

Université de Montréal

Les corrélats comportementaux et neurofonctionnels de la  
thérapie par analyse des composantes phonologiques

*Par*

Michèle Masson-Trottier

École d'orthophonie et d'audiologie, Faculté de Médecine

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de doctorat  
en Sciences de l'orthophonie

Mars 2023

© Michèle Masson-Trottier, 2023

Université de Montréal

Unité académique : École d'orthophonie et d'audiologie, Faculté de Médecine

---

*Cette thèse intitulée*

**Les corrélats comportementaux et neurofonctionnels de la  
thérapie par analyse des composantes phonologiques :**  
*L'effet d'une intervention spécifique ciblant l'anomie auprès de  
personnes vivant avec une aphasie chronique*

*Présentée par*

**Michèle Masson-Trottier**

*A été évaluée par un jury composé des personnes suivantes*

**Ingrid Verduyckt**

Présidente-rapporteure

**Ana Inés Ansaldo**

Directrice de recherche

**Simona Maria Brambati**

Membre du jury

**Marina Laganaro**

Examinatrice externe

## Résumé

L'aphasie est un trouble acquis du langage qui cause des difficultés de communication pouvant affecter la compréhension et l'expression. Lorsque l'aphasie survient par suite d'un accident vasculaire cérébral, des difficultés importantes de communication sont initialement constatées, puis une amélioration graduelle dans les semaines et les mois qui suivent. Toutefois, pour certaines personnes, l'aphasie peut rester sévère un an, l'aphasie est alors considérée comme chronique. L'une des manifestations les plus courantes de l'aphasie est l'anomie - un manque de mots. Un nombre croissant d'études se penchent sur l'impact de la thérapie sur l'aphasie chronique et ont montré une amélioration du langage après plusieurs années. Des thérapies sont développées et étudiées en anglais, mais peu d'écrits scientifiques décrivent les effets des thérapies spécifiques et formalisées en français.

Le but du présent travail doctoral est d'examiner les effets comportementaux et d'explorer les substrats neurologiques du protocole Analyse des Composantes Phonologiques (ACP) ainsi que l'influence des facteurs individuels sur les gains chez dix-huit personnes vivant avec une aphasie chronique. Ainsi, la thèse comporte trois articles qui abordent, chacun, des facettes différentes des effets de l'ACP. Dans le premier article, les effets comportementaux de l'ACP sont explorés ainsi que le rôle des facteurs individuels sur la réponse à l'intervention. Le deuxième considère l'effet de l'ACP sur la connectivité fonctionnelle du cerveau, tout en considérant l'effet des facteurs individuels. Enfin, le troisième article s'intéresse à la réponse par suite de l'intervention ACP en considérant les facteurs individuels du bilinguisme et des caractéristiques neuroanatomiques comme la localisation des lésions et l'épaisseur corticale.

L'ensemble de résultats démontre une amélioration significative de la dénomination des noms parmi les dix-huit participant-e-s inclus-e-s. Par ailleurs, cette amélioration a été mesurée sur des mots non-traités, ce qui reflète un effet de généralisation. Par surcroit, cette amélioration se maintient à trois mois et six mois après la fin de l'intervention. L'âge, la sévérité de l'anomie et la présence d'une apraxie de la parole sévère influencent les gains mesurés. Les analyses neurofonctionnelles de connectivité fonctionnelle au repos auprès de dix participant-e-s

montrent une meilleure intégration des réseaux visuels et langagiers, associés lors d'une tâche de dénomination des noms. Les changements de connectivité observés dépendent de la sévérité de l'aphasie. Plus spécifiquement, l'intégration interhémisphérique et au sein de l'hémisphère droit est plus importante chez les personnes ayant une aphasie plus légère. Finalement, être bilingue influence aussi les gains observés par suite du protocole Analyse des Composantes Phonologiques. Les personnes bilingues s'améliorent davantage, cet avantage est associé une épaisseur corticale supérieure dans l'hémisphère droit comparativement aux personnes monolingues. Ces données préliminaires suggèrent que les changements comportementaux observés résultent de la combinaison des composantes phonologiques et orthographiques de l'intervention, et que l'intervention requiert et entraîne les fonctions exécutives.

