., 3 participants sourds). De plus, les enregistrements de 9 entendants non-signeurs et de 4 sourds signeurs étaient trop bruités pour être correctement analysés et ont par conséquent été exclus. L'analyse a donc été effectuée sur 24 sourds signeurs et 42 entendants non-signeurs.

Cartes d'exploration oculaire. Les cartes d'explorations moyennes selon les conditions expérimentales sont reportées figure 3.19. Elles suggèrent pour toutes les conditions un pattern d'exploration classique des visages en forme de T avec la majorité des fixations distribuées entre les yeux et la bouche. De plus, les cartes des sourds signeurs et des entendants non-signeurs sont assez similaires.

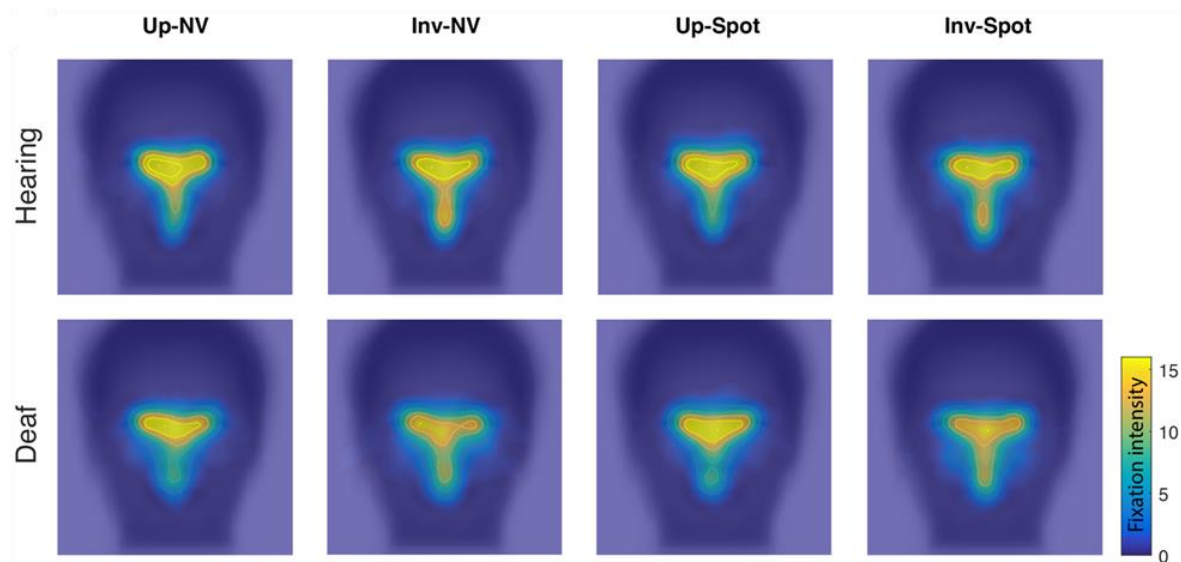


Figure 3.19 : Cartes d'exploration moyennes des visages selon les différentes conditions et pour chaque groupe.

Les analyses statistiques sur les cartes d'explorations montrent un effet significatif du groupe dans l'effet d'inversion des visages. Plus précisément, les sourds avaient un pattern de fixation plus distribué que les entendants, $F_{\min}(1, 256) = 3.879$, $F_{\max}(1, 256) = 13.550$, $p < 0.05$. De plus, les participants avaient tendance à regarder davantage le nez et la bouche que les yeux lorsque le visage était inversé, $F_{\min}(1, 256) = 3.879$, $F_{\max}(1, 256) = 29.158$, $p < 0.05$. En soustrayant la carte d'exploration du visage inversé à celle du visage canonique pour chaque groupe, il est possible de caractériser l'effet d'inversion sur l'exploration du visage. Comme reporté figure 3.20, on observe un changement de stratégie d'exploration du visage uniquement chez les entendants non-signeurs. Plus particulièrement, lorsque le visage est inversé les entendants non-signeurs regardent davantage la bouche que lorsque le visage est canonique (zone entourée en noire dans la figure 3.20) alors que les sourds signeurs ont une stratégie d'exploration similaire quelle que soit l'orientation du visage.

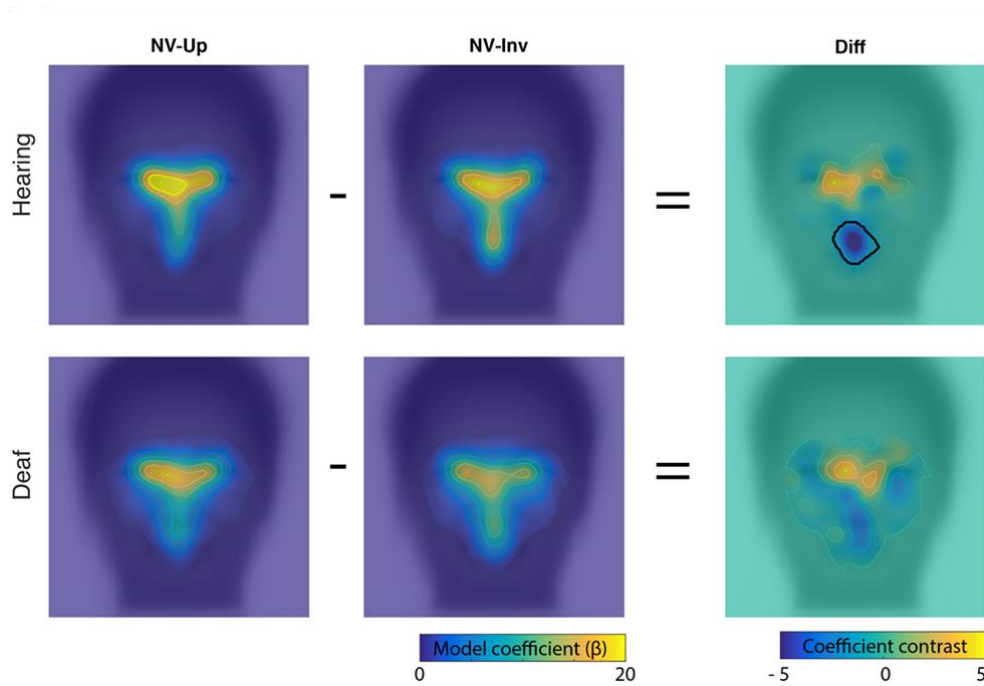


Figure 3.20 : Effet de l'inversion du visage dans la stratégie d'exploration visuelle d'un visage chez les entendants non-signeurs et les sourds signeurs.

Reconstruction de l'information visuelle perçue. L'analyse des temps de fixation avec l'*expanding spotlight* des différentes RIO suggère que les sourds signeurs avaient des temps de fixation plus longs que les entendants non-signeurs quelle que soit l'orientation du visage (figure 3.21). Cette différence dans la durée des fixations oculaires induit par conséquent la dispense d'une plus grande quantité d'informations péri-fovéolaires chez les sourds que chez les entendants. Cette différence de taille de champ perceptif est illustrée figure 3.22.

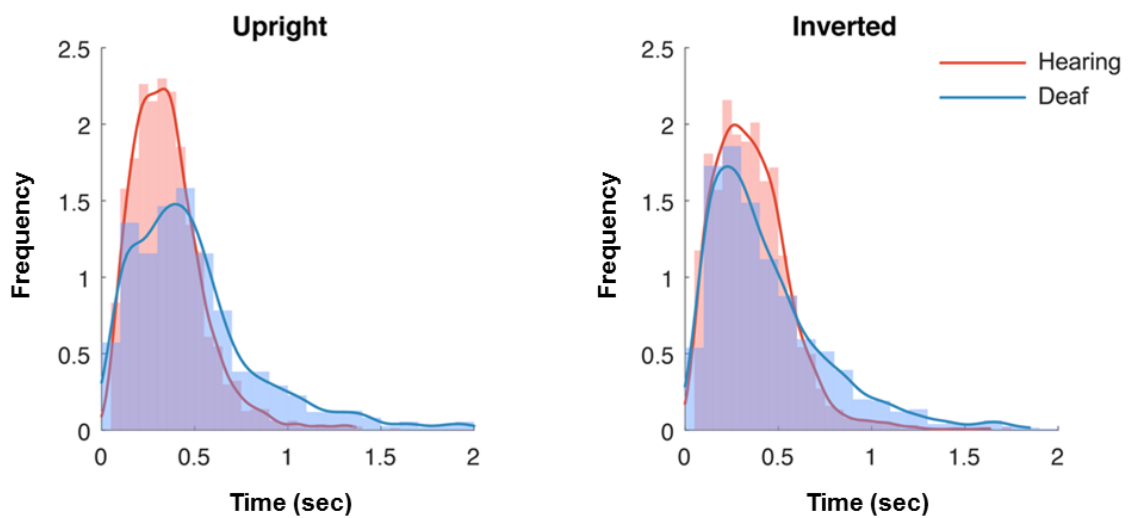


Figure 3.21 : Distribution des durées des fixations oculaires pour l'observation de l'œil gauche chez les sourds et les entendants.

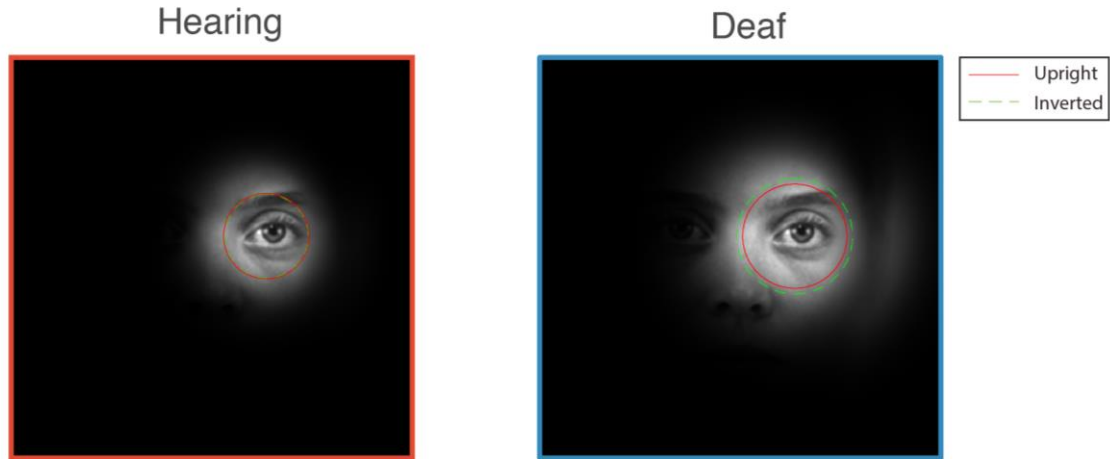


Figure 3.22 : Estimation de la quantité d'informations visuelles disponibles pour l'observation de l'œil gauche chez les entendants non-signeurs et les sourds signeurs selon la durée moyenne du temps de fixation. À noter qu'il n'y a pas de différence entre l'orientation canonique et inversée du visage.

Discussion de l'étude 5

Le but de cette étude était de mieux comprendre les stratégies d'exploration d'un visage (présenté dans son orientation canonique ou inversé) chez les sourds signeurs dans une tâche de reconnaissance des visages en analysant des données comportementales et des mouvements oculaires. Pour ce faire, un groupe de sourds signeurs et d'entendants non-signeurs ont réalisé la tâche en vision naturelle ou avec la méthode de contingence visuelle *expanding spotlight*.

D'un point de vue comportemental quand le visage est observé en vision naturelle, les données montrent un effet typique de *face inversion* (i.e., un temps de réponse plus long et un score de bonnes réponses plus faible lorsque le visage est présenté à l'envers) tant chez les entendants non-signeurs que chez les sourds signeurs. Malgré des temps de réponse globalement plus longs chez les sourds signeurs, il semble que la magnitude de l'effet d'inversion soit similaire entre les sourds signeurs et les entendants non-signeurs. Quand les participants devaient reconnaître un visage avec *l'expanding spotlight*, les temps de réponses étaient plus longs qu'en vision naturelle avec une proportion de bonnes réponses plus faible quel que soit le groupe. À noter que les sourds restaient plus lents que les entendants. Par contre, l'effet d'inversion ne s'observe dans aucun des deux groupes

suggérant que la suppression des informations non diagnostiques du visage entraînerait la suppression de l'effet d'inversion.

L'analyse des cartes d'exploration oculaire suggère tout d'abord que les sourds, dans le but de reconnaître un visage, ont une stratégie d'exploration similaire aux entendants avec un pattern d'exploration classique aux populations des cultures caucasiennes en forme de T avec la majorité des fixations oculaires distribuées entre les yeux et la bouche. Toutefois, l'exploration en vision naturelle du visage inversé serait sous-tendue par deux patterns légèrement différents entre les groupes. En effet, alors que les sourds conservaient la même stratégie d'exploration quelle que soit l'orientation du visage, les entendants avaient tendance à davantage regarder la bouche du visage quand celui-ci était présenté à l'envers. L'analyse des temps de fixation montre des temps de fixations plus longs chez les sourds que chez les entendants la condition avec *l'expanding spotlight*. Ces fixations plus longues impliquaient par conséquent une plus grande quantité d'informations péri-fovéolaires disponibles pour les sourds avant la prochaine saccade oculaire. Ce dernier résultat suggère que les sourds auraient un plus grand champ réceptif que les entendants dans des conditions de vision naturelle.

Pris ensemble ces résultats suggèrent que l'exploration des visages pour la reconnaissance n'est pas profondément modifiée chez les sourds signeurs mais qu'il existe toutefois des différences plus subtiles entre sourds signeurs et entendants non-signeurs. D'un point de vue comportemental, les temps de réponse plus lents chez les sourds signeurs sont cohérents avec l'étude 4 de ce travail de thèse. La différence dans la tâche et l'absence de pression temporelle pour répondre pourraient expliquer pourquoi les deux groupes présentent des pourcentages de bonnes réponses similaires. L'effet d'inversion du visage similaire dans les deux groupes dans cette étude ne permet malheureusement pas de clarifier les résultats contradictoires rapportés par la littérature (de Heering et al., 2012; He et al., 2016). Ici encore, il est possible que les différences dans les tâches et les contraintes temporelles des participants soient à l'origine de ces différences. Il est également possible que les différences de résultats soient dues à des différences dans les profils des sourds constituant les groupes expérimentaux (e.g., âge acquisition de la langue des signes, fluence dans la langue des signes, utilisation d'aide auditive ou d'implant cochléaire, ...). Il serait

nécessaire de reprendre les paradigmes précédemment utilisés pour répliquer les résultats précédents et clarifier la question du *face inversion effect* dans la surdité.

Enfin, l'effet d'inversion ne s'observe dans aucun des deux groupes quand le visage est observé avec l'*expanding spotlight* suggérant que la suppression des informations non diagnostiques du visage entraînerait la suppression de l'effet d'inversion. L'*expanding spotlight* réduit la quantité d'informations péri-fovéolaires à la disposition de l'observateur. En réduisant le champ perceptif, cette méthode de contingence visuelle pourrait empêcher le traitement configural et holistique du visage en obligeant l'observateur à traiter chaque partie du visage comme étant indépendante les unes des autres et cela quelle que soit l'orientation du visage. Cette nécessité de traiter chaque partie du visage indépendamment pourrait également expliquer l'augmentation des temps de réponses et la baisse de proportion de bonnes réponses par rapport à la vision naturelle des visages.

L'analyse des cartes de fixation oculaires suggère une différence intéressante entre sourds signeurs et entendants non-signeurs. Les sourds ont des saccades plus longues avec l'*expanding spotlight* pour la reconnaissance des visages quelle que soit son orientation. Ces derniers ont donc besoin d'accumuler davantage d'informations avant de faire une nouvelle saccade oculaire étayant l'hypothèse de He et al. (2016) d'un plus grand champ perceptif pour les sourds dans le traitement des visages. Cette interprétation est cohérente avec la littérature et les résultats observés dans le chapitre 2 sur le traitement visuel périphérique. Un plus grand champ perceptif pourrait également expliquer pourquoi on observe une différence dans l'exploration des visages inversés entre les sourds et les entendants. Ces derniers regardent plus la bouche lorsque le visage est inversé que lorsqu'il est présenté dans son orientation canonique contrairement aux sourds qui ont une stratégie exploratoire similaire quelle que soit l'orientation du visage. Pour rappel, la théorie des champs perceptifs postule que la taille du champ perceptif du visage est fonction de l'orientation d'un visage avec une réduction importante de sa taille lorsque le visage est présenté à l'envers (Rossion, 2009). Avec un plus grand champ perceptif, les sourds pourraient être capables de traiter les informations pertinentes délivrées par la bouche en conservant leur regard au niveau des yeux. Au contraire, comme les entendants non-signeurs possèdent un champ perceptif plus petit, ils sont plus pénalisés par la présentation d'un visage inversé et doivent par conséquent orienter leur regard vers la bouche pour aller y extraire les

informations dont ils ont besoin. Si cette interprétation est la plus probable, elle n'est pas compatible avec la non-différence dans la magnitude de l'effet d'inversion entre sourds et entendants puisqu'un plus grand champ perceptif devrait induire un effet d'inversion plus faible. D'un point de vue fonctionnel un plus grand champ perceptif pour le traitement des visages pourrait avoir un intérêt dans la communication en langue des signes en permettant à l'observateur d'accumuler davantage d'informations sur l'expression faciale de son interlocuteur sans avoir à effectuer de multiples saccades oculaires. Mais avoir un plus grand champ perceptif pourrait également être fonctionnel pour faciliter la lecture labiale chez les personnes sourdes. Afin de déterminer si ces changements dans la taille du champ perceptif sont davantage liés à la surdité ou à la pratique de la langue des signes, nous sommes actuellement en train de constituer un groupe de CODA aux USA (6 participants ont déjà passé l'étude).

L'iBM Lab du professeur Caldara à Fribourg possède une autre technique de contingence visuelle appelée *BlindSpot* dont le principe est de masquer la vision fovéolaire avec un point noir plus ou moins large. Le participant doit alors s'appuyer uniquement sur les informations extrafovéolaires pour traiter le visage qu'il observe (figure 3.23). Il serait intéressant d'utiliser cette technique de contingence visuelle chez les personnes sourdes signeuses afin d'explorer si le plus grand champ perceptif observé dans la présente étude résulte d'une redistribution des processus de traitement fovéolaires vers la périphérie ou d'une augmentation des processus péri-fovéolaires sans impacter les processus fovéolaires. S'il existe une redistribution des processus visuels vers la périphérie, les sourds signeurs ne devraient être que peu affectés par le *BlindSpot*.



Figure 3.23 : Technique de contingence visuelle *BlindSpot* de l'iBM Lab. Une présentation dynamique de la technique est à retrouver sur le site du laboratoire.

