

Un lien entre la parole et la vue : l'anatomie connexionnelle de la synesthésie des sous-titres

Romain Delsanti ^{1,2*}, Fabien Hauw ^{2,3}, Romain Lahbari ², Florence Bouhali ⁴, Laurent Cohen ^{2,3}

(1) CHU de Caen, Caen 14000, Normandie, France ; (2) Inserm U 1127, CNRS UMR 7225, Sorbonne Universités, Institut du Cerveau, ICM, Paris 75013, France ; (3) AP-HP, Hôpital de La Pitié Salpêtrière, Fédération de Neurologie, Paris 75013, France ; (4) Aix Marseille Univ, CNRS, CRPN, Marseille 13003, France

INTRODUCTION

La synesthésie des sous-titres (ou ticker-tape synesthesia, TTS) est un phénomène neurodéveloppemental atypique et peu étudié au cours duquel des individus visualisent clairement et automatiquement dans leur esprit les mots sous forme écrite lorsqu'ils les entendent [1].

Des études menées en imagerie par résonance magnétique (IRM) fonctionnelle [2] ont révélé que ce phénomène corrélait avec une suractivation et une hyper-connectivité fonctionnelle des principales régions du système de lecture de l'hémisphère gauche (Fig. 1), au titre desquels les gyri temporal supérieur et supramarginal (GTS/GSM) où la parole est traitée et interfacée avec la vision [3], et l'aire de la forme visuelle des mots (VWFA) au sein du gyrus fusiforme gauche, qui sous-tend les représentations orthographiques [4].

Hypothèse : TTS sous-tendue par une hyper-connectivité anatomique entre les régions cérébrales impliquées dans le traitement phonologique et orthographique de la parole

METHODES

Nous avons recruté 17 sujets TTS et 17 contrôles appariés sur l'âge, le sexe et le niveau d'étude. Des données d'imagerie en IRM de diffusion ont été collectées pour les analyses de connectivité structurelle.

Notre principale prédiction était que le segment postérieur du faisceau arqué (pAF) gauche, qui relie le GTS/GSM à la VWFA, montrerait une connectivité accrue chez les synesthètes.

Nous avons reconstruit par tractographie le pAF gauche chez tous nos participants, que nous avons moyenné pour obtenir un masque commun du pAF. Nous avons ensuite comparé la densité de fibres du pAF entre les groupes au sein de ce masque commun.

Nous avons également reconstruit les autres faisceaux de substance blanche impliqués dans la lecture : segment long du faisceau arqué, faisceau fronto-occipital inférieur, faisceau longitudinal inférieur et faisceau unciné.

La reconstruction des faisceaux en tractographie probabiliste a été réalisée à l'aide de la commande XTRACT sur FSL. Les analyses ont été réalisées par des tests de permutation et corrigés pour comparaisons multiples par TFCE pour un $p < 0.05$.

RESULTATS

Nos analyses ont révélé une augmentation significative de la densité de fibres chez les synesthètes au sein du pAF gauche en regard du GSM [$p < 0.05$ corrigé par TFCE] (Fig. 2).

L'analyse des projections anatomiques modélisées à partir de cette région en tractographie a également montré une augmentation de la densité de fibres chez les synesthètes en regard des portions moyenne et postérieure du GTS gauche [$p < 0.05$ corrigé par TFCE] (Fig. 3).

Aucune différence de densité de fibres n'a été retrouvée entre les groupes dans les autres faisceaux de substance blanche analysés.

FIGURES

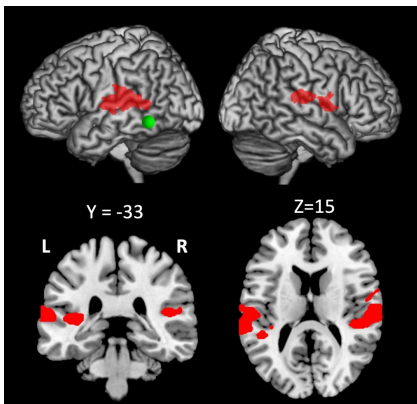


Figure 1 : régions GTS/GSM (rouge) présentant une connectivité fonctionnelle augmentée avec la VWFA (vert) durant l'écoute de la parole chez les TTS par rapport aux contrôles.

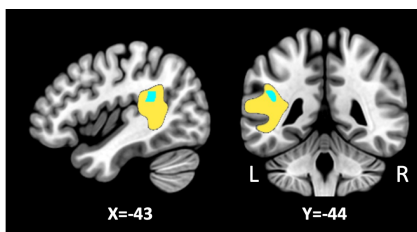


Figure 2 : région de substance blanche en regard du GSM (cyan) dans laquelle la densité de fibres était plus élevée chez les TTS que chez les contrôles, superposée au masque du pAF (jaune).