Les données cueillies dans le cadre de cette thèse sont prometteuses en ce qui concerne les effets bénéfiques de l'Analyse des Composantes Phonologiques en français. Plus précisément, les gains mesurés auprès d'un échantillon présentant des symptômes variés, la généralisation et le maintien supportent l'utilisation de ce protocole d'intervention auprès de personnes francophones. Il est à noter que la taille du groupe étudié est modeste, mais les méthodologies complémentaires et la convergence des résultats avec les données existantes dans les écrits scientifiques et à travers les méthodes d'étude de cette thèse (niveaux comportemental et neurofonctionnel) justifient des études subséquentes pour mieux comprendre les mécanismes d'action et l'influence des facteurs individuels sur les gains.

**Mots-clés** : aphasie chronique, intervention en orthophonie, plasticité cérébrale, neuroplasticité, imagerie par résonance magnétique, connectivité fonctionnelle.

## Abstract

Aphasia is an acquired language disorder that causes communication difficulties that can affect understanding and expression. When aphasia occurs following a stroke, significant communication difficulties are initially noted, followed by gradual improvement over the following weeks and months. However, for some people, the aphasia may remain severe after a year even when recovery has been seen, in which case the aphasia is considered chronic. One of the most common symptoms in aphasia is anomia - a difficulty finding and saying words. A growing number of studies are looking at the impact of speech and language therapy on chronic aphasia and have shown improvement in language after several years. Therapies are developed and studied in English, but little scientific literature describes the effects of specific, formalized therapies in French.

The purpose of the present doctoral work is to examine the behavioural effects and to explore the neurological substrates of the Phonological Component Analysis (PCA) protocol as well as the influence of individual factors on gains in 18 adults living with chronic aphasia. Thus, the dissertation consists of three articles, each of which addresses different facets of the effects of PCA. In the first article, the behavioural effects of PCA are explored as well as the role of individual factors on the response to the intervention. The second considers the effect of PCA on resting-state functional brain connectivity, while considering the effect of individual factors. Finally, the third paper looks at the response to the PCA intervention by considering the individual factors of bilingualism and neuroanatomical characteristics associated such as cortical thickness, and also lesion location.

The overall results show a significant improvement in naming among the eighteen participants included in the thesis. Moreover, this improvement was measured on untreated words, which reflects a generalization effect and was maintained at three and six months after the end of the intervention. Age, severity of impairment and the presence of severe apraxia of speech influenced the measured gains. Neurofunctional analyses of resting-state functional connectivity in ten participants showed improved integration of the visual and language

networks, associated during a naming task. The connectivity changes observed depend on the severity of the aphasia. More specifically, interhemispheric and right hemisphere integration is greater in individuals with milder aphasia. Finally, being bilingual also influences the gains observed following the Phonological Component Analysis protocol. Bilinguals improved more, and this advantage was associated with greater cortical thickness in frontal regions of the right hemisphere compared to monolinguals. These preliminary data suggest that the observed behavioural changes result from the combination of the phonological and orthographic components of the intervention, and that the intervention requires and trains executive functions.

The data collected in this thesis show promise for the beneficial effects of Phonological Component Analysis in French. Specifically, the gains, generalization, and maintenance measured in a sample of adults living with aphasia displaying varied symptoms support the use of this intervention protocol with French speakers. It should be noted that the size of the study group is modest, but the complementary methodologies and the convergence of the results with existing data in the scientific literature and through the study methods of this thesis (behavioural and neurofunctional levels) justify subsequent studies to better understand the mechanisms of action and the influence of individual factors on gains.

**Keywords** : chronic aphasia, speech and language therapy, brain plasticity, neuroplasticity, magnetic resonance imaging, functional connectivity.

# Table des matières

Résumé.....	3
Abstract .....	5
Table des matières .....	7
Liste des tableaux.....	11
Liste des figures.....	14
Liste des sigles et abréviations.....	16
Remerciements .....	21
Avant-propos.....	23
Chapitre 1 – Introduction.....	26
1.1    Substrats neurofonctionnels du langage .....	26
1.1.1    Modèle à double boucle pour le traitement du langage .....	29
1.1.2    Modèles théoriques de la dénomination.....	33
1.2    Aphasie .....	44
1.2.1    Définition et étiologie .....	44
1.2.2    Récupération .....	46
1.2.3    Sémiologie et classification .....	50
1.2.4    Qualité de vie .....	56
1.3    Interventions en orthophonie.....	59
1.3.1    Plasticité cérébrale, apprentissage, et les principes qui les régissent.....	60
1.3.2    Facteurs intrinsèques influençant la réponse à la thérapie.....	71
1.3.3    Facteurs extrinsèques influençant la réponse à la thérapie.....	79
Chapitre 2 – Présentation du projet de thèse .....	90