Pour une présentation dynamique, voir

<http://perso.unifr.ch/roberto.caldara/index.php?page=4§ion=4>

Etude 6 : Catégorisation des expressions faciales émotionnelles

Abstract

Discriminating and understanding facial expression is crucial for sign language communication. However, only a handful of studies have explored whether long-term sign language experience affected emotion processing sensitivity in deaf people. In two distinct experiments, deaf and hearing participants categorized emotional faces drawn from morphed continua, and faces with varying degrees of uniform white noise added. Psychometric functions were derived from identification accuracy and used to compute 75% intensity thresholds and signal thresholds respectively. Analysis revealed no threshold difference in both tasks between deaf and hearing suggesting no impact of deafness and/or sign language in emotion categorization sensitivity. Different hypotheses are then discussed to interpret the results.

Communication scientifique associée:

Dye, M., Lao, J., Stoll, C., Pascalis, O., and Caldara, R. (2016). Emotional Face Processing in Deaf and Hearing Bilinguals, *57th Annual Meeting of the Psychonomic Society*, November 17-20, Boston, MA.

Problématique et hypothèses

Nous avons observé des différences entre sourds signeurs, entendants signeurs et entendants non-signeurs dans les processus de reconnaissance ou d'extraction d'informations dans un visage. Cette troisième étude s'intéresse à la seconde dimension évoquée en début de ce chapitre qu'est le traitement des visages émotionnels dans la population sourde et/ou signeuse. Plus spécifiquement, le but de cette étude est d'évaluer la sensibilité des personnes sourdes sur la quantité et la qualité des informations faciales nécessaires à la catégorisation correcte des 6 émotions dites de base d'Ekman.

La langue des signes nécessite l'utilisation d'expressions faciales (linguistiques ou émotionnelles) pour souligner certains aspects du discours. Afin de mettre le sens correct aux gestes de paroles, il est nécessaire de comprendre les différentes expressions faciales associées. Cette compréhension peut se faire sur la discrimination de petits détails faciaux ou sur la justesse de l'analyse de l'intensité du visage. Il apparaît donc que les signeurs (sourds et entendants) doivent apprendre à être de bons discriminateurs d'expressions faciales. Suivant l'hypothèse soutenue par Emmorey (2001) selon laquelle les signeurs seraient meilleurs pour traiter les visages uniquement sur les processus impliqués dans la langue des signes, les signeurs devraient être meilleurs que les non-signeurs dans la catégorisation des expressions faciales. Plus particulièrement, si les personnes sourdes signeuses précoces sont plus expertes que les entendants non-signeurs pour le traitement des expressions faciales, leurs seuils de catégorisation correcte en terme (1) de quantité (i.e., intensité de l'expression) et (2) de qualité d'informations nécessaires devraient être plus faibles que ceux des entendants non-signeurs.

À l'aide de deux expériences, nous avons mesuré les seuils d'intensité émotionnelle (i.e., expérience *E-morph*) et de qualité des informations visuelles (i.e., expérience *e-noise*) auprès de sourds signeurs précoces et d'entendants non-signeurs. Comme une récente étude a observé que le bilinguisme précoce pouvait modifier le traitement des visages (Kandel et al., 2016) et que les sourds signeurs sont généralement bilingues (i.e, langue des signes et langue orale du pays via la lecture ou l'oralisation), le groupe d'entendants non-signeurs a été constitué de bilingues oraux précoces. Cette étude a été réalisée en collaboration avec l'IBM Lab de l'Université de Fribourg (Suisse) et avec le National Technical Institute for the Deaf du RIT (USA).

Méthode

Participants

Quarante-six étudiants sourds du NTID ($M_{\text{âge}} = 21.9$, $ET_{\text{âge}} = 2.8$, étendu = 18-32 ans, 22 femmes, 40 droitiers) ont participé à cette étude. Ils avaient tous une surdité sévère à profonde (perte auditive supérieure à 70dB), ils ont appris l'ASL (ou une autre langue des signes) au plus tard à 5 ans ($M_{\text{âge acquisition}} = 23.32$ mois, $ET_{\text{âge acquisition}} = 18.0$ mois), et ont estimé leur niveau d'ASL à en moyenne 3.8/4 ($Me_{\text{niveau ASL}} = 4$, $ET_{\text{niveau ASL}} = 0.38$). Quarante étudiants bilingues du RIT sans troubles auditif ($M_{\text{âge}} = 21.8$, $ET_{\text{âge}} = 3.4$, étendu = 18-31 ans, 24 femmes, 39 droitiers) ont participé à cette étude. Aucun d'entre eux ne connaissait une quelconque langue des signes et avaient tous appris au moins deux langues différentes dans les cinq premières années de leur vie. Aucun des 86 participants n'a rapporté souffrir d'antécédents neurologiques ou de troubles visuels non corrigibles. Chaque participant délivrait un consentement de participation écrit et était payé en échange de sa participation. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique local du Rochester Institute of Technology.

Matériel et Procédure

Pour les deux études *e-morph* et *e-noise*, le participant devait reporter l'émotion qu'il avait perçue sur le visage présenté (i.e., tristesse, joie, colère, dégoût, surprise, peur, visage neutre). Il avait autant de temps que nécessaire pour appuyer sur une des 7 touches labélisées du clavier (1 pour chaque émotion et 1 « ne sais pas»). Le visage apparaissait pendant 500 ms et était immédiatement suivi par un masque de bruit visuel aléatoire. Avant l'apparition du visage suivant, une croix de fixation centrale de 500 ms était présentée pour capturer l'attention du participant. Les émotions étaient présentées aléatoirement entre les essais, mais l'intensité de l'expression elle-même était fonction des réponses précédentes du participant. Une fois le seuil d'intensité trouvé pour une émotion, cette dernière n'était plus présentée au participant. Le nombre d'essais était donc différent pour chaque émotion et participant. Les parties *e-morph* et *e-noise* étaient réalisées dans un ordre aléatoire.

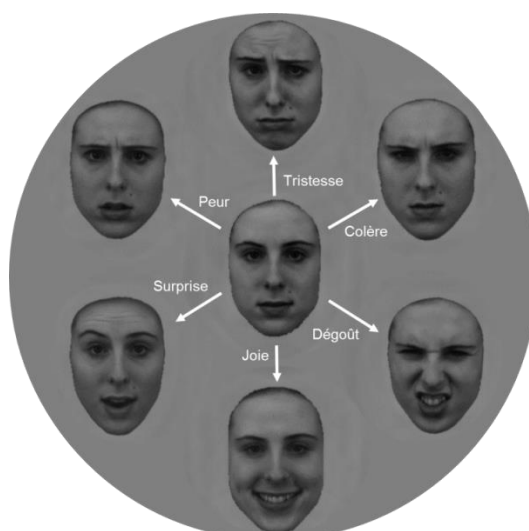


Figure 3.24 : Exemple des six émotions de base utilisées dans nos études. Au centre, l'expression neutre du visage de la base de données KDEF (Lundqvist et al., 1998).

Intensité du signal émotionnel : e-morph. Huit visages (4 femmes/4 hommes) de la base de données KDEF (Lundqvist et al., 1998) avec sept expressions différentes ont été utilisés (les six émotions de base et une expression neutre, figure 3.24). Avec le logiciel Abrosoft FantaMorph, 100 morphings d'expression pour chaque visage et chaque émotion ont été générés. Chaque morphing correspondait à un pourcentage d'intensité de l'émotion de 1% où le visage avait une expression neutre à 100% où le visage exprimait l'émotion à son intensité maximale (figure 3.25). Au total 4800 images ont été utilisées dans cette étude (8 visages x 6 émotions x 100 intensités). Les images ont été modifiées avec Adobe Photoshop® pour s'assurer que les positions des yeux et de la bouche étaient bien alignées et pour normaliser la luminance et les contrastes. Les contours des visages ont été supprimés en ajoutant un contour uniforme et identique sur toutes les images. Les visages étaient présentés en niveau de gris sur un fond gris au centre d'un écran à 70 cm du participant et couvraient un angle de 10° x 14° via le logiciel MatLab®. La fonction QUEST fonction psychométrique bayésienne adaptative, a été utilisée pour déterminer l'intensité du signal émotionnel seuil nécessaire pour 75% de catégorisation correcte des six émotions (Rodger, Vizioli, Ouyang, & Caldara, 2015; Watson & Pelli, 1983). L'intensité de l'émotion initialement présentée était de 30 % et s'adaptait progressivement en fonction des réponses du participant. Ainsi, après 3 catégorisations correctes consécutives l'intensité de l'émotion diminuait et inversement après 3 erreurs de catégorisations.

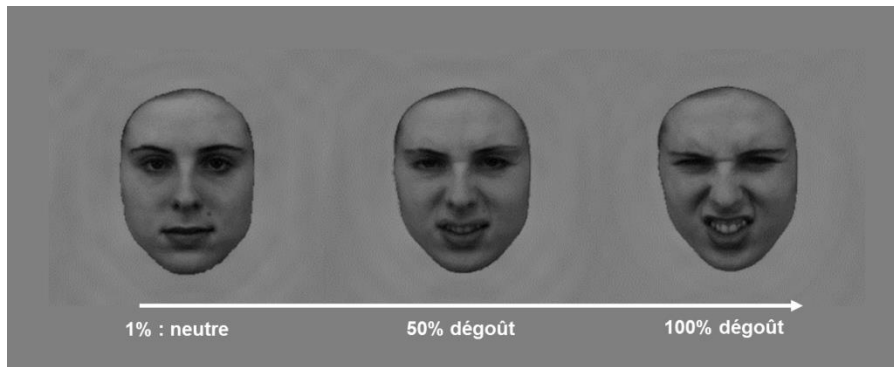


Figure 3.25 : exemple de morphing pour l'expression de dégoût.

Qualité du signal émotionnel : *e-noise*. Trente-six visages (18 femmes /18 hommes) de la base de données KDEF (Lundqvist et al., 1998) avec sept expressions différentes ont été utilisés (les six émotions de base et une expression neutre). Les images ont été modifiées de la même façon que dans l'étude précédente et la fonction QUEST (Rodger et al., 2015; Watson & Pelli, 1983) a également été utilisée pour déterminer la qualité de signal émotionnel seuil nécessaire pour 75% de catégorisation correcte des six émotions. Afin de trouver ce seuil, un bruit aléatoire plus ou moins important était appliqué sur le visage présenté au participant. Ainsi un visage non bruité était très facilement catégorisable, mais au contraire, un visage très bruité était impossible à percevoir à travers le bruit (figure 3.26). Un visage dont la qualité du signal est de 100% est un visage non bruité. Trois procédures QUEST aléatoirement ordonnées étaient réalisées par le participant avec trois qualités de signal initial différentes (60%, 40% et 20%). Le seuil de quantité de signal pour chaque émotion par participant était défini par la moyenne des trois seuils établis par chacune des trois procédures. Tout comme pour l'étude *e-morph* la quantité de bruit appliquée sur le visage présenté s'adaptait progressivement selon les réponses du participant. Les deux expériences étaient réalisées durant la même session expérimentale dans un ordre aléatoire pour une durée totale d'environ 25 minutes. La tâche du participant et la procédure expérimentale étaient en tout point identique à l'étude *e-morph*, seule la nature de l'image présentée était différente.

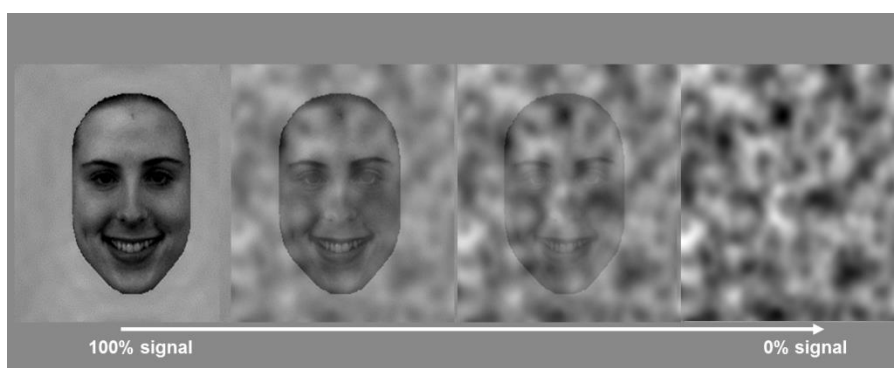


Figure 3.26 : exemple de l'évolution de la quantité du signal de l'expression de joie.

Analyse des données

Pour *e-morph* et *e-noise*, chaque émotion un seuil à 75% de catégorisation correcte a été établi par la fonction QUEST. Ces seuils ont été comparés avec une ANOVA bayésienne (BANOVA) à mesures répétées via le logiciel Jasp V 0.8.0.1 (Marsman & Wagenmakers, 2016) avec le type d'émotion en variable intra-sujet et le groupe du participant en variable inter-sujet. Une analyse statistique fréquentiste a également été réalisée avec une ANOVA à mesures répétées suivant le même plan expérimental.

Résultats

Un participant du groupe sourd bilingue n'a pas terminé l'étude, les analyses des études *e-morph* et *e-noise* ont donc été conduites sur 45 participants sourds bilingues et 40 entendants bilingues.

E-morph

Statistiques bayésiennes. L'estimation des facteurs bayésiens par la BANOVA suggère que le modèle le plus vraisemblable est le modèle avec uniquement un effet du type d'émotion, $BF_{10} = 8.76 \times 10^{69}$. Au contraire, le modèle impliquant uniquement un effet du groupe est le moins vraisemblable, $BF_{10} = 0.119$. Une seconde BANOVA, dans laquelle le modèle nul comprend l'effet du type d'émotion, étaye les premières observations. En effet le modèle nul est le plus vraisemblable, $BF_{10} = 1$, alors que les modèles suggérant un effet du groupe, $BF_{10} = 0.137$, ou un effet d'interaction entre le groupe et le type d'émotion, $BF_{10} =$

0.006, sont très peu vraisemblables. Ces deux analyses par BANOVA suggèrent fortement que les sourds bilingues et entendants bilingues ont des seuils d'intensité émotionnelle similaires et cela quelle que soit l'émotion.

Statistiques fréquentistes. L'ANOVA à mesures répétées révèle un effet principal significatif du type d'émotion, $F(5,415) = 99.10$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.544$, mais ne révèle pas d'effet principal significatif du groupe, $F(1,83) = 0.087$, $p = 0.77$, $\eta^2_p = 0.001$, ou d'effet d'interaction entre le groupe et le type d'émotion, $F(5,415) = 0.99$, $p = 0.42$, $\eta^2_p = 0.012$. Les différences significatives entre les différentes émotions ont été testées par des analyses *post-hoc* (Tukey test). La peur est l'émotion avec un seuil d'intensité émotionnel supérieur à toutes les autres émotions. La peur est donc l'émotion qui nécessite un visage avec la plus forte intensité émotionnelle pour être correctement catégorisée. Au contraire, la joie est l'émotion nécessitant le moins d'intensité émotionnelle, elle est donc l'émotion la plus facile à catégoriser. Les seuils respectifs des 6 émotions sont classés et reportés figure 3. 27 et le tableau complet des comparaisons en annexes IX.

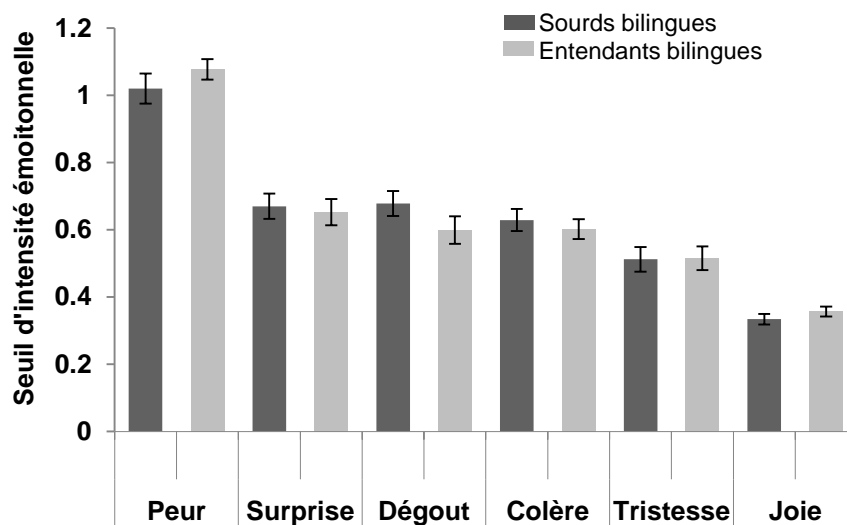


Figure 3.27 : Seuil d'intensité émotionnelle nécessaire pour 75% de catégorisation émotionnelle correcte. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard à la moyenne.

E-noise

Statistiques bayésiennes. L'estimation des facteurs bayésiens par la BANOVA suggère que le modèle le plus vraisemblable est le modèle avec uniquement un effet du type

d'émotion, $BF_{10} = 1.6 \times 10^{118}$. Au contraire, le modèle impliquant uniquement un effet du groupe est le moins vraisemblable, $BF_{10} = 0.15$. Une seconde BANOVA, dans laquelle le modèle nul comprend l'effet du type d'émotion, étaye les premières observations. En effet le modèle nul est le plus vraisemblable, $BF_{10} = 1$, alors que les modèles suggérant un effet du groupe, $BF_{10} = 0.235$, ou un effet d'interaction entre le groupe et le type d'émotion, $BF_{10} = 0.011$, sont très peu vraisemblables. Ces deux analyses par BANOVA suggèrent fortement que les sourds bilingues et entendants bilingues ont des seuils de qualité de signal similaires et cela quel que soit l'émotion.

Statistiques fréquentistes. L'ANOVA à mesures répétées révèle un effet principal significatif du type d'émotion, $F(5,415) = 228.42$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.73$, mais ne révèle pas d'effet principal significatif du groupe, $F(1,83) = 0.785$, $p = 0.38$, $\eta^2_p = 0.009$, ou d'effet d'interaction entre le groupe et le type d'émotion, $F(5,415) = 1.06$, $p = 0.38$, $\eta^2_p = 0.013$. Les différences significatives entre les différentes émotions ont été testées par des analyses *post-hoc* (Tukey test). La peur est l'émotion avec un seuil de qualité de signal supérieur à toutes les autres émotions, la peur donc l'émotion qui nécessite un visage le moins bruité possible pour être correctement catégorisée. Au contraire, la joie est l'émotion nécessitant le moins de qualité de signal, elle est donc l'émotion dont la qualité peut être le plus détériorée. Les seuils respectifs des 6 émotions sont classés et reportés figure 3.28 et le tableau complet des comparaisons en annexes X.