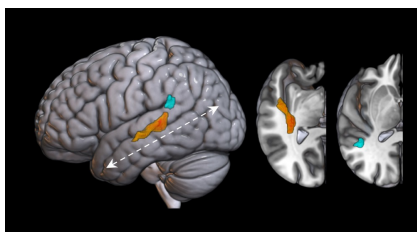


Figure 3 : régions de substance blanche où la densité de fibres est plus élevée chez les synesthètes que chez les contrôles, en regard du GSM (cyan) et du GTS (orange).

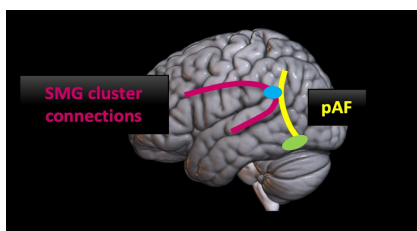


Figure 4 : représentations schématiques des connexions anatomiques du cluster GSM (pourpre) et du pAF (jaune) qui ont montré une augmentation de densité de fibres chez les TTS par rapport aux contrôles. Visualisation des rapports anatomiques du pAF avec la VWFA (vert) et le cluster GSM (cyan).

DISCUSSION

Nos résultats soutiennent l'hypothèse d'une augmentation de connectivité anatomique entre régions cérébrales impliquées dans les processus de lecture chez les synesthètes, plus particulièrement :

1. Dans le segment postérieur du faisceau arqué gauche, reliant la partie postérieure du GTS et le GSM à la VWFA ;
2. Dans les projections anatomiques des régions temporo-pariétales gauches vers le cortex temporal supérieur gauche.

Les structures présentant une augmentation de connectivité anatomique chez les TTS et leurs rapports sont représentées de façon schématique dans la Fig. 4.

L'absence de différence retrouvée sur les autres faisceaux impliqués dans la lecture souligne la sélectivité de nos résultats pour le segment postérieur du faisceau arqué, dont le rôle spécifique dans l'alphabétisation a déjà été démontré [5].

L'hyper-connectivité structurelle retrouvée chez les TTS pourrait correspondre au corrélat anatomique de l'hyper-connectivité fonctionnelle mise en évidence chez les TTS entre la VWFA et le GSM/GTS [2].

Cette hyper-connectivité anatomique pourrait sous-tendre l'influence descendante des représentations phonologiques (encodées dans les régions temporo-pariétales) sur les représentations orthographiques (encodées dans la VWFA), donnant lieu à la phénoménologie de la TTS.

Le profil connexionnel de la TTS semble opposé à celui de la dyslexie de développement, associée à une hypo-connectivité fonctionnelle et structurelle des aires phonologiques et orthographiques [6].

PERSPECTIVES

Cette étude suggère des parallèles potentiels avec la dyslexie de développement où des altérations de connectivité sont associées à des difficultés d'acquisition de la lecture.

L'interprétation causale de nos résultats doit se faire avec prudence. Néanmoins, ces derniers permettent d'approfondir nos connaissances du système cérébral de lecture et montrent qu'une configuration anatomique atypique de ce système peut aussi bien être préjudiciable (e.g. dyslexie) ou entraîner un gain potentiel de fonction comme dans la TTS.

REFERENCES

- [1] S. Holm et al., How uncommon is tickertaping? Prevalence and characteristics of seeing the words you hear. *Cogn Neurosci* 6, 89–99 (2015).
- [2] Hauw F et al., Subtitled speech: the neural mechanisms of ticker-tape synesthesia. *Brain*. 2024 Apr 15;awae114.
- [3] J. S. H. Taylor et al., Can cognitive models explain brain activation during word and pseudoword reading? A meta-analysis of 36 neuroimaging studies. *Psychol Bull* 139, 766–791 (2013).
- [4] L. Cohen et al., The visual word form area: spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain* 123, 291–307 (2000).
- [5] M. Thiebaut de Schotten et al., Learning to read improves the structure of the arcuate fasciculus. *Cereb Cortex* 24, 989–1005 (2014).
- [6] F. Ramus et al., Neuroanatomy of developmental dyslexia: Pitfalls and promise. *Neurosci Biobehav Rev* 84, 434–452 (2018).

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le programme « Investissements d'avenir » (ANR-10-IAHU-06) à l'Institut du Cerveau de Paris, et par le programme ANR « TOPEX » à Laurent Cohen.