2.1	Position du problème .....	90
2.1.1	Lacunes dans les écrits scientifiques.....	92
2.2	Objectifs .....	93
2.3	Méthodologie.....	94
2.3.1	Approche méthodologique .....	94
2.3.2	Participant·e·s.....	95
2.3.3	Matériel d'intervention.....	97
2.4	Protocole de recherche.....	100
2.4.1	Évaluations et objectifs .....	101
2.4.2	Préparation et déroulement de l'acquisition en IRM .....	103
2.4.3	Protocole Analyse des composantes phonologiques .....	106
2.5	Plan d'analyses .....	109
Chapitre 3 – Premier article.....		110
	Highlights.....	111
	Abstract .....	112
	1. Introduction.....	113
	2. Materials and Methods.....	120
	3. Results .....	128
	4. Discussion .....	136
	References.....	141
Chapitre 4 – Deuxième article .....		156
	Abstract .....	157
	1. Introduction.....	158
	2. Materials and Methods.....	161



3. Results .....	167
4. Discussion .....	169
References.....	177
Chapitre 5 – Troisième article.....	185
Abstract .....	186
Manuscript Contribution to the Field .....	187
1. Introduction.....	188
2. Method .....	193
3 Results .....	204
4. Discussion .....	223
References.....	235
Chapitre 6 – Discussion .....	253
6.1 Rappel des objectifs et synthèse des principaux résultats .....	253
6.1.1 L’ACP, une intervention cognitivement exigeante.....	258
6.1.2 De composantes phonologiques à indices orthographiques – ingrédient-clé de l’ACP .....	262
6.1.3 L’ACP sous la lunette de la neuroplasticité induite par la thérapie .....	265
6.1.4 L’ACP sous la lunette des théories de l’apprentissage appliquées à la réadaptation en aphasie .....	271
6.2 Forces de cette thèse .....	272
6.2.1 Pistes pour des recherches futures.....	273
6.3 Défis rencontrés (et comment ils ont été surmontés).....	276
6.3.1 Recrutement des participants.....	276
6.3.2 Passation d’un examen par IRM pour les personnes vivant avec une aphasie ...	278

6.3.3	Rehaussement de l'équipement à l'UNF.....	279
6.3.4	Pandémie de COVID-19.....	279
6.3.5	Limites de l'étude.....	280
Chapitre 7 – Conclusion .....		282
Références bibliographiques.....		283
Annexes .....		316
Annexe 1	Description méthodologique des analyses de neuroimagerie .....	317
	Imagerie structurelle .....	317
	Imagerie fonctionnelle .....	318
Annexe 2	Formulaire d'information de et consentement .....	323
Annexe 3	Livret informatif en préparation à l'évaluation en IRM .....	329

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b>	<i>Principes favorisant la neuroplasticité des réseaux langagiers en interventions avec les personnes vivant avec une aphasie post-AVC selon Kiran et Thompson (2019) [traduction libre] .....</i>	61
<b>Tableau 2</b>	<i>Modalités optimales d'intervention en orthophonie en fonction de la composante langagière ciblée selon la méta-analyse de Release Collaborators (2022).....</i>	88
<b>Tableau 3</b>	<i>Répartition des participant-e-s dans les trois études .....</i>	97
<b>Tableau 4</b>	<i>Ensemble des tâches d'évaluation effectuées les des évaluations comportementales .....</i>	102
<b>Article 1</b>		
<b>Tableau 1</b>	<i>Summary of published papers studying the effectiveness of PCA.....</i>	116
<b>Tableau 2</b>	<i>Sociodemographic and clinical information for the 18 participants included in the study .....</i>	122
<b>Tableau 3</b>	<i>Individual pre-therapy scores on selected language and cognitive assessment tests .....</i>	125
<b>Tableau 4</b>	<i>Distribution of participants according to score variation on treated items and untreated items at each assessment point. Both absolute number and percentage of the group are shown. ....</i>	128
<b>Tableau 5</b>	<i>Distribution of participants according to score variation on standardised tests at each assessment point. Both absolute number and percentage of the group are shown. ....</i>	129
<b>Tableau 6</b>	<i>Results from the GLMM analysis of treatment effects. ....</i>	130
<b>Tableau 7</b>	<i>Post-hoc analysis for mixed model interaction .....</i>	131
<b>Tableau 8</b>	<i>Model building steps to verify the influence of clinical data on the model robustness. ....</i>	133
<b>Tableau 9</b>	<i>Results from the LMM analysis of treatment effects on standardised tests. ....</i>	135
<b>Article 2</b>		
<b>Tableau 1</b>	<i>Sociodemographic and clinical data for the participants. ....</i>	161