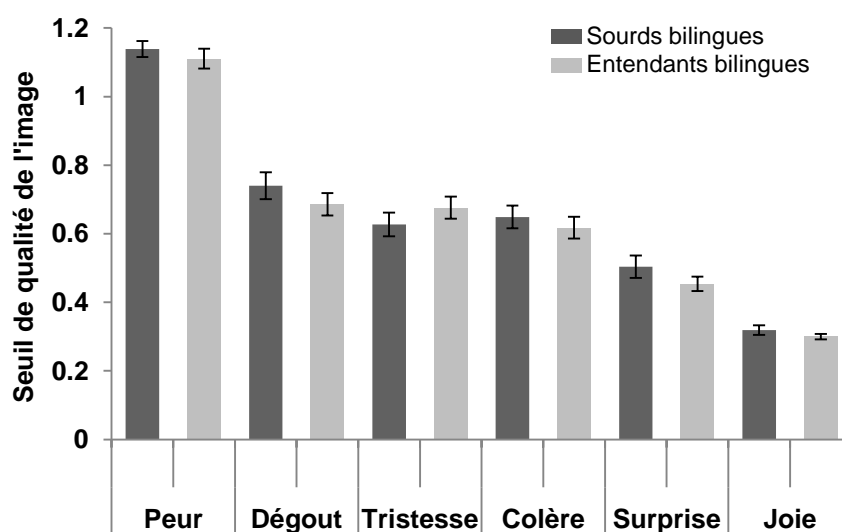


Figure 3.28 : Seuil de qualité de signal nécessaire pour 75% de catégorisation émotionnelle correcte. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard à la moyenne.

Discussion de l'étude 6

Le but de cette étude était de tester la sensibilité des sourds signeurs précoces sur la catégorisation des six émotions dites de base avec deux expériences différentes. La première expérience, *e-morph*, a permis de comparer l'intensité émotionnelle minimum d'un visage nécessaire aux sourds signeurs précoces et aux entendants non-signeurs pour catégoriser correctement une émotion dans 75% des présentations. Les résultats suggèrent qu'il n'y a pas de différence entre les deux populations testées, le modèle impliquant seulement un effet du type d'émotion et non du groupe étant le plus vraisemblable. Selon la classification des facteurs bayésiens de Wetzels et Wagenmakers (2012), ces résultats reflèteraient une « preuve substantielle » de non-différence de seuils entre les groupes ou d'interaction entre le type d'émotion et le groupe, mais également une « preuve décisive » d'une différence de seuils entre les six émotions testées. Ainsi, pour les deux groupes testés, la peur était l'émotion nécessitant de plus d'intensité (environ 100%) pour être correctement catégorisée alors que la joie était, au contraire, l'émotion nécessitant le moins d'intensité (environ 34%).

La seconde expérience, *e-noise*, a permis de comparer la qualité du signal minimum nécessaire aux sourds signeurs précoces et aux entendants non-signeurs pour catégoriser correctement une émotion dans 75% des présentations. Ces seuils ont été établis modulant la quantité de bruit aléatoire appliqué sur le visage présenté aux participants. Les résultats suggèrent qu'il n'y a pas de différence entre les deux populations testées, le modèle impliquant seulement un effet du type d'émotion et non du groupe étant le plus vraisemblable. Selon la classification des facteurs bayésiens de Wetzels et Wagenmakers (2012), ces résultats reflèteraient une « preuve substantielle » de non-différence de seuils entre les groupes ou d'interaction entre le type d'émotion et le groupe, mais également une « preuve décisive » d'une différence de seuils entre les six émotions testées. Ainsi, pour les deux groupes testés, la peur était l'émotion nécessitant de plus d'intensité (environ 110%) pour être correctement catégorisée alors que la joie était, au contraire, l'émotion nécessitant le moins d'intensité (environ 30%).

D'une manière générale, les deux expériences montrent que la joie est l'émotion la plus facile à catégoriser. Elle nécessite moins d'intensité et peut être plus détériorée avec plus de bruit que les 5 autres émotions de base. C'est également la mieux catégorisée, elle n'est que

très peu confondue avec les autres émotions. Parmi les 6 émotions testées (i.e., joie, colère, tristesse, peur, dégoût et surprise), la joie était la seule clairement connotée positivement ; la surprise pouvant être à la fois positive et négative. Cette singularité de valence émotionnelle pourrait être une aide importante aux participants dans leur prise de décision. Il suffirait de percevoir une configuration de la bouche laissant penser (même vaguement) à un sourire pour permettre aux participants d'éliminer toutes les émotions négatives et ainsi choisir la joie. L'explication de cette place privilégiée de la joie pourrait également être d'un ressort plus social. En effet, la joie est une émotion que les êtres humains aiment partager et qui est extrêmement valorisée et récompensée. Il se pourrait alors que la sensibilité à la joie se façonne dès le plus jeune âge permettant d'en avoir une représentation très forte à l'âge adulte. Dans leur revue de questions sur le développement de la discrimination des expressions faciales émotionnelles, Bayet, Pascalis et Gentaz (2014) rapportent que la discrimination des visages souriants par rapport aux autres expressions serait plus précoce et plus robuste que la discrimination d'autres types d'expressions faciales. Par exemple, les nouveau-nés seraient capables de discriminer les visages souriants des visages neutres ou tristes alors qu'ils ne discriminaient pas ces deux dernières expressions l'une de l'autre (Farroni, Menon, Rigato, & Johnson, 2007). Cette représentation particulière des visages de joie permettrait de pouvoir correctement catégoriser l'émotion malgré une faible intensité émotionnelle ou encore malgré une information très bruitée. Contrairement à la joie, la peur a été l'expression la plus difficile à catégoriser, nécessitant une forte intensité et très peu robuste à l'ajout de bruit sur l'image. De plus, face à un visage de peur, les participants avaient davantage tendance à répondre « surprise » que « peur ». Cette confusion pourrait s'expliquer par la dimension de surprise fortement liée à celle de la peur. Dans un contexte de vie quotidienne, une réaction de peur est très souvent associée à la survenue d'un événement inattendu. La surprise pourrait ainsi avoir une sorte de primauté sur la peur. Dans le même ordre d'idée il est difficile de concevoir une émotion de peur de faible intensité, ce qui pourrait expliquer pourquoi les participants avaient besoin de beaucoup d'intensité émotionnelle pour catégoriser correctement la peur.

Concernant la comparaison entre sourds signeurs et entendants non-signeurs, les deux expériences laissent à penser que la surdité associée à la pratique précoce de la langue des signes ne modifie pas la sensibilité aux expressions faciales sur les dimensions testées. En

effet, l'analyse bayésienne des données avance des « preuves substantielles » en faveur d'une non-différence entre les deux populations. À la vue de ces résultats nous avons décidé de ne pas étendre notre étude à la population CODA, car c'est une population très difficile d'accès et il ne nous semblait pas pertinent d'évaluer l'effet de la pratique de la langue des signes précoces indépendamment de la surdité quand une association des deux n'entraîne (vraisemblablement) pas de différence. Il semblerait plus qu'étonnant que langue des signes et surdité aient des effets diamétralement opposés sur les processus responsables de la sensibilité aux expressions faciales. Comme le postule Emmorey (2001), le traitement des visages serait plus performant chez les signeurs sur les dimensions nécessaires à la compréhension de la langue des signes. Pourquoi, compte tenu de la place centrale de la compréhension des expressions du visage dans la communication signée, n'observons-nous pas de différences entre les sourds signeurs et les entendants non-signeurs ? Il se pourrait que les expressions faciales émotionnelles de bases ne soient que peu utilisées en langue des signes par rapport à d'autres expressions plus subtiles. Les différences entre sourds signeurs et entendants non-signeurs pourraient alors s'observer sur ces autres types d'expression. Il se pourrait également qu'il n'y ait pas de différence de sensibilité à ces expressions entre les populations sourdes et entendants puisqu'elles sont largement utilisées dans les interactions sociales.

Par ailleurs, lors d'une communication en langue des signes, les visages sont sans cesse en mouvement, les expressions faciales ne sont que très rarement figées. Il est donc également possible que les personnes sourdes signeuses soient plus performantes dans la catégorisation des expressions émotionnelles faciales uniquement lorsque les visages sont présentés dynamiquement (i.e., dans une condition plus écologique de présentation de l'expression). Dans ce cas-là, ils devraient tirer davantage profit d'une expression faciale dynamique par rapport à une expression faciale statique que les entendants non-signeurs. Nous avons ainsi réalisé une étude testant la catégorisation des visages émotionnels statiques ou dynamiques auprès des mêmes participants sourds signeurs et entendants non-signeurs. Cette étude n'est pas présentée dans ce manuscrit de pour cause de contraintes temporelles, les données n'ayant pas encore été traitées. L'observation des premiers résultats suggère que les deux groupes testés catégorisent de façon équivalente les émotions, quel que soit le type de présentation du visage (i.e., dynamique ou statique). Des

analyses complémentaires et inférentielles sont nécessaires pour conclure que les sourds signeurs, tout comme les entendants non-signeurs, ne tirent pas profit de la présentation dynamique d'une expression afin de la catégoriser.

Une dernière hypothèse repose sur le constat que, en langue des signes, il existe des expressions faciales à viser purement linguistique et des expressions faciales à viser émotionnelle et que cette distinction s'observe jusque dans les activations cérébrales (McCullough et al., 2005, expérience décrite en section théorique de ce chapitre). La présentation des visages dans nos expériences était purement émotionnelle, sans aucune portée linguistique ou sémantique. Il serait possible que les sourds signeurs soient plus sensibles aux expressions faciales, mais uniquement lorsque le visage a une visée de communication. Il faudrait alors imaginer une étude dans laquelle la sensibilité aux expressions faciales émotionnelles des sourds signeurs dans un contexte de communication serait testée. Il serait possible par exemple de reprendre les méthodologies des expériences *e-morph* et *e-noise* en changeant simplement les stimuli présentés aux participants. Il y aurait alors, comme dans l'étude de McCullough et al. (2005) une condition expression émotionnelle sans signe et une condition expression émotionnelle avec signe. Ainsi, si la plasticité du traitement des émotions est fonctionnelle et soumise aux contraintes de la langue des signes, les sourds signeurs devraient avoir une plus grande sensibilité aux expressions faciales uniquement lorsqu'un signe y est associé. Si les résultats auprès d'une population sourde signeuse étaient probants, il serait nécessaire de tester une population CODA utilisant fréquemment la langue des signes afin de déterminer le rôle précis de la langue des signes et de la surdité dans cette plasticité de la perception. Si la présentation des expressions faciales dans un contexte linguistique ne révèle pas de différence entre sourds signeurs et entendants non-signeurs, ce serait une preuve supplémentaire que ni la surdité précoce, ni la pratique soutenue de la langue des signes n'entraîne de modification dans la sensibilité aux expressions faciales. Enfin, il serait intéressant également de comparer nos résultats à un groupe d'entendants monolingues pour tester un éventuel effet du bilinguisme sur nos résultats et cela indépendamment du statut auditif et du type de langue parlée (i.e., langue orale ou langue signée).

Conclusion du chapitre 3

Les trois études sur le traitement des visages et la reconnaissance des expressions faciales réalisées dans ce travail de thèse apportent de nouveaux éléments intéressants pour comprendre davantage l'impact respectif de la surdité et de la pratique de la langue des signes. La première étude visait à tester deux différents niveaux de traitement des visages que sont la catégorisation (i.e., niveau superordinal) et la reconnaissance (i.e., niveau subordinal) des visages. Alors que les performances étaient similaires entre les sourds signeurs ; entendants signeurs et entendants non-signeurs dans la tâche de catégorisation, les signeurs (sourds et entendants) présentaient un pattern de réponses diff rent des entendants non-signeurs dans la tâche de reconnaissance. En utilisant un modèle de prise de décision pour modéliser le comportement décisionnel des différents groupes nous avons observé des stratégies cognitives différentes chez les signeurs. Ces derniers n'étaient pas meilleurs que les entendants non-signeurs pour reconnaître un visage ; ils étaient plus rapides pour extraire les informations pertinentes sur les visages, mais avaient en même temps besoin de plus d'informations avant de prendre leur décision. Ils avaient donc besoin de plus de temps pour répondre correctement, mais répondaient avec plus de précision que les entendants non-signeurs. Ces résultats sont cohérents avec l'idée d'une spécialisation des processus indispensables à la pratique de la langue des signes chez les signeurs avancée par Emmorey (2001). En effet, tout comme avec la langue des signes, la réussite à la tâche de reconnaissance de notre étude nécessitait de porter une attention aux petits détails internes des visages avant de prendre une décision et d'agir de manière adéquate.

La seconde étude visait à approfondir ces observations en utilisant l'eye-tracker et notamment la technique de contingence visuelle *expanding spotlight* occultant les informations péri-fovéolaires. Nous avons ainsi récolté des informations quantitatives et qualitatives sur le processus de reconnaissance de visages chez les personnes sourdes signeuses. Nous avons également testé le *face inversion effect* auprès de cette même population puisque la littérature propose des résultats contradictoires et qu'aucune étude

en oculométrie ne semble être publiée sur cet effet. D'un point de vue comportemental il n'y avait pas de différence notable entre sourds signeurs et entendants non-signeurs mise à part un temps de réponse globalement plus long chez les sourds, mais avec un effet d'inversion similaire chez les deux groupes. De plus, en empêchant un traitement configural et holistique classique des visages, l'*expanding spotlight* détériore les performances (temps de réponse et pourcentage de bonnes réponses), mais supprime également l'effet d'inversion quel que soit le groupe. Toujours avec l'*expanding spotlight*, nous avons pu observer que les sourds signeurs possédaient un champ perceptif pour le traitement des visages plus grand que les entendants non-signeurs. Cette augmentation de la taille du champ perceptif induirait ainsi une différence d'exploration des visages inversés avec plus de regard au niveau de la bouche chez les entendants non-signeurs. Un plus grand champ perceptif pourrait faciliter le traitement des visages et expressions dans la communication signée et/ou la lecture labiale dans la communication orale. Afin de pouvoir comprendre davantage l'intérêt fonctionnel et l'origine de cette augmentation, un groupe de CODA est actuellement en cours de recrutement et de test. Si la différence est liée à la surdité, l'intérêt fonctionnel pour la lecture labiale serait alors l'hypothèse la plus probable, mais si la différence est liée à la pratique de la langue des signes, l'intérêt fonctionnel pour le traitement des visages et leurs expressions pour la langue des signes serait l'hypothèse la plus probable. Enfin, il serait également intéressant de compléter ces observations avec une autre technique de contingence visuelle occultant cette fois-ci la vision fovéolaire.

Enfin la troisième et dernière étude de ce chapitre s'est focalisée sur la sensibilité des sourds signeurs pour catégoriser des expressions faciales. Plus précisément nous avons comparé les seuils de quantité et de qualité d'informations faciales nécessaires à la catégorisation correcte de 6 émotions (i.e., joie, colère, peur, tristesse, dégoût et surprise) d'un groupe de sourds signeurs et d'entendants non-signeurs. Les mesures psychophysiques effectuées n'ont mis en avant aucune différence entre les groupes testés. Les deux groupes avaient besoin des mêmes informations qualitatives (estimées en niveau d'intensité émotionnelle sur le visage) et quantitatives (estimées en niveau de bruit sur l'image) pour catégoriser correctement une expression et cela quel que soit le type d'expression présentée. Les analyses bayésiennes des données avancent des « preuves substantielles » en faveur de H₀, laissant supposer que ni la surdité précoce ni la pratique de la langue des

signes ne modifient les seuils de sensibilité testés ici. Bien que surprenants, ces résultats peuvent s'expliquer de différentes manières (décrites en discussion de l'étude). Ils devraient tout de même être complétés par d'autres études plus écologiques avant qu'il ne soit possible de conclure que ni la surdité précoce ni la pratique de la langue des signes ne modifient les performances de reconnaissances des expressions émotionnelles.

Tout comme pour le chapitre précédent, l'ensemble des résultats de ce chapitre illustre l'importance de dissocier l'effet de la surdité de la langue des signes. Ils illustrent également la complexité de comprendre quels processus du traitement des visages et des expressions sont spécifiquement affectés et quel pourrait en être l'intérêt fonctionnel. Globalement, la surdité précoce associée à la pratique de la langue des signes ne semble pas modifier profondément les performances de traitement des visages, mais semble plutôt induire un changement dans les stratégies de prise de décision ou d'exploration d'un visage à reconnaître. Ces résultats pourraient compléter la littérature qui suggère des différences entre sourds signeurs et entendants non-signeurs dans la saillance relative des différentes parties du visage ou dans les capacités de discrimination fines des différences dans un visage. De plus, il serait intéressant de mieux comprendre ce changement de stratégie en essayant de mettre au point des études allant au-delà de la simple comparaison de performances inter-groupe en utilisant des outils comme l'eye-tracker, l'EEG ou encore les modèles de prise de décision.

Synthèse et Perspectives de recherche

Le but de cette thèse était de mieux comprendre l'impact de la surdité précoce et de la pratique de la langue des signes sur le traitement visuel périphérique et le traitement des visages. Les études portant sur le traitement visuel périphérique ont permis d'observer que la surdité impactait principalement la réactivité de l'attention exogène et certains aspects spécifiques de l'attention endogène. Nous avons également observé que la pratique de la langue des signes influençait principalement le traitement de l'espace visuel inférieur. Dans les études sur le traitement des visages et des expressions faciales, nous avons montré que la pratique de la langue des signes chez les sourds et les entendants modifiait la stratégie de reconnaissance des visages. Cette différence de stratégie pourrait être en partie liée, chez les sourds, à une différence dans la taille du champ perceptif lors de l'exploration des visages. Il semblerait enfin que les capacités de catégorisation des émotions dites universelles ne sont pas affectées par la surdité précoce associée à la pratique de la langue des signes.

Cette thèse ouvre des pistes de réflexions intéressantes pour les futures recherches et l'approfondissement de nos résultats. Tout d'abord, il serait pertinent de réaliser une méta-analyse sur le traitement visuel périphérique chez les sourds signeurs. Cette méta-analyse permettrait de synthétiser les effets observés selon la nature de la tâche, l'excentricité testée et, l'âge d'apprentissage de la langue des signes des participants. Elle permettrait également de savoir quelles caractéristiques de l'attention visuelle restent à étudier plus en détail chez les sourds signeurs. Il serait également intéressant d'intégrer les études ayant des participants CODAs afin d'analyser les performances dans le CV inférieur et supérieur, et pour les modéliser en utilisant des modèles de prise de décision de type HDD.

Un autre travail serait d'approfondir les observations faites sur les entendants signeurs. Plus précisément, il serait intéressant d'identifier quels aspects du traitement visuel est modifié par la langue des signes et si cet impact pourrait être spécifique aux entendants (comme observé dans l'étude 2) ou commun à tous les signeurs (sourds ou entendants). Il est possible que les contraintes de la langue des signes soient plus difficiles à gérer chez les entendants puisque contrairement aux sourds, la perception de leur environnement ne repose pas autant sur la modalité visuelle. En effet, les personnes sourdes doivent apprendre, dès le plus jeune âge, à gérer les différents flux visuels pour communiquer et pour régulièrement mettre à jour la perception de leur environnement proche et lointain. Chez les entendants signeurs, la gestion des différents flux visuels est moins exigeante puisque la mise à jour de l'environnement peut se faire via la modalité auditive. Ces derniers auraient alors un "entraînement visuel" moins important que les sourds rendant la pratique de la langue des signes plus complexe. Cela aurait pour conséquence un renforcement des asymétries visuelles verticales chez les entendants signeurs.