**Tableau 2** *Functional connectivity changes following Fr-PCA therapy.* .....168

**Tableau 3** *Functional connectivity changes following Fr-PCA therapy with initial aphasia severity as a regressor.* .....168

**Tableau 4** *Appendix A. Standardized language test scores at T0 and T1 for all participants ....*  
.....176

**Article 3**

**Tableau 1** *Demographic information, clinical data, and standardized neuropsychological background test scores of participants with aphasia.* .....195

**Tableau 2** *Individual scores on Language Experience and Proficiency Questionnaire (LEAP-Q) for all participants* .....196

**Tableau 3** *Case-study result summary: Evidence of acquisition and within-level generalization comparing baseline and treatment performance phases.* .....206

**Tableau 4** *Pre-therapy, post-therapy and variation of z-scores for all participants, exact sign test results testing the statistical difference between pre- and post-therapy for within-level generalization (TDQ60) and across-level generalization (DVL38, Verbal fluency, Repetition, oral comprehension, Cinderella story (MC)) and the Mann–Whitney U test results testing for statistical difference between groups’ variation scores.*.....213

**Tableau 5** *Pre-therapy and post-therapy Flanker task outcome measure performances, exact sign test results testing the statistical difference between pre- and post-therapy, and Mann Whitney U testing if groups significantly differ post-therapy.* .....217

**Tableau 6** *Significant correlations between damaged voxels within ROI and pre-therapy standardized language scores and cognitive control performance outcomes.* .....219

**Tableau 7** *Significant correlations between damaged voxels within ROI and variation scores .*  
.....221

**Tableau 8** *Right hemisphere cortical thickness with significant group difference between monolingual and bilingual participants with aphasia*.....221

**Tableau 9** *Significant correlations between cortical thickness in right hemisphere ROIs and pre-therapy cognitive control task outcomes* .....223

**Tableau 10** Appendix A. Comparative statistics (Mann-Whitney U test) between groups for sociodemographic factors and pretherapy assessment scores .....249

**Tableau 11** Appendix B: Number of participants with damage to each ROIs, number of voxels damaged in each ROI per participant and Mann-Whitney statistical results testing for a difference between groups for the ROIs identified in the subset for correlation analysis (in bold)...  
.....250

## Liste des figures

<b>Figure 1</b>	<i>Schéma du modèle à double boucle du traitement du langage.</i> .....	30
<b>Figure 2</b>	<i>Comparaison des modèles à étapes séquentielles et à activation interactive de production de mots.</i> .....	35
<b>Figure 3</b>	<i>Adaptation française de la classification de Helm-Estabrooks et Albert (2004) permettant de classifier les aphasies selon les critères d'anomie, fluence, compréhension et de répétition incluant le profil typique de lésions associées.</i> .....	52
<b>Figure 4</b>	<i>Modèle Living with Aphasia: Framework for Outcome Measurement (A-FROM) (Kagan, 2011) [adaptation et traduction libre]</i> .....	58
<b>Figure 5</b>	<i>Les mécanismes d'action proposés qui supportent les apprentissages dans les interventions ciblant l'anomie et leurs liens avec les différentes familles d'intervention et leurs ingrédients actifs.</i> .....	69
<b>Figure 6</b>	<i>Exemple des niveaux de généralisation selon Webster et al. (2015) pour une intervention ciblant l'anomie des noms.</i> .....	71
<b>Figure 7</b>	<i>Déroulement des protocoles d'intervention par a. Analyse des traits sémantiques (ATS) et par b. Analyse des composantes phonologiques (ACP).</i> .....	82
<b>Figure 8</b>	<i>Déroulement du projet de recherche</i> .....	101
<b>Figure 9</b>	<i>Exemple de tableau d'intervention ACP</i> .....	108
<b>Article 1</b>		
<b>Figure 1</b>	<i>Protocol procedure</i> .....	126
<b>Figure 2</b>	<i>Mean accuracy for treated and untreated items at each assessment time.</i> .....	131
<b>Article 2</b>		
<b>Figure 1</b>	<i>Participant's lesion distribution in a glass brain. Color coding reflects the number of patients (1–7) with lesion overlap.</i> .....	162
<b>Figure 2</b>	<i>Picture-naming performance on trained and untrained items pre-therapy and post-therapy.</i> .....	167