Pour le traitement des visages, il serait tout d'abord nécessaire de finir le recrutement de participants CODAs dans l'étude en *eye-tracker* (étude 5). Si les CODAs présentent également un champ perceptif plus large que les entendants non-signeurs (i.e., des temps de fixation oculaires plus longs avec l'exploration en *expanding spotlight*), il serait possible de faire un parallèle entre le changement de stratégie dans la reconnaissance des visages (étude 4) et l'exploration visuelle d'un visage à reconnaître (étude 5). La pratique de la langue des signes aurait alors un impact à la fois sur les processus décisionnels et sur les dynamiques de mouvements oculaires pour reconnaître un visage. Comme discuté dans la conclusion du chapitre 3, l'utilisation d'autres techniques de contingences visuelles en oculométrie permettrait d'enrichir nos observations et de tester l'hypothèse d'un plus grand champ perceptif chez les sourds/signeurs pour le traitement des visages. De plus, notre étude sur le traitement des expressions faciales (étude 6) n'a pas révélé de différence entre les sourds signeurs et les entendants non-signeurs. Cela ne signifie pas forcément que la surdité ou la pratique de la langue des signes n'influence pas le traitement des expressions faciales, mais peut-être que la façon dont nous l'avons testé ou le type d'expressions faciales utilisé n'était pas optimal.

Malgré les difficultés pour travailler avec de telles populations, davantage de recherches sur les sourds et les signeurs permettrait d'aborder des thématiques encore peu explorées, telles que les mécanismes d'intégration multisensorielles (e.g., Hauthal, Debener, Rach, Sandmann, & Thorne, 2014; Heimler, Baruffaldi, Bonmassar, Venturini, & Pavani, 2017). Comme évoqué dans le premier chapitre, les informations des différentes modalités sensorielles s'intègrent pour former un percept cohérent et une information sensorielle peut interférer sur le traitement d'une autre information sensorielle (e.g., effet Mc Gurk). Les mécanismes de compensation sensorielle, chez les sourds, pourraient ainsi affecter des zones cérébrales multisensorielles et ainsi les rendre plus sensibles à l'interférence d'une information visuelle sur le traitement d'une information haptique non-congruente. Il serait également intéressant d'étudier des processus plus complexes comme la perception de l'espace, ou des actions (e.g., perception des affordances⁹). Comme l'expérience visuelle et la relation à l'espace et au corps est particulière chez les sourds signeurs il est possible que ces derniers n'interprètent pas les indices environnementaux ou somatosensoriels de la même façon que la population entendante non signeuse. Concernant la pratique de la langue des signes, il serait intéressant de mener une étude d'entraînement inspirée des études sur la pratique des jeux vidéo ou de la musique. En mesurant les performances visuelles des participants avant et après la phase d'entraînement, il serait possible d'observer les effets de l'apprentissage de la langue des signes chez des adultes entendants au niveau comportemental ou même cérébrale. La comparaison des performances suivant l'entraînement à celles de CODAs sur des tâches identiques permettrait même de déterminer l'effet de l'apprentissage précoce de la langue des signes.

L'étude des conséquences de la surdité et de la pratique de la langue des signes est complexe. Il est, en effet, difficile de constituer des groupes expérimentaux homogènes permettant de dissocier ces deux facteurs. Idéalement, il faudrait pouvoir constituer quatre groupes avec un groupe d'entendants non-signeurs, un groupe d'entendants signeurs, un groupe de sourds signeurs et un groupe de sourds non-signeurs. Idéalement, les deux groupes de signeurs poss deraient des niveaux de pratique et des âges d'acquisition de la

⁹ Terme développé par Gibson (1979) qui peut se définir comme étant les possibilités d'actions d'un individu dans son environnement. Ces affordances peuvent être modul es par les contraintes physiques, perceptives voire même sociales de l'individu.

langue des signes comparables. Idéalement, les deux groupes de sourds utiliseraient les mêmes types d'aides auditives. Avec ces quatre groupes, il serait alors possible de déterminer clairement l'effet de la surdité précoce et l'effet de la pratique de la langue des signes en comparant les groupes sourds vs entendants d'une part et signeurs vs non-signeurs d'autre part. La réalité est cependant bien différente et la constitution de ces groupes idéaux est complexe. Tout d'abord, les sourds non-signeurs sont généralement des personnes ayant reçu un implant cochléaire très tôt associé un long processus d'orthophonie, sans éducation de la langue des signes. De plus, les sourds signeurs et les non-signeurs ne diffèrent pas simplement sur leur expérience linguistique mais également sur leur dépendance aux informations auditives fournies par leurs aides auditives (ou implants). Contrairement à un sourd non-signeur, un sourd signeur peut se passer de son implant cochléaire et décider ou non de l'utiliser. Une différence de performances entre sourds signeurs et non-signeurs pourrait alors s'expliquer par d'autres facteurs que la pratique de la langue des signes puisque ces deux populations possèdent une relation différente aux *inputs* auditifs. Tester un groupe de sourds non-signeurs est certes intéressant mais nécessite une interprétation précautionneuse. Par ailleurs, les futures recherches devraient également prendre en compte la fréquence de la pratique de la langue des signes dans la constitution des groupes expérimentaux. En effet, alors que la langue des signes est le moyen de communication le plus fréquent pour un bon nombre de sourds signeurs, les entendants signeurs ne pratiquent pas nécessairement quotidiennement. Cette notion de fréquence est importante puisque qu'elle constitue un critère de recrutement dans les études sur les sportifs, les musiciens ou les joueurs de jeux vidéo. Pourtant, ce genre d'informations n'est que très rarement reportées dans les études comportant des entendants signeur alors qu'il est possible qu'une différence importante dans cette fréquence entre sourds et entendants impacte les performances. Une pratique régulière de la langue des signes devrait, en plus de l'âge d'apprentissage, être un critère de recrutement chez les entendants signeurs.

Pour conclure sur une note plus personnelle, ces trois années de travail sur la surdité m'ont appris énormément de choses au-delà du domaine de la recherche. J'ai en effet découvert la culture sourde et la langue des signes qui sont des univers passionnants et peu

connus du “monde des entendants”. J’ai eu l’opportunité d’apprendre quelques notions de la langue des signes française indispensables pour communiquer avec les participants. J’ai également rencontré des entendants signeurs (interprètes ou personnels de santé) engagés pour faciliter l’accès aux soins et à la culture des personnes sourdes en France. Ces rencontres m’ont sensibilisé au manque d’accessibilité au quel doivent faire face bon nombre de personnes sourdes en France. J’ai également eu la chance de travailler pendant six mois aux Etats-Unis dans un laboratoire de recherche où 80% des personnes qui y travaillaient étaient sourdes. J’ai vécu dans un environnement où la langue principale était l’American Sign Language, où les bâtiments étaient pensés pour les sourds, où les jeunes sourds pouvaient suivre une éducation universitaire et obtenir un diplôme quel que soit leur moyen de communication privilégiée. Cette immersion dans la culture sourde durant ma thèse m’a énormément touchée et m’a fait réaliser le travail qu’il reste à faire en France dans la promotion et la valorisation de la langue des signes.

Encarts

Encart 1

La périmétrie cinétique manuelle de Goldman

La périmétrie cinétique manuelle de Goldman est une mesure monoculaire du champ visuel permettant de construire des isoptères appelés « ilots de vision » en fonction d'une luminance précise. Pendant le test, le participant garde son œil sur un point de fixation centrale et l'expérimentateur déplace à vitesse constante le stimulus lumineux à détecter de la périphérie vers le centre de la coupole du périmètre (voir figure a). Dès que le stimulus apparaît dans le champ de vision du participant, ce dernier appuie sur un bouton sonore, l'expérimentateur marque la localisation du stimulus sur la feuille réponse et recommence un nouvel essai sur un autre méridien du CV.

L'isoptère se construit alors point par point en testant 8 ou 12 méridiens distribués sur tout le périmètre du CV. Ainsi, en faisant varier la luminance du stimulus il est possible de construire des isoptères de différentes tailles. Sur la figure b, l'isoptère bleu représente la zone autour des 30° d'excentricité visuelle (luminance : 31,8 cad/m² ou 100 asb) et le rouge la zone autour des 60° (luminance : 3180 cad/m² ou 1000 asb.). Il est ensuite possible de calculer l'aire/l'étendue sous l'isoptère pour faire des comparaisons statistiques entre différentes populations.

Le CV de Goldman permet particulièrement d'obtenir des informations intéressantes sur la zone de sensibilité pour une luminance précise et permet également de comparer des tailles « physique » de CV. Par contre, un inconvénient majeur de ce test est le bruit expérimental potentiel lié à la dimension entière manuelle du test, il est donc nécessaire que le test soit fait par un expérimentateur aguerri et attentif pour que le test soit fiable.

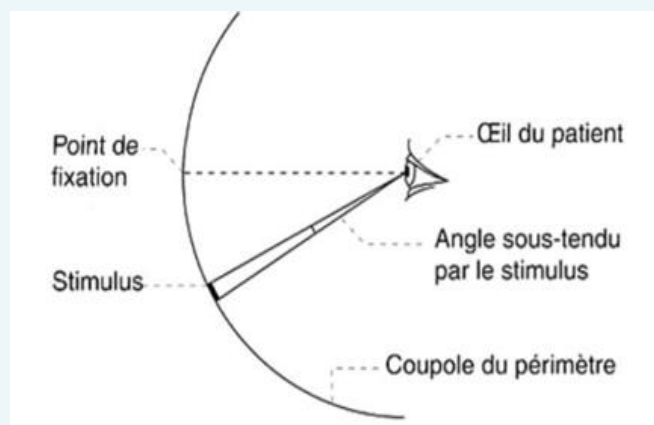


Figure a : Principe de la périmétrie cinétique (Risse, 1999)

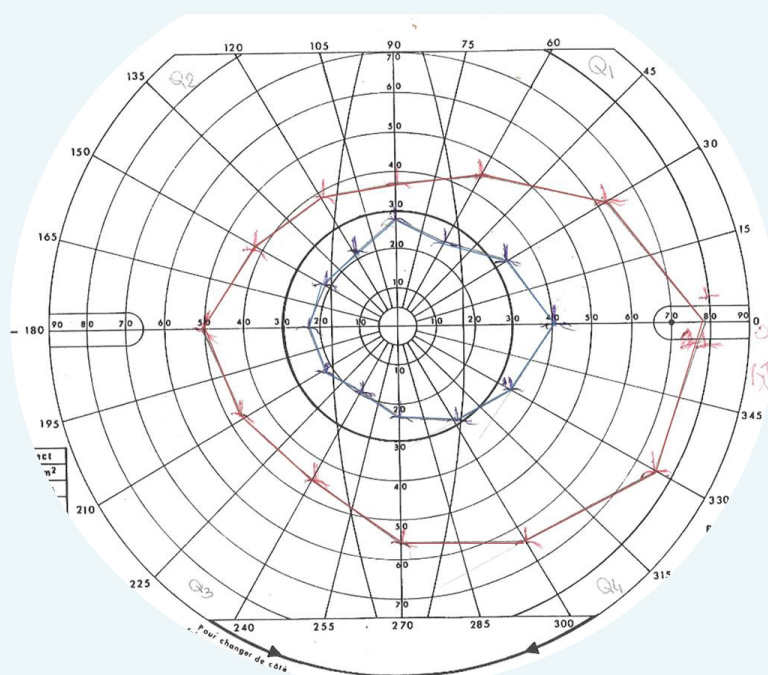


Figure b : Champ visuel de Goldman- œil droit

Encart 2

La périmétrie statique automatique de Humphrey

La périmétrie statique automatique de Humphrey est une mesure monoculaire du champ visuel permettant d'estimer les seuils de sensibilité aux contrastes de luminance à différents points et différentes excentricité du champ visuel. C'est un test relativement rapide dans lequel le participant doit appuyer sur un bouton dès qu'il voit apparaître une cible plus ou moins lumineuse dans son CV sans bouger l'œil de la lumière de fixation centrale. C'est une technique beaucoup plus utilisée que le CV de Goldman, car elle est d'une part automatisée (donc plus fiable) et d'autre part elle est beaucoup plus précise pour détecter les troubles du CV auprès de population clinique comme les glaucomateux par exemple. La différence principale entre périmétrie statique et périmétrie cinétique réside dans la question posée par le test. Alors que la périmétrie statique s'interroge sur quelle quantité de luminance (Variable Dépendante) à une excentricité donnée du CV (Variable Indépendante), la périmétrie cinétique s'interroge sur l'excentricité du CV (Variable Dépendante) pour une quantité de luminance donnée (Variable Indépendante). Une illustration de cette différence est à retrouver figure a.

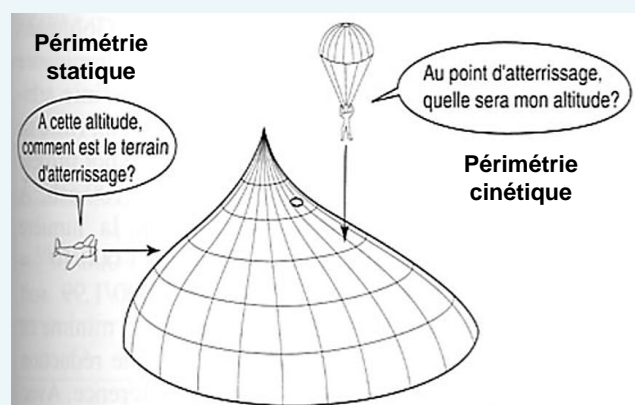


Figure a : Illustration de la différence entre la périmétrie statique de Humphrey et la périmétrie cinétique de Goldman. (Nordmann, 2001)

Dans ce type de périmétrie, il est possible d'estimer les seuils à différentes excentricités comme le 24-2, le 30-2 ou encore le 60-4 avec un nombre de points testés variable également selon le programme choisi. 30-2 signifie que le CV est testé dans les 30° centraux avec un pas d'ajustement des valeurs testés autour du seuil du participant de 2 décibels avec 76 points testés (figure b). En plus de tester ces excentricités, les CV de Humphrey mesurent également la sensibilité aux contrastes de luminance au niveau de la fovéa ainsi que différents indices de fiabilité du test notamment en testant la tâche aveugle du participant. Avant le début du test, la machine va estimer la localisation de la tâche aveugle et va régulièrement au cours du test envoyé un stimulus dans cette zone. Si le participant estime avoir vu la cible cela signifie que son œil puisque par définition aucune perception n'est possible au niveau de la tâche aveugle (figure b-1 «perte de fixation»). La machine teste également des points de manière aléatoire avec une luminance nettement plus élevée que les valeurs de seuils et relève quand le participant estime avoir vu la cible alors qu'aucune cible n'était présentée. Ces deux contrôles permettent de s'assurer de l'implication du participant dans la tâche (figure b-1 «Erreurs de faux négatifs» et « Erreurs de faux positifs»). Ainsi si le participant commet trop de perte de fixation ou d'erreurs de détection de cible durant le test, les seuils relevés ne pourront alors pas être estimés comme fiables.

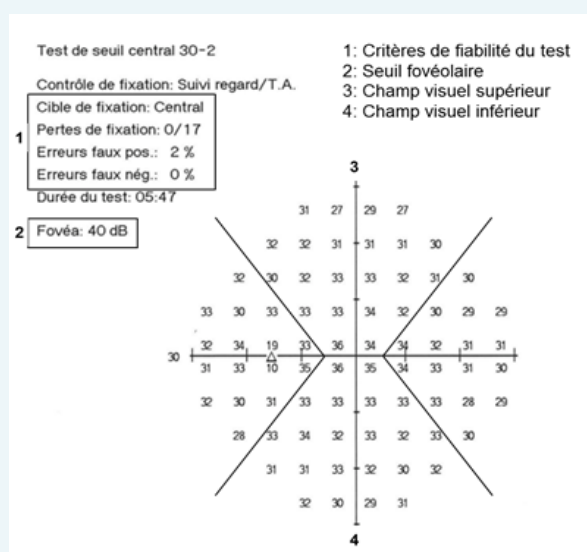


Figure b : Champ visuel 30-2 avec les seuils de 76 points testés, le seuil fovéolaire (2) et les critères de fiabilité du test (1). NB. Ce CV est fiable.

Le seuil va correspondre à l'intensité lumineuse minimum nécessaire en décibel pour que le participant détecte la cible 50% des fois. Le décibel est une unité logarithmique utilisée pour exprimer un rapport de puissance entre une intensité mesurée et une intensité de référence (ici une intensité lumineuse). L'intensité de référence dans la périmétrie de Humphrey est de 10 000 asb (3183.10 cd/m²) et représente la luminance maximale que peut avoir la cible. Ainsi un seuil à 0 dB signifie qu'il n'y a pas de différence entre la référence et l'intensité lumineuse établie comme étant le seuil. Donc plus un seuil est élevé, plus le participant est sensible au contraste d'intensité lumineuse. La technique d'acquisition des seuils dans les CV de Humphrey est illustrée figure c.

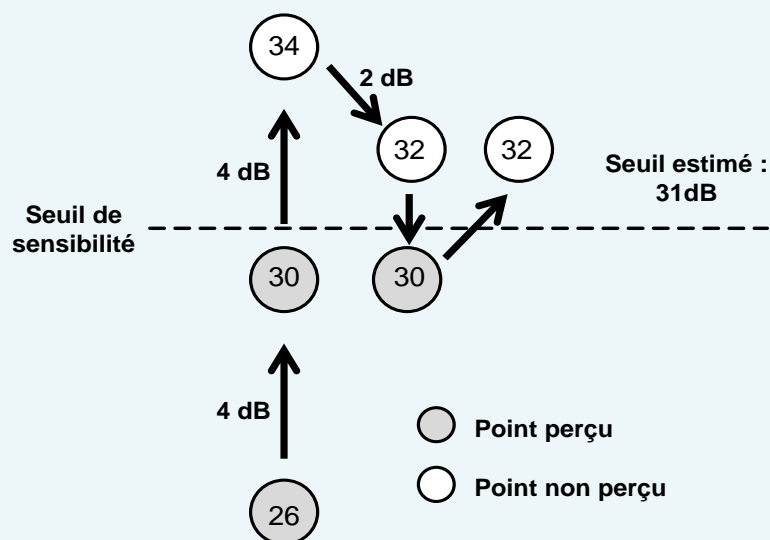


Figure c : Technique d'acquisition des seuils dans la périmétrie de Humphrey.
D'après Nordmann (2001)

Encart 3

La pratique de la LSF chez les personnes sourdes et entendantes

Tout comme pour n'importe quelle langue, être fluent en LSF nécessite un temps d'apprentissage et de pratique important que l'on soit sourd ou entendants. Dans les études réalisées à Grenoble avec des personnes signeuses sourdes ou entendantes, on peut observer une variabilité inter et intra groupe sur le niveau de fluence estimé en LSF. Un test Mann-Whitney U effectué sur ce niveau de fluence estimé entre les deux groupes révèle que les entendants estimaient leur niveau de LSF supérieur à celui des sourds ($Md_{\text{entendants}} = 5$; $Md_{\text{sourds}} = 4.5$; $U = 87.00$, $p = 0.042$, ajusté pour petits échantillons).

Cette différence peut s'interpréter de deux façons différentes. Premièrement, il pourrait s'agir de l'effet de Dunning-Kruger ou effet de sur-confiance chez les entendants signeurs. C'est un biais cognitif par lequel des individus moins qualifiés (ici en LSF) tendent à surestimer leurs compétences comparées aux réels experts (i.e., les sourds) qui, eux, se sous-estimeraient. Deuxièmement, cette différence de niveau estimé en LSF en faveur des entendants pourrait refléter une réelle différence de niveau. En effet, toutes les personnes appartenant au groupe « entendant signeur » ont reçu une formation complète et intensive en LSF alors que certaines personnes sourdes ont appris la LSF dans un cadre informel et peut être moins professionnel ou fluent. Certaines personnes sourdes s'estimaient même plus à l'aise avec la communication en français aidée par la lecture labiale qu'avec la LSF.

Encart 4

Les contrastes d'Helmert

Les contrastes d'Helmert sont des types de contrastes orthogonaux prédéfinis. Lors de l'analyse chaque niveau de variables est testé contre l'ensemble des niveaux inférieurs. Ainsi, dans ce travail de thèse la variable d'intérêt soumise aux contrastes d'Helmert est la variable groupe qui possède 3 niveaux : entendants non-signeurs, entendants signeurs et sourds signeurs. Rangé dans cet ordre précis le premier contraste teste l'effet de la pratique de la langue des signes et le second l'effet de la surdité précoce.

Codage des contrastes d'Helmert utilisés dans ce travail de thèse

	Contraste 1	Contraste 2
Entendants non-signeurs	2	0
Entendants signeurs	-1	-1
Sourds signeurs	-1	1

Encart 5

Le Hierarchical Drift Diffusion model (HDDm)

Le modèle HDD a pour but de décrire le comportement de prise de décision dans une tâche à choix forcé (avec uniquement deux réponses possibles) comme par exemple la tâche du 2AFC. Le modèle postule que lors d'un processus de prise de décision, l'individu extrait des informations au cours du temps jusqu'à ce qu'il estime avoir suffisamment de preuve envers l'une des deux propositions pour prendre une décision et initier une réponse motrice. La modélisation des données par le HDD permet d'extraire trois paramètres différents reflétant ce phénomène de prise de décision. Cet encart ne présente pas les mathématiques sous-jacentes au modèle, mais ses caractéristiques et l'intérêt de son application dans les tâches de décision. Plus d'informations sur le fonctionnement du modèle et la méthode d'extraction des paramètres en Python peuvent être trouvés sur le site web suivant http://ski.clps.brown.edu/hddm_docs/ ou sur la publication associée (Wiecki et al., 2013).

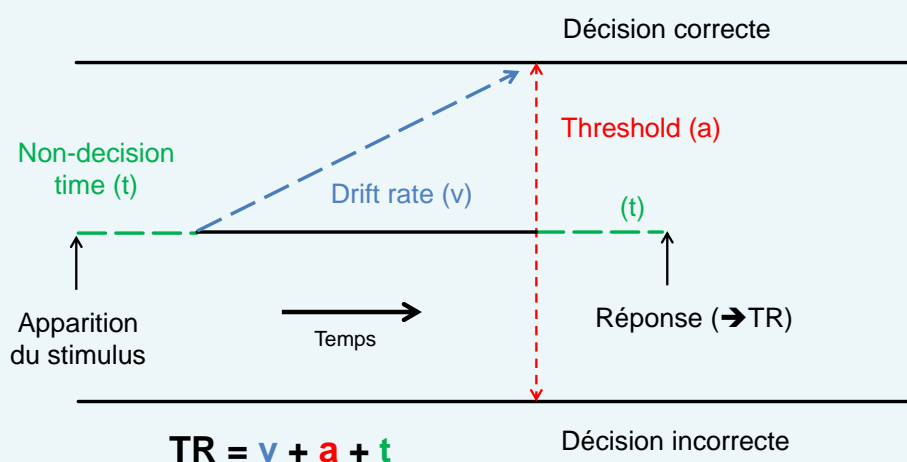


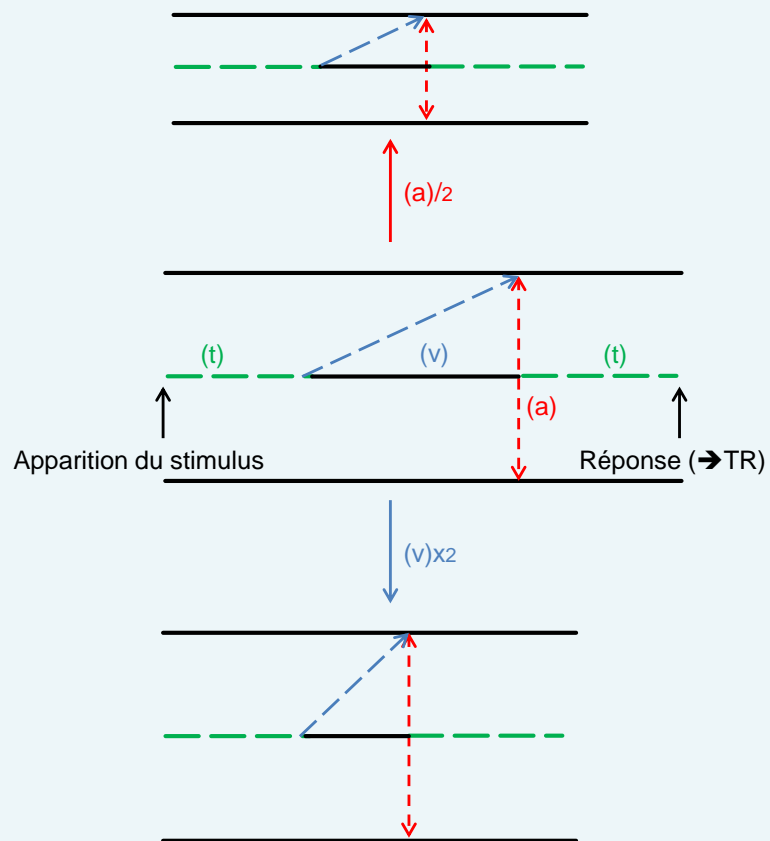
Illustration schématique du modèle HDD.
La ligne centrale représente le temps de réponse d'un essai

Le premier paramètre estimé est appelé le *threshold (a)* et correspond au seuil d'information nécessaire pour prendre une décision. Plus ce seuil est élevé, plus l'individu a besoin d'accumuler des preuves. Par conséquent, un seuil élevé indique une stratégie de décision précautionneuse avec un temps de réponse plus lent. Au contraire, un seuil faible indique un comportement plus impulsif avec un temps de réponse plus court, mais avec une plus grande probabilité d'erreur. Une différence de seuil indique une différence dans la stratégie de prise de décision.

La vitesse d'accumulation des informations nécessaires pour la prise de décision est le second paramètre estimé par le modèle et se nomme le *drift-rate (v)*. Ce paramètre est principalement influencé par la qualité d'extraction des informations. Un *drift-rate* élevé indique une extraction d'information rapide et efficace.

Le troisième et dernier paramètre estimé par le modèle reflète les temps de traitement non décisionnels, *non-decision time (t)*, c'est-à-dire les processus ayant lieu avant l'initiation de la prise de décision (ex., perception sensorielle, encodage visuel) et une fois que la décision a été prise (ex., planification et exécution motrice).

Cette modélisation donne davantage d'informations que l'analyse « classique » temps de réponse/ proportion de bonnes réponses. En effet, par l'estimation de ces trois paramètres il est possible de différencier et de caractériser des processus cognitifs indépendants. Par exemple, une réduction du seuil (*a*) ou une augmentation du *drift-rate (v)* entraîne dans les deux cas une réduction du temps de réponse, mais l'origine et l'interprétation de cette réduction n'est pas la même. Idem si la réduction du temps de réponse totale est due uniquement à une réduction du temps de traitement non décisionnel (*t*). Voir l'exemple illustré ci-dessous.



Effet de la modification du paramètre (a) et (v) sur le temps de réponse total

Références bibliographiques

- Agrafiotis, D., Canagarajah, N., Bull, D., & Dye, M. (2003). Perceptually optimised sign language video coding based on eye tracking analysis. *Electronics Letters*, 39(24), 1703–1705. <http://doi.org/10.1049/el>
- Aleman, A., Nieuwenstein, M. R., Böcker, K. B. E., & De Haan, E. H. F. (2000). Music training and mental imagery ability. *Neuropsychologia*, 38(12), 1664–1668. [http://doi.org/10.1016/S0028-3932\(00\)00079-8](http://doi.org/10.1016/S0028-3932(00)00079-8)
- Arnold, P., & Mills, M. (2001). Memory for faces, shoes, and objects by deaf and hearing signers and hearing nonsigners. *Journal of Psycholinguistic Research*, 30(2), 185–95.
- Arnold, P., & Murray, C. (1998). Memory for faces and objects by deaf and hearing signers and hearing nonsigners. *Journal of Psycholinguistic Research*, 27(4), 481–497. <http://doi.org/10.1023/A:1023277220438>
- Auer, E., Bernstein, L., Sungkarat, W., & Singh, M. (2007). Vibrotactile Activation of the Auditory Cortices in Deaf versus Hearing Adults. *Neuroreport*, 76(October 2009), 645–648. <http://doi.org/10.1007/s11103-011-9767-z>
- Aziz-Zadeh, L., Iacoboni, M., Zaidel, E., Wilson, S., & Mazziotta, J. (2004). Left hemisphere motor facilitation in response to manual action sounds. *European Journal of Neuroscience*, 19(9), 2609–2612. <http://doi.org/10.1111/j.0953-816X.2004.03348.x>
- Bavelier, D., Brozinsky, C., Tomann, A., Mitchell, T., Neville, H., & Liu, G. (2001). Impact of early deafness and early exposure to sign language on the cerebral organization for motion processing. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 21(22), 8931–42
- Bavelier, D., Dye, M., & Hauser, P. C. (2006). Do deaf individuals see better? *Trends in Cognitive Sciences*, 10(11), 512–8. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2006.09.006>
- Bayet, L., Pascalis, O., & Gentaz, É. (2014). Le développement de la discrimination des expressions faciales émotionnelles chez les nourrissons dans la première année. *Annee Psychologique*, 114(3), 469–500. <http://doi.org/10.4074/S0003503314003030>
- Belsley, D. a, Kuh, E., & Welsch, R. E. (2005). *Identifying influential data and sources of collinearity* (John Wiley). Hoboken, New Jersey. <http://doi.org/10.1002/0471725153>
- Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E., & McCarthy, G. (1996). Electrophysiological Studies of Face Perception in Human. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(6), 551–565. <http://doi.org/10.1162/jocn.1996.8.6.551>
- Besson, G., Barragan-Jason, G., Thorpe, S. J., Fabre-Thorpe, M., Puma, S., Ceccaldi, M., & Barbeau, E. J. (2017). From face processing to face recognition: Comparing three different processing levels. *Cognition*, 158, 33–43. <http://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.10.004>
- Bettger, J., Emmorey, K., Mccullough, S., & Bellugi, U. (1997). Enhanced Facial Discrimination : Effects of Experience With American Sign Language. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 2(4), 223–233.
- Blais, C., Jack, R. E., Scheepers, C., Fiset, D., & Caldara, R. (2008). Culture shapes how we look at faces. *PLoS ONE*, 3(8). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0003022>
- Bosworth, R. G., & Dobkins, K. R. (1999). Left-Hemisphere Dominance for Motion Processing in Deaf Signers. *Psychological Science*, 10(3), 256–262. <http://doi.org/10.1111/1467-9280.00146>
- Bosworth, R. G., & Dobkins, K. R. (2002a). The effects of spatial attention on motion processing in deaf signers, hearing signers, and hearing nonsigners. *Brain and Cognition*, 49(1), 152–69. <http://doi.org/10.1006/brcg.2001.1497>

- Bosworth, R. G., & Dobkins, K. R. (2002b). Visual field asymmetries for motion processing in deaf and hearing signers. *Brain and Cognition*, *49*(1), 170–81. <http://doi.org/10.1006/brcg.2001.1498>
- Bosworth, R. G., Petrich, J. a F., & Dobkins, K. R. (2013). Effects of attention and laterality on motion and orientation discrimination in deaf signers. *Brain and Cognition*, *82*(1), 117–26. <http://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.01.006>
- Bottari, D., Caclin, A., Giard, M.-H., & Pavani, F. (2011). Changes in early cortical visual processing predict enhanced reactivity in deaf individuals. *PLoS One*, *6*(9), e25607. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0025607>
- Bottari, D., Heimler, B., Caclin, A., Dalmolin, A., Giard, M.-H., & Pavani, F. (2014). Visual change detection recruits auditory cortices in early deafness. *NeuroImage*, *94*, 172–84. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.02.031>
- Bottari, D., Nava, E., Ley, P., & Pavani, F. (2010). Enhanced reactivity to visual stimuli in deaf individuals. *Restorative Neurology and Neuroscience*, *28*(2), 167–79. <http://doi.org/10.3233/RNN-2010-0502>
- Boucart, M., Moroni, C., Szaffarczyk, S., & Tran, T. H. C., (2013). Implicit Processing of Scene Context in Macular Degeneration. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *54*(3), 1950. <http://doi.org/10.1167/iovs.12-9680>
- Boucart, M., Naili, F., Desprez, P., Defoort-Dhellemmes, S., & Fabre-Thorpe, M. (2010). Implicit and explicit object recognition at very large visual eccentricities: No improvement after loss of central vision. *Visual Cognition*, *18*(6), 839–858. <http://doi.org/10.1080/13506280903287845>
- Boucart, M., & Thorpe, S. J. (2016). Finding faces, animals, and vehicles in far peripheral vision. *Journal of Vision*, *16*(2), 1–13. <http://doi.org/10.1167/16.2.10>
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, *10*, 433–436. <http://doi.org/10.1163/156856897X00357>
- Brentari, D., & Crossley, L. (2002). Prosody on the hands and face: Evidence from American Sign Language. *Sign Language & Linguistics*, *5*, 105–130. <http://doi.org/10.1075/sll.5.2.03bre>
- Briggs, J. L. (1970). *Never in anger; portrait of an Eskimo family*. Harvard University Press.
- Bross, M., & Sauerwein, H. (1980). signal detection analysis of visual flicker in deaf and hearing individuals. *Perceptual and Motor Skills*, *51*, 839–843.
- Brozinsky, C. J., & Bavelier, D. (2004). Motion velocity thresholds in deaf signers: Changes in lateralization but not in overall sensitivity. *Cognitive Brain Research*, *21*(1), 1–10. <http://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.05.002>
- Bruce, V., & Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, *77*, 305–327.
- Bruyer, R., & Brysbaert, M. (2011). Combining Speed and Accuracy in Cognitive. *Psychologica Belgica*, *51*, 5–13. <http://doi.org/10.5334/pb-51-1-5>
- Buckley, D., Codina, C., Bhardwaj, P., & Pascalis, O. (2010). Action video game players and deaf observers have larger Goldmann visual fields. *Vision Research*, *50*(5), 548–56. <http://doi.org/10.1016/j.visres.2009.11.018>
- Busigny, T., & Rossion, B. (2010). Acquired prosopagnosia abolishes the face inversion effect. *Cortex*, *46*(8), 965–981. <http://doi.org/10.1016/j.cortex.2009.07.004>
- Butler, E. A., Lee, T. L., & Gross, J. J. (2007). Emotion regulation and culture: Are the social consequences of emotion suppression culture-specific? *Emotion*, *7*(1), 30–48. <http://doi.org/10.1037/1528-3542.7.1.30>

- Caldara, R., & Abdi, H. (2006). Simulating the “other-race” effect with autoassociative neural networks: Further evidence in favor of the face-space model. *Perception, 35*(5), 659–670. <http://doi.org/10.1068/p5360>
- Caldara, R., & Miellat, S. (2011). iMap: a novel method for statistical fixation mapping of eye movement data. *Behavior Research Methods, 43*(3), 864–878. <http://doi.org/10.3758/s13428-011-0092-x>
- Caldara, R., Schyns, P., Mayer, E., Smith, M. L., Gosselin, F., & Rossion, B. (2005). Does prosopagnosia take the eyes out of face representations? Evidence for a defect in representing diagnostic facial information following brain damage. *Journal of Cognitive Neuroscience, 17*, 1652–1666. <http://doi.org/10.1162/089892905774597254>
- Campbell, R., MacSweeney, M., & Waters, D. (2008). Sign language and the brain: a review. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education, 13*(1), 3–20. <http://doi.org/10.1093/deafed/enm035>
- Carlei, C., & Kerzel, D. (2017). Stronger interference from distractors in the right hemifield during visual search. *Laterality, 1*–21.
- Carrasco, M., Talgar, C., & Cameron, L. (2001). Characterizing visual performance fields: effects of transient covert attention, spatial frequency, eccentricity, task and set size. *Spatial Vision, 15*(1), 61–75. <http://doi.org/10.3851/IMP2701.Changes>
- Castel, A. D., Pratt, J., & Drummond, E. (2005). The effects of action video game experience on the time course of inhibition of return and the efficiency of visual search. *Acta Psychologica, 119*(2), 217–230. <http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2005.02.004>
- Cattaneo, Z., Lega, C., Cecchetto, C., & Papagno, C. (2014). Auditory deprivation affects biases of visuospatial attention as measured by line bisection. *Experimental Brain Research, 232*, 2767–2773. <http://doi.org/10.1007/s00221-014-3960-7>
- Chan, A., Duker, J. S., Ko, T. H., Fujimoto, J. G., & Schuman, J. S. (2006). Normal macular thickness measurements in healthy eyes using Stratus optical coherence tomography. *Archives of Ophthalmology (Chicago, Ill. : 1960), 124*(2), 193–8. <http://doi.org/10.1001/archophth.124.2.193>
- Chartrand, J. P., & Belin, P. (2006). Superior voice timbre processing in musicians. *Neuroscience Letters, 405*(3), 164–167. <http://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.06.053>
- Chen, Q., He, G., Chen, K., Jin, Z., & Mo, L. (2010). Altered spatial distribution of visual attention in near and far space after early deafness. *Neuropsychologia, 48*(9), 2693–8. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.05.016>
- Chen, Q., Zhang, M., & Zhou, X. (2006). Effects of spatial distribution of attention during inhibition of return (IOR) on flanker interference in hearing and congenitally deaf people. *Brain Research, 1109*(1), 117–27. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.06.043>
- Christman, S. D., & Niebauer, C. L. (1997). The Relation Between Left-Right and Upper-Lower visual field Asymmetries. In *Cerebral Asymmetries in Sensory and Perceptual Processing* (S. Christm, pp. 263–296). New York: North-Holland.
- Clark, V. P., Fan, S., & Hillyard, S. A. (1995). Identification of early visual evoked potential generators by retinotopic and topographic analyses. *Human Brain Mapping, 2*(3), 170–187. <http://doi.org/10.1002/hbm.460020306>
- Clark, V. P., & Hillyard, S. a. (1996). Spatial Selective Attention Affects Early Extrastriate But Not Striate Components of the Visual Evoked Potential. *Journal of Cognitive Neuroscience, 8*(5), 387–402. <http://doi.org/10.1162/jocn.1996.8.5.387>
- Codina, C., Buckley, D., Port, M., & Pascalis, O. (2011). Deaf and hearing children: a comparison of peripheral vision development. *Developmental Science, 14*(4), 725–37.

<http://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.01017.x>

- Codina, C. J., Pascalis, O., Baseler, H., Levine, A., & Buckley, D. (2017). Peripheral reaction time is faster in deaf adults and British Sign Language interpreters than in hearing adults. *Frontiers in Psychology*, 8(February), 1–10. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00050>
- Codina, C., Pascalis, O., Mody, C., Toomey, P., Rose, J., Gummer, L., & Buckley, D. (2011). Visual advantage in deaf adults linked to retinal changes. *PloS One*, 6(6), e20417. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0020417>
- Coeckelbergh, T. R. M., Cornelissen, F. W., Brouwer, W. H., & Kooijman, A. C. (2004). Age-related changes in the functional visual field: further evidence for an inverse Age x Eccentricity effect. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 59(1), P11-8.
- Colmenero, J. M., Catena, A., Fuentes, L., & Ramos, M. (2004). Mechanisms of visuospatial orienting in deafness. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16(6), 791–805. <http://doi.org/10.1080/09541440340000312>
- Corina, D. P. (1989). Recognition of affective and noncanonical linguistic facial expressions in hearing and deaf subjects. *Brain and Cognition*, 9(2), 227–237. [http://doi.org/10.1016/0278-2626\(89\)90032-8](http://doi.org/10.1016/0278-2626(89)90032-8)
- Corina, D. P., Bellugi, U., & Reilly, J. (1999). Neuropsychological studies of linguistic and affective facial expressions in deaf signers. *Language and Speech*, (2–3), 307–331. <http://doi.org/10.1177/00238309990420020801>
- D’Ausilio, A. (2007). The Role of the Mirror System in Mapping Complex Sounds into Actions. *Journal of Neuroscience*, 27(22), 5847–5848. <http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0979-07.2007>
- Danckert, J., & Goodale, M. a. (2001). Superior performance for visually guided pointing in the lower visual field. *Experimental Brain Research*, 137(3–4), 303–308. <http://doi.org/10.1007/s002210000653>
- Darwin, C. (1872). *The expression of emotion in animals and man. A biographical sketch of an infant. Mind* (Vol. 2). London: Methuen.(1877).
- de Heering, A., Aljuhanay, A., Rossion, B., & Pascalis, O. (2012). Early deafness increases the face inversion effect but does not modulate the composite face effect. *Frontiers in Psychology*, 3(April), 124. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00124>
- Der, G., & Deary, I. J. (2006). Age and Sex Differences in Reaction Time in Adulthood : Results From the United Kingdom Health and Lifestyle Survey. *Psychology and Aging*, 21(1), 62–73. <http://doi.org/10.1037/0882-7974.21.1.62>
- Dewey, R. S., & Hartley, D. E. H. (2015). Cortical cross-modal plasticity following deafness measured using functional near-infrared spectroscopy. *Hearing Research*, 325, 55–63. <http://doi.org/10.1016/j.heares.2015.03.007>
- Dole, M., Méary, D., & Pascalis, O. (2017). Modifications of Visual Field Asymmetries for Face Categorization in Early Deaf Adults : A Study With Chimeric Faces. *Frontiers in Psychology*, 8(30). <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00030>
- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427, 311–312. <http://doi.org/10.1038/427311a>
- Dupierrix, E., Gresty, M., Ohlmann, T., & Chokron, S. (2009). Long Lasting Egocentric Disorientation Induced by Normal Sensori-Motor Spatial Interaction. *PloS One*, 4(2), e4465. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0004465>
- Dye, M. (2016). Foveal Processing Under Concurrent Peripheral Load in Profoundly Deaf Adults.

- Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 21(2), 122–128.
<http://doi.org/10.1093/deafed/env054>
- Dye, M., Baril, D. E., & Bavelier, D. (2007). Which aspects of visual attention are changed by deafness? The case of the Attentional Network Test. *Neuropsychologia*, 45(8), 1801–11.
<http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.12.019>
- Dye, M., Hauser, P. C., & Bavelier, D. (2009). Is visual selective attention in deaf individuals enhanced or deficient? The case of the useful field of view. *PloS One*, 4(5), e5640.
<http://doi.org/10.1371/journal.pone.0005640>
- Dye, M., Seymour, J. L., & Hauser, P. C. (2015). Response bias reveals enhanced attention to inferior visual field in signers of American Sign Language. *Experimental Brain Research*, 234(4), 1–10.
<http://doi.org/10.1007/s00221-015-4530-3>
- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99(3), 225–234.
[http://doi.org/10.1016/S0921-884X\(96\)95711-2](http://doi.org/10.1016/S0921-884X(96)95711-2)
- Eimer, M. (2012). The Face-Sensitive N170 Component of the Event-Related Brain Potential. *Oxford Handbook of Face Perception*, 329–344.
- Ekman, P. (1972). Universals and cultural differences in facial expressions of emotion. *Nebraska Symposium on Motivation*. <http://doi.org/10.1037/0022-3514.53.4.712>
- Ekman, P. (1999). Basic Emotions. *Handbook of Cognition and Emotion*.
<http://doi.org/10.1017/S0140525X0800349X>
- Ekman, P., Sorenson, E. R., & Friesen, W. V. (1969). Pan-Cultural Elements in Facial Display of Emotions. *Science*, 164, 86–88.
- Emmorey, K. (2001). The impact of sign language use of visuo-spatial cognition. In *Language, Cognition and the Brain: Insights from sign language research* (Psychology, pp. 243–270). Mahwah, NJ.
- Emmorey, K., Thompson, R., & Colvin, R. (2009). Eye gaze during comprehension of American Sign Language by native and beginning signers. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 14(2), 237–43. <http://doi.org/10.1093/deafed/enn037>
- Farroni, T., Johnson, M. H., Menon, E., Zulian, L., Faraguna, D., & Csibra, G. (2005). Newborns' preference for face-relevant stimuli: Effects of contrast polarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(47), 17245–17250.
- Farroni, T., Menon, E., Rigato, S., & Johnson, M. H. (2007). The perception of facial expressions in newborns. *The European Journal of Developmental Psychology*, 4(1), 2–13.
<http://doi.org/10.1080/17405620601046832>
- Feng, J., & Spence, I. (2014). Upper visual field advantage in localizing a target among distractors. *I-Perception*, 5(2), 97–100. <http://doi.org/10.1068/i0625rep>
- Fine, I., Finney, E. M., Boynton, G. M., & Dobkins, K. R. (2005). Comparing the effects of auditory deprivation and sign language within the auditory and visual cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(10), 1621–37. <http://doi.org/10.1162/089892905774597173>
- Finney, E. M., Clementz, B. a, Hickok, G., & Dobkins, K. R. (2003). Visual stimuli activate auditory cortex in deaf subjects: evidence from MEG. *Neuroreport*, 14(11), 1425–7.
<http://doi.org/10.1097/01.wnr.0000079894.11980.6a>
- Finney, E. M., & Dobkins, K. R. (2001). Visual contrast sensitivity in deaf versus hearing populations: exploring the perceptual consequences of auditory deprivation and experience with a visual

- language. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 11(1), 171–83. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11240120>
- Finney, E. M., Fine, I., & Dobkins, K. R. (2001). Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf. *Nature Neuroscience*, 4(12), 1171–3. <http://doi.org/10.1038/nn763>
- Fu, S., Fedota, J., Greenwood, P., & Parasuraman, R. (2010). Dissociation of visual C1 and P1 components as a function of attentional load: An event-related potential study Shimin. *Biol Psychol.*, 85(1), 171–178. <http://doi.org/10.1021/nl061786n.Core-Shell>
- 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. <http://doi.org/10.1162/089892900562165>
- Gibson, J. J. (James J. (2015). *The ecological approach to visual perception* (Psychology). New-York and London: Pyschology Press.
- Goldstein, N. E., & Feldman, R. S. (1996). Knowledge of American sign language and the ability of hearing individuals to decode facial expressions of emotion. *Journal of Nonverbal Behavior*, 20(2), 111–122. <http://doi.org/10.1007/BF02253072>
- Gosselin, F., & Schyns, P. (2003). Superstitious Perceptions Reveal Properties of Internal Representations. *Psychological Science*, 14(5), 505–509. <http://doi.org/10.1111/1467-9280.03452>
- Gougoux, F., Lepore, F., Lassonde, M., Voss, P., Zatorre, R. J., & Belin, P. (2004). Pitch discrimination in the early blind. *Nature*, 430(6997), 309–309. <http://doi.org/10.1038/nature02689>
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423(6939), 534–7. <http://doi.org/10.1038/nature01647>
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2006). Effect of action video games on the spatial distribution of visuospatial attention. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 32(6), 1465–78. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.32.6.1465>
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2007). Action-video-game experience alters the spatial resolution of vision. *Psychological Science*, 18(1), 88–94. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01853.x>
- Guerrini, S. C., Kuhlman, K., & Wristen, B. (2005). Cognition and Motor Execution in Piano Sight-Reading: A Review of Literature. *Application of Research in Music Education*, 24(1), 44–56.
- Hall, E. T. (1963). A System for the Notation of Proxemic Behavior. *American Anthropologist*, 65(5), 1003–1026.
- Hauser, P. C., Dye, M., Boutla, M., Green, C. S., & Bavelier, D. (2007). Deafness and visual enumeration: not all aspects of attention are modified by deafness. *Brain Research*, 1153, 178–87. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2007.03.065>
- Hauthal, N., Debener, S., Rach, S., Sandmann, P., & Thorne, J. D. (2014). Visuo-tactile interactions in the congenitally deaf: a behavioral and event-related potential study. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 8(January), 98. <http://doi.org/10.3389/fnint.2014.00098>
- Hauthal, N., Neumann, M. F., & Schweinberger, S. R. (2012). Attentional spread in deaf and hearing participants: face and object distractor processing under perceptual load. *Attention, Perception & Psychophysics*, 74(6), 1312–20. <http://doi.org/10.3758/s13414-012-0320-1>
- Hauthal, N., Sandmann, P., Debener, S., & Thorne, J. (2013). Visual movement perception in deaf and hearing individuals. *Advances in Cognitive Psychology*, 9(2), 53–61. <http://doi.org/10.5709/acp-0131-z>
- Haxby, J. V., Hoffman, E. a, & Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face

- perception. *Trends Cogn Sci*, 4(6), 223–233. [http://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01482-0](http://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01482-0)
- He, H., Xu, B., & Tanaka, J. (2016). Investigating the face inversion effect in a deaf population using the Dimensions Tasks. *Visual Cognition*, 6285(September), 1–11.
- He, S., Cavanagh, P., & Intriligator, J. (1996). Attentional resolution and the locus of visual awareness. *Nature*, 383(6598), 334–337. <http://doi.org/10.1038/383334a0>
- Heimler, B., Baruffaldi, F., Bonmassar, C., Venturini, M., & Pavani, F. (2017). Multisensory Interference in Early Deaf Adults. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 1–12. <http://doi.org/10.1093/deafed/enx025>
- Heimler, B., & Pavani, F. (2014). Response speed advantage for vision does not extend to touch in early deaf adults. *Experimental Brain Research*, 232(4), 1335–41. <http://doi.org/10.1007/s00221-014-3852-x>
- Heimler, B., Van Zoest, W., Baruffaldi, F., Rinaldi, P., Cristina, M., & Pavani, F. (2015). Attentional Orienting to Social and Nonsocial Cues in Early Deaf Adults. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*.
- Hellige, J. B. (1993). *Hemispheric asymmetry : what's right and what's left* (Harvard Un). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Hendrickson, A. E., & Yuodelis, C. (1984). The Morphological Development of the Human Fovea. *Ophthalmology*, 91(6), 603–612. [http://doi.org/10.1016/S0161-6420\(84\)34247-6](http://doi.org/10.1016/S0161-6420(84)34247-6)
- Herlihey, T. A., Black, S. E., & Ferber, S. (2013). Action modulated cognition: the influence of sensori-motor experience on the global processing bias. *Neuropsychologia*, 51(10), 1973–9. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.014>
- Iidaka, T. (2014). Role of the fusiform gyrus and superior temporal sulcus in face perception and recognition: An empirical review. *Japanese Psychological Research*, 56(1), 33–45. <http://doi.org/10.1111/jpr.12018>
- James, W. (1884). What is an Emotion ? *Mind*, 9(34), 188–205.
- Jayaraman, S., Klein, R. M., Hilchey, M. D., Patil, G. S., & Mishra, R. K. (2016). Spatial gradients of oculomotor inhibition of return in deaf and normal adults. *Experimental Brain Research*, 234(1), 323–330. <http://doi.org/10.1007/s00221-015-4439-x>
- Johnson, M. H., Dziurawiec, S., Ellis, H., & Morton, J. (1991). Newborns ' preferential tracking of face-like stimuli and its subsequent decline. *Cognition*, 40, 1–19.
- Kandel, S., Burfin, S., Méary, D., Ruiz-Tada, E., Costa, A., & Pascalis, O. (2016). The impact of early bilingualism on face recognition processes. *Frontiers in Psychology*, 7(JUL), 1–9. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01080>
- Kanwisher, N., & Barton, J. J. S. (2011). *The Functional Architecture of the Face System: integrating Evidence from fMRI and Patient Studies*. Oxford University Press. <http://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199559053.013.0007>
- Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The Fusiform Face Area : A Module in Human Extrastriate Cortex Specialized for Face Perception. *The Journal of Neuroscience*, 17(11), 4302–4311.
- Karim, A. K. M. R., & Kojima, H. (2010). The what and why of perceptual asymmetries in the visual domain. *Advances in Cognitive Psychology*, 6, 103–15. <http://doi.org/10.2478/v10053-008-0080-6>
- Kelly, D. J., Quinn, P. C., Slater, A. M., Lee, K., Ge, L., & Pascalis, O. (2007). The Other-Race Effect Develops During Infancy. Evidence of Perceptual Narrowing. *Psychological Science*, 18(12),

1084–1089.

- Kida, N., Oda, S., & Matsumura, M. (2005). Intensive baseball practice improves the Go/Nogo reaction time, but not the simple reaction time. *Cognitive Brain Research*, *22*(2), 257–64. <http://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.09.003>
- Kolb, H., Fernandez, E., & Nelson, R. (n.d.). Webvision: The Organization of the Retina and Visual System. Retrieved July 18, 2017, from <http://webvision.med.utah.edu/>
- Kraus, N., & Chandrasekaran, B. (2010). Music training for the development of auditory skills. *Nat Rev Neurosci*, *11*(8), 599–605. <http://doi.org/nrn2882> [pii]\n10.1038/nrn2882
- Lahav, A., Saltzman, E., & Schlaug, G. (2007). Action Representation of Sound: Audiomotor Recognition Network While Listening to Newly Acquired Actions. *Journal of Neuroscience*, *27*(2), 308–314. <http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4822-06.2007>
- Lao, J., Mielle, S., Pernet, C., Sokhn, N., & Caldara, R. (2015). iMap 4: An Open Source Toolbox for the Statistical Fixation Mapping of Eye Movement data with Linear Mixed Modeling. *Journal of Vision*, *15*(12), 793. <http://doi.org/10.1167/15.12.793>
- Le Grand, R., Mondloch, C. J., Maurer, D., & Brent, H. P. (2001). Early visual experience and face processing. *Nature*, *410*(April), 890. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)04463-9](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)04463-9)
- Lee, K., Anzures, G., Quinn, P. C., Pascalis, O., & Slater, A. (2011). *Development of Face Processing Expertise*. Oxford University Press. <http://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199559053.013.0039>
- Letourneau, S. M., & Mitchell, T. (2011). Gaze patterns during identity and emotion judgments in hearing adults and deaf users of American Sign Language. *Perception*, *40*(5), 563–575. <http://doi.org/10.1068/p6858>
- Letourneau, S. M., & Mitchell, T. (2013). Visual field bias in hearing and deaf adults during judgments of facial expression and identity. *Frontiers in Psychology*, *4*(June), 319. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00319>
- Levänen, S., & Hamdorf, D. (2001). Feeling vibrations: Enhanced tactile sensitivity in congenitally deaf humans. *Neuroscience Letters*, *301*(1), 75–77. [http://doi.org/10.1016/S0304-3940\(01\)01597-X](http://doi.org/10.1016/S0304-3940(01)01597-X)
- Levine, M. W., & McAnany, J. J. (2005). The relative capabilities of the upper and lower visual hemifields. *Vision Research*, *45*(21), 2820–30. <http://doi.org/10.1016/j.visres.2005.04.001>
- Liddell, S. K. (2003). *Grammar, gesture, and meaning in American Sign Language* (Cambridge). New-York.
- Loke, H. W., & Song, S. (1991). Central and peripheral visual processing in hearing and nonhearing individuals. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *29*(5), 437–440. <http://doi.org/10.3758/BF03333964>
- Lotze, M., Scheler, G., Tan, H. R. M., Braun, C., & Birbaumer, N. (2003). The musician's brain: Functional imaging of amateurs and professionals during performance and imagery. *NeuroImage*, *20*(3), 1817–1829. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.07.018>
- Lundqvist, D., Flykt, A., & Öhman, A. (1998). The Karolinska Directed Emotional Faces - KDEF, CD ROM from Department of Clinical Neuroscience, Psychology section, Karolinska Institutet, ISBN 91-630-7164-9.
- MacSweeney, M., Capek, C. M., Campbell, R., & Woll, B. (2008). The signing brain: the neurobiology of sign language. *Trends in Cognitive Sciences*, *12*(September), 432–440. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2008.07.010>
- Mandal, M. K., Pandey, R., & Prasad, A. B. (1998). Facial Expressions of Emotions and Schizophrenia: A Review. *Schizophrenia Bulletin*, *24*(1), 399–412.

- Mangun, G. R. (1995). Neural mechanisms of visual selective attention. *Psychophysiology*, *32*(1), 4–18. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1995.tb03400.x>
- Marr, D. (1982). *Vision* (W.H. Freeman). San Francisco.
- Marsman, M., & Wagenmakers, E.-J. (2016). Bayesian benefits with JASP. *European Journal of Developmental Psychology*, *56*29(December), 1–11.
- Maurer, D., & Werker, J. F. (2014). Perceptual narrowing during infancy: A comparison of language and faces. *Developmental Psychobiology*, *56*(2), 154–178. <http://doi.org/10.1002/dev.21177>
- 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. [http://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00134-7](http://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00134-7)
- McCullough, S., & Emmorey, K. (1997). Face processing by deaf ASL signers: evidence for expertise in distinguished local features. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, *2*(4), 212–22. <http://doi.org/10.1093/oxfordjournals.deafed.a014327>
- McCullough, S., Emmorey, K., & Sereno, M. (2005). Neural organization for recognition of grammatical and emotional facial expressions in deaf ASL signers and hearing nonsigners. *Cognitive Brain Research*, *22*(2), 193–203. <http://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.08.012>
- McGurk, H., & Macdonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, *264*, 691–811. <http://doi.org/10.1038/264746a0>
- Memmert, D. (2009). Pay attention! A review of visual attentional expertise in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, *2*(2), 119–138. <http://doi.org/10.1080/1750984080264137>
- Mielliet, S., Caldara, R., & Schyns, P. G. (2011). Local Jekyll and global Hyde: the dual identity of face identification. *Psychological Science*, *22*(12), 1518–26.
- Mielliet, S., He, L., Zhou, X., Lao, J., & Caldara, R. (2011). When East meets West : gaze-contingent Blindspots abolish cultural diversity in eye movements for faces. *Journal of Eye Movement Research*, *5*(2), 1–12.
- Mielliet, S., Vizioli, L., He, L., Zhou, X., & Caldara, R. (2013). Mapping Face Recognition Information Use across Cultures. *Frontiers in Psychology*, *4*(February), 34.
- Mitchell, T., Letourneau, S. M., & Maslin, M. C. T. (2013). Behavioral and neural evidence of increased attention to the bottom half of the face in deaf signers. *Restorative Neurology and Neuroscience*, *31*(2), 125–139. <http://doi.org/10.3233/RNN-120233>
- Mitchell, T. V. (2017). Category Selectivity of the N170 and the Role of Expertise in Deaf Signers. *Hearing Research*, *343*, 150–161. <http://doi.org/10.1016/j.heares.2016.10.010>
- Moallem, T. M., Reed, C. M., & Braid, L. D. (2010). Measures of tactual detection and temporal order resolution in congenitally deaf and normal-hearing adults. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *127*(6), 3696–3709. <http://doi.org/10.1121/1.3397432>
- Mondloch, C. J., Lewis, T. L., Budreau, D. R., Maurer, D., Dannemiller, J. L., Stephens, B. R., & Kleiner-gathercoal, K. A. (1999). Face perception during early infancy. *Developmental Science*, *10*(5), 419–422.
- Mori, S., Ohtani, Y., & Imanaka, K. (2002). Reaction times and anticipatory skills of karate athletes. *Human Movement Science*, *21*(2), 213–30.
- Muiños, M., & Ballesteros, S. (2013). Visuospatial attention and motor skills in kung fu athletes. *Perception*, *42*(10), 1043–1050. <http://doi.org/10.1068/p7567>
- Muir, L. J., & Richardson, I. E. G. (2005). Perception of sign language and its application to visual

- communications for deaf people. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 10(4), 390–401. <http://doi.org/10.1093/deafed/eni037>
- Nava, E., Bottari, D., Zampini, M., & Pavani, F. (2008). Visual temporal order judgment in profoundly deaf individuals. *Experimental Brain Research*, 190(2), 179–88. <http://doi.org/10.1007/s00221-008-1459-9>
- Neville, H., & Lawson, D. (1987a). Attention to central and peripheral visual space in a movement detection task: an event-related potential and behavioral study. I. Normal hearing adults. *Brain Research*, 405, 253–267.
- Neville, H., & Lawson, D. (1987b). Attention to central and peripheral visual space in a movement detection task: an event-related potential and behavioral study. II. Congenitally deaf adults. *Brain Research*, 405, 268–283.
- Neville, H., & Lawson, D. (1987c). Attention to central and peripheral visual space in a movement detection task. III. Separate effects of auditory deprivation and acquisition of a visual language. *Brain Research*, 405, 284–294.
- Niebauer, C. L., & Christman, S. D. (1998). Upper and lower visual field differences in categorical and coordinate judgments. *Psychonomic Bulletin and Review*, 5(1), 147–151. <http://doi.org/10.3758/BF03209471>
- Nordmann, J.-P. (2001). *Périmétrie automatique* (Laboratoire).
- Okubo, M., & Nicholls, M. E. R. (2008). Hemispheric asymmetries for temporal information processing: Transient detection versus sustained monitoring. *Brain and Cognition*, 66(2), 168–175. <http://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.07.002>
- Ooto, S., Hangai, M., Sakamoto, A., Tomidokoro, A., Araie, M., Otani, T., ... Yoshimura, N. (2010). Three-dimensional profile of macular retinal thickness in normal Japanese eyes. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 51(1), 465–473. <http://doi.org/10.1167/iovs.09-4047>
- Pallesen, K. J., Brattico, E., Bailey, C. J., Korvenoja, A., Koivisto, J., Gjedde, A., & Carlson, S. (2010). Cognitive control in auditory working memory is enhanced in musicians. *PLoS ONE*, 5(6). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0011120>
- Parasnis, I., & Samar, V. (1985). Parafoveal attention in congenitally deaf and hearing young adults. *Brain and Cognition*, 4(3), 313–27.
- Pasinski, A. C., Hannon, E. E., & Snyder, J. S. (2016). How musical are music video game players? *Psychonomic Bulletin and Review*, 23(5), 1553–1558. <http://doi.org/10.3758/s13423-015-0998-x>
- Pau, S., Jahn, G., Sakreida, K., Domin, M., & Lotze, M. (2013). Encoding and recall of finger sequences in experienced pianists compared with musically naïve controls: A combined behavioral and functional imaging study. *NeuroImage*, 64(1), 379–387.
- Pavani, F., & Bottari, D. (2012). Visual Abilities in Individuals with Profound Deafness A Critical Review. In M. Murray & M. Wallas (Eds.), *The Neural Bases of Multisensory Processes* (CRC Press). Boca Raton, FL.
- Pavani, F., & Röder, B. (2012). Crossmodal plasticity as a consequence of sensory loss : Insights from blindness and deafness. In *The New Handbook of Multisensory Processes* (MIT, pp. 737–760). Cambridge, MA.
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: transforming numbers into movies. *Spatial Vision*. <http://doi.org/10.1163/156856897X00366>
- 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.

- [http://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00126-X](http://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00126-X)
- Pitcher, D., Walsh, V., & Duchaine, B. (2011). The role of the occipital face area in the cortical face perception network. *Experimental Brain Research*, 209(4), 481–493. <http://doi.org/10.1007/s00221-011-2579-1>
- Pitt, M. A. (1994). Perception of pitch and timbre by musically trained and untrained listeners. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 20(5), 976–986. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.20.5.976>
- Pollak, S., Cicchetti, D., Hornung, K., & Reed, A. (2000). Recognizing emotion in faces: developmental effects of child abuse and neglect. *Developmental Psychology*, 36(5), 679–688. <http://doi.org/10.1037//0012-1649.36.5.679>
- Pollak, S. D., & Kistler, D. J. (2002). Early experience is associated with the development of categorical representations for facial expressions of emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(13), 9072–9076. <http://doi.org/10.1073/pnas.142165999>
- Prasad, S. G., Patil, G. S., & Mishra, R. K. (2015). Effect of Exogenous Cues on Covert Spatial Orienting in Deaf and Normal Hearing Individuals. *Plos One*, 10(10), e0141324. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0141324>
- Previc, F. H. (1990). Functional specialization in the lower and upper visual fields in humans : Its ecological origins and implications. *Behavioral and Brain Sciences*, 13(3), 519–542.
- Previc, F. H. (1998). The neuropsychology of 3-D space. *Psychological Bulletin*, 124(2), 123–164. <http://doi.org/10.1037//0033-2909.124.2.123>
- Previc, F. H., & Blume, J. (1993). Visual Search Asymmetries in Space. *Vision Research*, 33(18), 2697–2704.
- Proksch, J., & Bavelier, D. (2002). Changes in the spatial distribution of visual attention after early deafness. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(5), 687–701. <http://doi.org/10.1162/08989290260138591>
- Ratcliff, R., & Childers, R. (2015). Diffusion Model of Decision Making. *Decision*, 2(4), 237–279.
- Rayner, K., Slattery, T. J., & Liversedge, S. P. (2011). Eye movements and word skipping during reading: Effects of word length and predictability. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 37(2), 514–528. <http://doi.org/10.1037/a0020990>
- Reilly, J., Mcintire, M. L., & Seago, H. (1992). Affective prosody in American Sign Language. *Sign Language Studies*, 75, 113–128.
- Reilly, & Bellugi, U. (1996). Competition on the face: affect and language in ASL motherese. *Journal of Child Language*, 23(1), 219–239. <http://doi.org/10.1017/S0305000900010163>
- Rettenbach, R., Diller, G., & Sireteanu, R. (1999). Do deaf people see better? Texture segmentation and visual search compensate in adult but not in juvenile subjects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(5), 560–583.
- Reynolds, H. (1993). Effects of foveal stimulation on peripheral visual processing and laterality in deaf and hearing subjects. *The American Journal of Psychology*, 106(4), 523–540.
- Rezec, A., & Dobkins, K. R. (2004). Attentional weighting: A possible account of visual field asymmetries in visual search? *Spatial Vision*, 17(4), 269–293. <http://doi.org/10.1163/1568568041920203>
- Risse, J. F. (1999). *Exploration de la fonction visuelle. Applications au domaine sensoriel. L'oeil normal et en pathologie* (Masson).

- Rodger, H., Vizioli, L., Ouyang, X., & Caldara, R. (2015). Mapping the development of facial expression recognition. *Developmental Science*, *18*(6), 926–939. <http://doi.org/10.1111/desc.12281>
- Rosenholtz, R., Huang, J., Raj, A., Balas, B. J., & Ilie, L. (2012). A summary statistic representation in peripheral vision explains visual search. *Journal of Vision*, *12*(4), 14–14. <http://doi.org/10.1167/12.4.14>
- Rossion, B. (2009). Distinguishing the cause and consequence of face inversion: The perceptual field hypothesis. *Acta Psychologica*, *132*(3), 300–312. <http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2009.08.002>
- Rossion, B., Caldara, R., Seghier, M., Schuller, A. M., Lazeyras, F., & Mayer, E. (2003). A network of occipito-temporal face-sensitive areas besides the right middle fusiform gyrus is necessary for normal face processing. *Brain*, *126*(11), 2381–2395. <http://doi.org/10.1093/brain/awg241>
- Rossion, B., & Gauthier, I. (2002). How does the brain process upright and inverted faces? *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, *1*(1), 63–75.
- Rovamo, J., & Virsu, V. (1979). An Estimation and Application of the Human Cortical Magnification Factor. *Experimental Brain Research*, *37*(3), 495–510.
- Rubin, N., Nakayama, K., & Shapley, R. (1996). Enhanced perception illusory contours in the lower versus upper visual hemifields. *Science*, *271*(5249), 651–653.
- Sadato, N., Pascual-Leone, A., Grafman, J., Ibañez, V., Deiber, M. P., Dold, G., & Hallett, M. (1996). Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. *Nature*. <http://doi.org/10.1038/380526a0>
- Samar, V. J., & Berger, L. (2017). Does a flatter general gradient of visual attention explain peripheral advantages and central deficits in deaf adults? *Frontiers in Psychology*, *8*(MAY), 1–18. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00713>
- Sander, D., & Scherer, K. R. (2014). *Traité de psychologie des émotions* (Dunod). Paris. <http://doi.org/10.3917/dunod.sande.2014.01.0001>
- Schwenkreis, P., El Tom, S., Ragert, P., Pleger, B., Tegenthoff, M., & Dinse, H. R. (2007). Assessment of sensorimotor cortical representation asymmetries and motor skills in violin players. *European Journal of Neuroscience*, *26*(11), 3291–3302. <http://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2007.05894.x>
- Schyns, P. G., Bonnar, L., & Gosselin, F. (2002). SHOW ME THE FEATURES! Understanding Recognition From the Use of Visual Information. *Psychological Science*, *13*(5), 402–409. <http://doi.org/10.1111/1467-9280.00472>
- Scott, G. D., Karns, C. M., Dow, M. W., Stevens, C., & Neville, H. (2014). Enhanced peripheral visual processing in congenitally deaf humans is supported by multiple brain regions, including primary auditory cortex. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*(March). <http://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00177>
- Seymour, J. L., Low, K. A., Maclin, E. L., Chiarelli, A. M., Mathewson, K. E., Fabiani, M., ... Dye, M. W. G. (2017). Reorganization of neural systems mediating peripheral visual selective attention in the deaf: An optical imaging study. *Hearing Research*, *343*, 162–175. <http://doi.org/10.1016/j.heares.2016.09.007>
- Shiell, M. M., Champoux, F., & Zatorre, R. J. (2014). Enhancement of visual motion detection thresholds in early deaf people. *PloS One*, *9*(2), e90498. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0090498>
- Śmigasiwicz, K., Shalgi, S., Hsieh, S., Möller, F., Jaffe, S., Chang, C. C., & Verleger, R. (2010). Left visual-field advantage in the dual-stream RSVP task and reading-direction: A study in three nations. *Neuropsychologia*, *48*(10), 2852–2860.

- Smith, A. T., & Hammond, P. (1986). Hemifield differences in perceived velocity. *Perception*, *15*(2), 111–117. <http://doi.org/10.1068/p150111>
- Smith, M. L., Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2012). Measuring internal representations from behavioral and brain data. *Current Biology*, *22*(3), 191–196. <http://doi.org/10.1016/j.cub.2011.11.061>
- Spence, I., & Feng, J. (2010). Video games and spatial cognition. *Review of General Psychology*, *14*(2), 92–104. <http://doi.org/10.1037/a0019491>
- Stevens, C., & Neville, H. (2006). Neuroplasticity as a double-edged sword: deaf enhancements and dyslexic deficits in motion processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*(5), 701–14. <http://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.5.701>
- Stewart, L., Henson, R., Kampe, K., Walsh, V., Turner, R., & Frith, U. (2003). Brain changes after learning to read and play music. *NeuroImage*, *20*(1), 71–83. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14527571>
- Stivalet, P., Moreno, Y., Richard, J., Barraud, P.-A., & Raphel, C. (1998). Differences in visual search tasks between congenitally deaf and normally hearing adults. *Cognitive Brain Research*, *6*(3), 227–32. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9479074>
- Tannazzo, T., Kurylo, D. D., & Bukhari, F. (2014). Perceptual grouping across eccentricity. *Vision Research*, *103C*, 101–108. <http://doi.org/10.1016/j.visres.2014.08.011>
- Tcherkassof, A. (2008). *Les émotions et leurs expressions* (Presses Un).
- Thompson, P. (1980). Margaret Thatcher: A New Illusion. *Perception*, *9*(4), 483–484. <http://doi.org/10.1068/p090483>
- Thorpe, S. J., Gegenfurtner, K. R., Fabre-Thorpe, M., & Bülthoff, H. H. (2002). Detection of animals in natural images using far peripheral vision. *European Journal of Neuroscience*, *14*(5), 869–876. <http://doi.org/10.1046/j.0953-816X.2001.01717.x>
- Uljarevic, M., & Hamilton, A. (2013). Recognition of emotions in autism: A formal meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *43*(7), 1517–1526. <http://doi.org/10.1007/s10803-012-1695-5>
- Vachon, P., Voss, P., Lassonde, M., Leroux, J. M., Mensour, B., Beaudoin, G., ... Lepore, F. (2013). Reorganization of the auditory, visual and multimodal areas in early deaf individuals. *Neuroscience*, *245*, 50–60. <http://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2013.04.004>
- Van Hemert, D. A., Poortinga, Y. H., & Van de Vijver, F. J. R. (2007). Emotion and culture: A meta-analysis. *Cognition & Emotion*, *21*(5), 913–943. <http://doi.org/10.1080/02699930701339293>
- Van Kleeck, M. H. (1989). Hemispheric differences in global versus local processing of hierarchical visual stimuli by normal subjects: New data and a meta-analysis of previous studies. *Neuropsychologia*, *27*(9), 1165–1178. [http://doi.org/10.1016/0028-3932\(89\)90099-7](http://doi.org/10.1016/0028-3932(89)90099-7)
- Vecchi, T., Tinti, C., & Cornoldi, C. (2004). Spatial memory and integration processes in congenital blindness. *Neuroreport*, *15*(18), 2787–2790. <http://doi.org/00001756-200412220-00020> [pii]
- Vedamurthy, I., Knill, D., Huang, S. J., Yung, A., Ding, J., Kwon, O.-S., ... Levi, D. (2016). Recovering stereo vision by squashing virtual bugs in a virtual reality environment. *Phil. Trans. R. Soc. B*, *371*(1697).
- Vedamurthy, I., Nahum, M., Huang, S. J., Zheng, F., Bayliss, J., Bavelier, D., & Levi, D. M. (2015). A dichoptic custom-made action video game as a treatment for adult amblyopia. *Vision Research*, *114*, 173–187. <http://doi.org/10.1016/j.visres.2015.04.008>
- Virsu, V., Näsänen, R., & Osmoviita, K. (1987). Cortical magnification and peripheral vision. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics and Image Science*, *4*(8), 1568–78.

- <http://doi.org/10.1364/JOSAA.4.001568>
- Virsu, V., & Rovamo, J. (1979). Visual resolution, contrast sensitivity, and the cortical magnification factor. *Experimental Brain Research*, 37(3), 475–494. <http://doi.org/10.1007/BF00236818>
- Vizioli, L., Foreman, K., Rousselet, G. A., & Caldara, R. (2010). Inverting faces elicits sensitivity to race on the N170 component: a cross-cultural study. *Journal of Vision*, 10(1), 15.1-23. <http://doi.org/10.1167/10.1.15>
- Vizioli, L., Rousselet, G. A., & Caldara, R. (2010). Neural repetition suppression to identity is abolished by other-race faces. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(46), 20081–6. <http://doi.org/10.1073/pnas.1005751107>
- Watanabe, K., Matsuda, T., Nishioka, T., & Namatame, M. (2011). Eye gaze during observation of static faces in deaf people. *PloS One*, 6(2), e16919. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0016919>
- Watson, A., & Pelli, D. (1983). QUEST: A Bayesian adaptive psychometric method. *Perception & Psychophysics*, 33(2), 113–120.
- Wetzels, R., & Wagenmakers, E.-J. (2012). A default Bayesian hypothesis test for correlations and partial correlations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1057–1064. <http://doi.org/10.3758/s13423-012-0295-x>
- Wiecki, T. V., Sofer, I., & Frank, M. J. (2013). HDDM: Hierarchical Bayesian estimation of the Drift-Diffusion Model in Python. *Frontiers in Neuroinformatics*, 7(August), 14. <http://doi.org/10.3389/fninf.2013.00014>
- Williams, A. M., & Ford, P. R. (2008). Expertise and expert performance in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1(1), 4–18. <http://doi.org/10.1080/17509840701836867>
- Xingjuan, L., Yang, Z., & Ming, Z. (2011). Location-based Inhibition of Return of the Congenitally Deaf People in Detection Tasks. *Journal of Psychological Science*, 34(3), 558–564.
- Yund, E., Efron, R., & Nichols, D. (1990). Detectability gradients as a function of target location. *Brain and Cognition*, 12, 1–16.
- Yuodelis, C., & Hendrickson, A. (1986). A qualitative and quantitative analysis of the human fovea during development. *Vision Research*, 26(6), 847–855. [http://doi.org/10.1016/0042-6989\(86\)90143-4](http://doi.org/10.1016/0042-6989(86)90143-4)
- Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews. Neuroscience*, 8(7), 547–558. <http://doi.org/10.1038/nrn2152>
- Zhang, M., Tan, X., Shen, L., Wang, A., Geng, S., & Chen, Q. (2014). Interaction between allocentric and egocentric reference frames in deaf and hearing populations. *Neuropsychologia*, 54, 68–76. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.12.015>
- Zwierko, T. (2008). Differences in Peripheral Perception between Athletes and Nonathletes. *Journal of Human Kinetics*, 19(1), 53–62. <http://doi.org/10.2478/v10078-008-0004-z>

Annexes

Annexe I :

OCT maculaire d'un participant du groupe des entendants signeurs (étude 1)

Nom: OD OS

ID: CZMI804102174 Date d'examen: 30/11/2015 30/11/2015 OPHTALMO

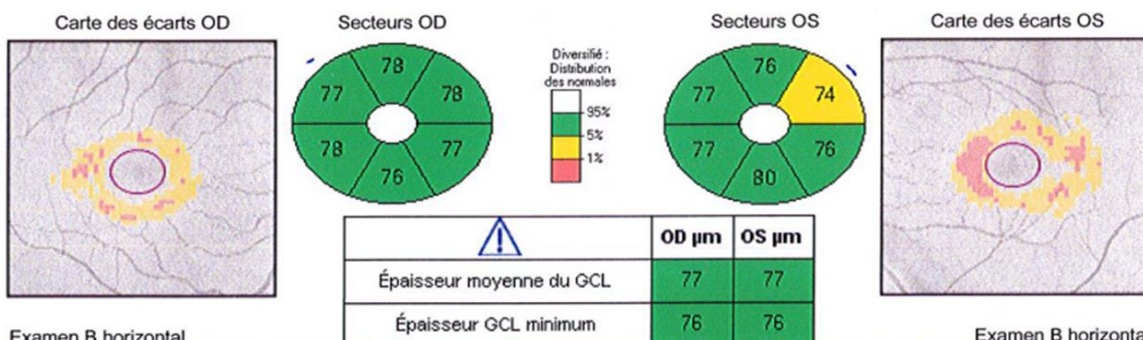
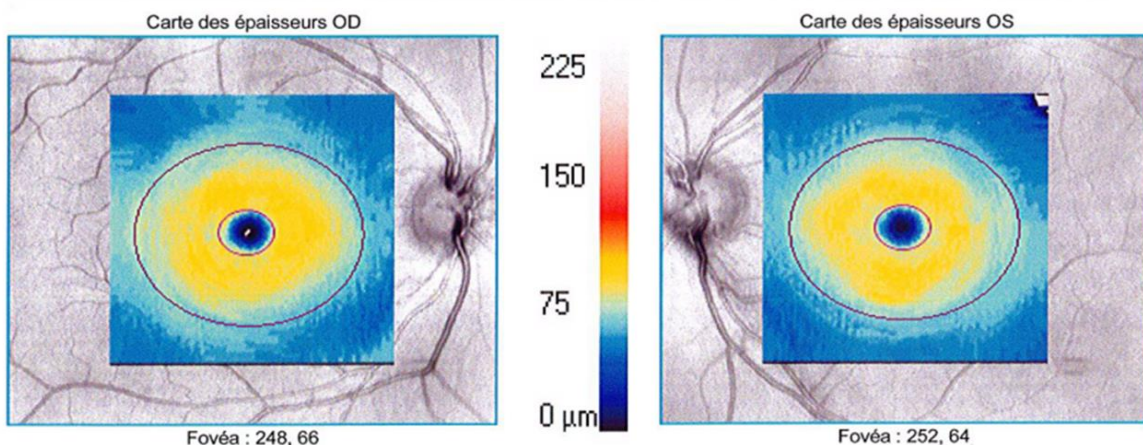
Date de naissance: Heure de l'examen: 16:41 16:46

Sexe: Féminin Numéro de série: 4000-8688 4000-8688

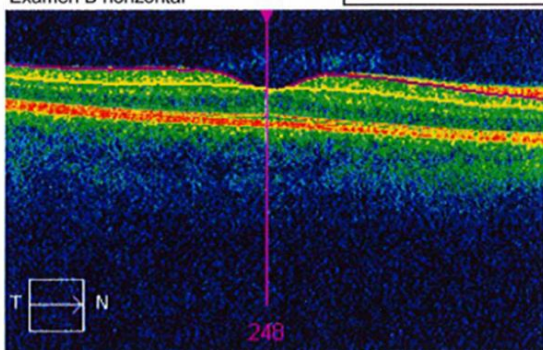
Médecin: Puissance du signal: 10/10 9/10


Analyse des cellules ganglionnaires : Macular Cube 512x128

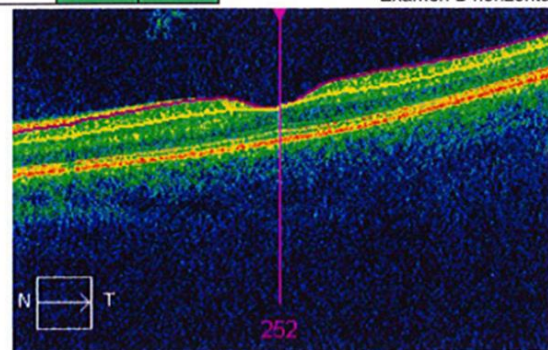
OD ● ● OS



Examen B horizontal



Examen B horizontal



Commentaires

Signature du médecin

Cirrus4000
 SW Ver: 6.0.2.81
 Copyright 2012
 Carl Zeiss Meditec, Inc
 All Rights Reserved
 Page 1 sur 1

Annexe II :

OCT papillaire d'un participant du groupe des entendants signeurs (étude 1)

Nom: OD OS

ID: CZMI804102174 Date d'examen: 30/11/2015 30/11/2015 OPHTALMO

Date de naissance: Heure de l'examen: 16:41 16:46

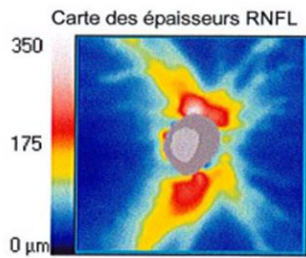
Sexe: Féminin Numéro de série: 4000-8688 4000-8688

Médecin: Puissance du signal: 9/10 9/10

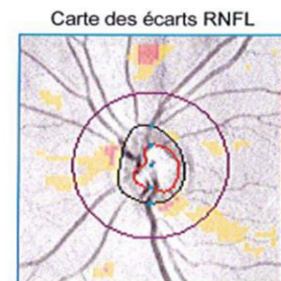
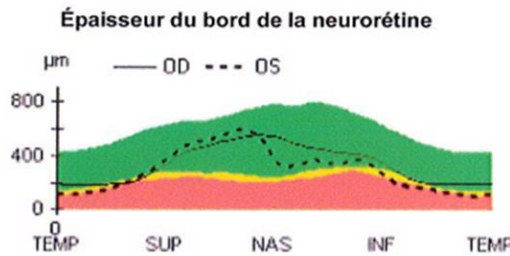
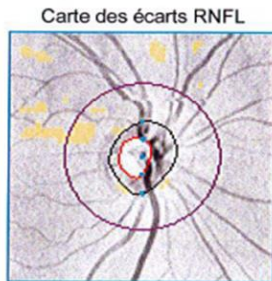
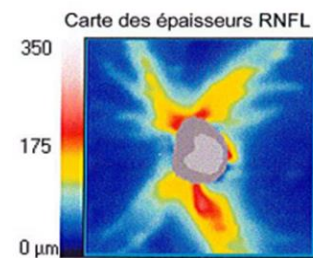


RNFL et ONH :Optic Disc Cube 200x200

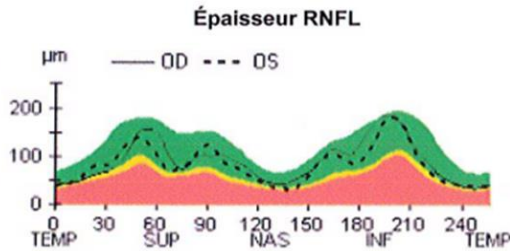
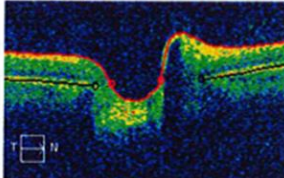
OD ● ● OS



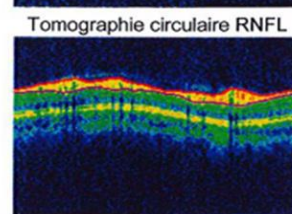
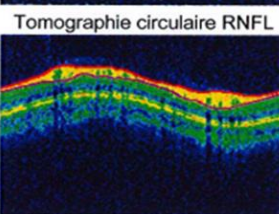
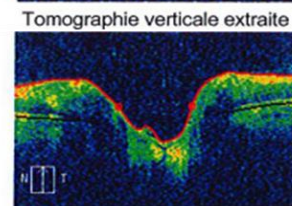
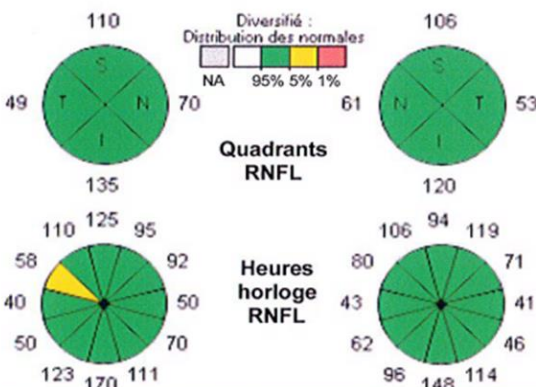
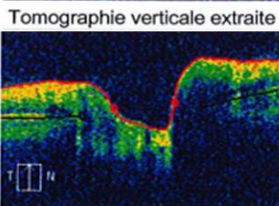
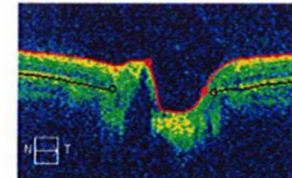
	OD	OS
Épaisseur moyenne de la RNFL	91 µm	85 µm
Symétrie RNFL	93%	
Aire de l'ANR	1,32 mm ²	1,31 mm ²
Aire du disque	1,88 mm ²	2,14 mm ²
Rapport C/D moyen	0,54	0,62
Rapport C/D vertical	0,58	0,60
Volume de l'excavation	0,180 mm ³	0,243 mm ³



Centre du disque(-0,03,0,06)mm
Tomographie horizontale extraite



Centre du disque(-0,06,-0,09)mm
Tomographie horizontale extraite



Commentaires

Signature du médecin

Cirrus4000
SW Ver: 6.0.2.81
Copyright 2012
Carl Zeiss Meditec, Inc
All Rights Reserved
Page 1 sur 1

Annexe III:

Comparaisons *post-hoc* par paire entre le CV supérieur et Inférieur selon l'excentricité visuelle. À chez les entendants non-signeurs ; B chez les sourds signeurs et C chez les entendants signeurs. Nb : le seuil de significativité corrigé est de $\alpha = 0.0056$. (étude 2, tâche de détection)

A. Entendants non-signeurs

	Diff.	ET. Diff.	N	<i>t</i>	ddl	<i>p</i>
15°	-0.001447	0.032104	18	-0.19118	17	0.850649
20°	-0.005823	0.028804	18	-0.85766	17	0.403010
25°	0.003495	0.024207	18	0.61262	17	0.548236
30°	0.009931	0.041398	18	1.01779	17	0.323043
35°	0.001391	0.026553	18	0.22221	17	0.826795
40°	0.024414	0.035810	18	2.89247	17	0.010123
45°	0.021497	0.024717	18	3.69001	17	0.001817
50°	0.019603	0.042683	18	1.94855	17	0.068051
53°	0.013363	0.030810	18	1.84005	17	0.083288

B. Sourds signeurs

	Diff.	ET. Diff.	N	<i>t</i>	ddl	<i>p</i>
15°	0.010001	0.031545	20	1.41779	19	0.172444
20°	0.003238	0.031481	20	0.46004	19	0.650710
25°	-0.004145	0.029963	20	-0.61874	19	0.543434
30°	0.005378	0.033475	20	0.71846	19	0.481219
35°	0.006345	0.034257	20	0.82835	19	0.417756
40°	0.013876	0.025472	20	2.43621	19	0.024856
45°	0.023413	0.032729	20	3.19916	19	0.004723
50°	0.017777	0.022784	20	3.48920	19	0.002455
53°	0.016368	0.038925	20	1.88055	19	0.075452

C. Entendants signeurs

	Diff.	ET. Diff.	N	<i>t</i>	ddl	<i>p</i>
15°	-0.008617	0.028703	15	-1.16276	14	0.264363
20°	0.011996	0.037326	15	1.24469	14	0.233681
25°	0.023508	0.026956	15	3.37758	14	0.004510
30°	0.007446	0.018025	15	1.59978	14	0.131964
35°	0.020692	0.025138	15	3.18803	14	0.006575
40°	0.019659	0.020595	15	3.69704	14	0.002391
45°	0.022270	0.031168	15	2.76741	14	0.015119
50°	0.022891	0.033143	15	2.67500	14	0.018122
53°	0.038274	0.031127	15	4.76228	14	0.000303

Annexe IV :

Estimation des effets fixes du modèle expliquant le mieux les données dans la tâche de détection de cibles (étude 2)

	Estimate	Std. Error	ddl	t	p
(Intercept)	1.92E+00	2.18E-03	5.40E+01	882.23	2.00E-16
Entendants signeurs	-2.55E-03	1.54E-03	5.40E+01	-1.657	0.103221
Sourds signeurs	9.86E-03	2.68E-03	5.40E+01	3.688	0.000526
Excentricité visuelle	2.50E-04	1.65E-05	1.16E+04	15.16	2.00E-16
Champ Visuel (CV)	-3.97E-03	4.17E-04	1.16E+04	-9.522	2.00E-16
Excentricité visuelle * CV	-2.17E-04	3.30E-05	1.16E+04	-6.566	5.38E-11
Langue des signes * CV	-3.72E-04	2.94E-04	1.16E+04	-1.265	0.206026
Surdité * CV	-1.25E-03	5.12E-04	1.16E+04	-2.434	0.014945

Annexe V : Estimation des effets fixes du modèle expliquant le mieux les données dans la tâche de discrimination de cibles (étude 3)

	Estimate	Std. Error	ddl	t	p
(Intercept)	6.19E+00	2.45E-02	6.20E+01	252.755	2.00E-16
Entendants signeurs	5.27E-02	3.51E-02	5.50E+01	1.5	0.1394
Sourds signeurs	-5.01E-02	3.32E-02	5.50E+01	-1.509	0.1371
Excentricité visuelle	4.70E-03	1.68E-04	8.45E+03	28.001	2.00E-16
Champ Visuel	-7.89E-03	6.28E-03	8.45E+03	-1.257	0.2087
Excentricité visuelle * CV	-1.36E-03	3.35E-04	8.45E+03	-4.061	4.93E-05
Langue des signes * CV	-2.16E-02	9.33E-03	8.45E+03	-2.319	0.0204
Surdité * CV	8.44E-03	8.78E-03	8.45E+03	0.961	0.3366

Annexe VI :Tableau de la BANOVA effectué sur le *threshold* (étude 3)

Model Comparison

Models	P(M)	P(M data)	BF _M	BF ₁₀	error %
Null model (incl. subject)	0.200	0.459	3.398	1.000	
CV	0.200	0.114	0.514	0.248	0.991
groupe	0.200	0.322	1.903	0.702	1.053
CV + groupe	0.200	0.080	0.346	0.174	1.771
CV + groupe + CV * groupe	0.200	0.025	0.102	0.054	1.925

Note. All models include subject.**Annexe VII:**Tableau de la BANOVA effectué sur le *drift-rate* (étude 3)

Model Comparison

Models	P(M)	P(M data)	BF _M	BF ₁₀	error %
Null model (incl. subject)	0.200	2.382e-4	9.531e-4	1.000	
CV	0.200	0.330	1.969	1384.881	1.103
groupe	0.200	1.113e-4	4.452e-4	0.467	2.299
CV + groupe	0.200	0.180	0.880	756.935	2.767
CV + groupe + CV * groupe	0.200	0.489	3.834	2054.320	3.220

Note. All models include subject.**Annexe VIII:**Tableau de la BANOVA effectué sur le *non-decision time* (étude 3)

Model Comparison

Models	P(M)	P(M data)	BF _M	BF ₁₀	error %
Null model (incl. subject)	0.200	0.228	1.183	1.000	
CV	0.200	0.049	0.204	0.213	2.178
groupe	0.200	0.492	3.872	2.155	2.179
CV + groupe	0.200	0.105	0.470	0.460	2.000
CV + groupe + CV * groupe	0.200	0.126	0.577	0.552	3.108

Note. All models include subject.

Annexe IX :

Comparaisons *post-hoc* des seuils d'intensité émotionnelle pour chaque expression dans l'étude *e-morph* (étude 6)

		Diff. Moyenne	Err. Stand.	<i>t</i>	<i>p</i> tukey
Peur	Colère	0.433	0.033	13.089	< .001
	Dégoût	0.41	0.033	12.41	< .001
	Joie	0.703	0.033	21.27	< .001
	Tristesse	0.535	0.033	16.191	< .001
	Surprise	0.387	0.033	11.719	< .001
Colère	Dégoût	-0.022	0.033	-0.679	0.984
	Joie	0.27	0.033	8.181	< .001
	Tristesse	0.103	0.033	3.103	0.025
	Surprise	-0.045	0.033	-1.37	0.745
Dégoût	Joie	0.293	0.033	8.86	< .001
	Tristesse	0.125	0.033	3.781	0.002
	Surprise	-0.023	0.033	-0.691	0.983
Joie	Tristesse	-0.168	0.033	-5.079	< .001
	Surprise	-0.316	0.033	-9.551	< .001
Tristesse	Surprise	-0.148	0.033	-4.472	< .001

Annexe X :

Comparaisons *post-hoc* des seuils de qualité de signal pour chaque expression dans l'étude *e-noise* (étude 6)

		Diff. Moyenne	Err. Stand.	<i>t</i>	<i>p</i> tukey
Peur	Colère	0.492	0.026	19.175	< .001
	Dégoût	0.412	0.026	16.079	< .001
	Joie	0.816	0.026	31.819	< .001
	Tristesse	0.474	0.026	18.492	< .001
	Surprise	0.647	0.026	25.215	< .001
Colère	Dégoût	-0.079	0.026	-3.096	0.025
	Joie	0.324	0.026	12.644	< .001
	Tristesse	-0.018	0.026	-0.683	0.984
	Surprise	0.155	0.026	6.041	< .001
Dégoût	Joie	0.404	0.026	15.74	< .001
	Tristesse	0.062	0.026	2.413	0.154
	Surprise	0.234	0.026	9.136	< .001
Joie	Tristesse	-0.342	0.026	-13.327	< .001
	Surprise	-0.169	0.026	-6.604	< .001
Tristesse	Surprise	0.172	0.026	6.723	< .001