**Figure 3** *Supplementary material. Registration quality comparison for each subject showing co-registered image overlapped to EPI template.....184*

**Article 2**

**Figure 1** *Lesion overlay plot: on the upper section, lesion size for all bilingual participants with aphasia. On the lower section, lesion size averaged for all monolingual participants with aphasia. ....194*

**Figure 2** *Picture-naming probe results. Repeated probe data for all participants. Graphs reflect percent accurate production for treated items at baseline assessments, each therapy session, and post-treatment assessment.  $M_B$  refers to mean accuracy of baseline assessments,  $M_T$  refers to mean accuracy of therapy sessions,  $P$  refers to accuracy at post-therapy assessment. ....208*

**Figure 3** *Accuracy rate for each participant for treated and untreated items at each picture-naming probe.  $Trtd$  = treated items (20) and  $untrtd$  = untreated items (40). ....212*

## Liste des sigles et abréviations

AAE : apprentissage avec erreur

ACP: Analyse des Composantes Phonologiques

AF : *arcuate fasciculus*

A-FROM : *Aphasia: Framework for Outcome Measurement*

ALFF : *amplitudes of low-frequency fluctuations*

APA : American Psychological Association

APAL : Association des Personnes Aphasiques de Laval

APAS : Association des Personnes Aphasiques de Saguenay

APP : Aphasie primaire progressive

AQPA : Association Québécoise des Personnes Aphasiques

ASE : l'apprentissage sans erreur

ATL: *Anterior temporal lobe*

ATS : Analyse des Traits Sémantiques

AVC : Accident vasculaire cérébral

BA : aires de Brodman

BOLD : *blood oxygen level dependent*

BOSS : Bank of Standardized Stimuli

BORB : Birmingham Object Recognition Battery

CASP : *Cognitive Assessment scale for Stroke Patients*

CETI : *Communicative Effectiveness Index*



CIF : Classification International du Fonctionnement

CIUSSS : Centre Intégré Universitaire de Santé et Services Sociaux

CMER-RNQ : Comité mixte d'éthique de la recherche du Regroupement Neuroimagerie Québec

CRLB : Centre de réadaptation Lucie-Bruneau

CRUNCH : *compensation-related utilization of neural circuits hypothesis*

CSMTL : Centre-Sud de-l'Ile-de-Montréal

CF : connectivité fonctionnelle

CF-r : connectivité fonctionnelle au repos

CT : *computed tomography*

DEUR : Direction de l'enseignement et de la recherche

DFT : démences frontotemporales

DMN : *default-mode network*

DVL-38 : Dénomination de verbes lexicaux en images

DWI : *diffusion-weighted images*

EEG : électroencéphalographie

ECM : *eigenvector centrality mapping*

GLMM : *Generalized Linear Mixed Models*

HAROLD : pour *hemispheric asymmetry reduction in older age*

ICA : *independent component analysis*

IFG : *inferior frontal gyrus*

IFOF : *inferior fronto-occipital fasciculus*

ILF : *inferior longitudinal fasciculus*

IRM : imagerie par résonance magnétique

IRMf : imagerie résonance magnétique fonctionnelle

IRMf-ev : imagerie résonance magnétique fonctionnelle évènementielle

IRMf-r : imagerie résonance magnétique fonctionnelle de repos

IRGLM : Institut de réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal

ISI : intervalle inter-stimuli

ITG : *Inferior temporal gyrus*

ITS : *inferior temporal sulcus*

LIPL : *left inferior parietal lobule*

MCA : *middle cerebral artery*

MDH-PPH : Modèle de développement humain – Processus de production du handicap

mdLF : *middle longitudinal fascicle*

MoCA : Montreal Cognitive Assessment

MT-86 : Protocole Montréal-Toulouse

MEG : magnétoencéphalographie

MTG : *Middle temporal gyrus*

NIBS : *non-invasive brain stimulation*

NPDE : neuroplasticité dépendante de l'expérience

PCA : Phonological component analysis

PET : *positron emission tomography*

PM : prémoteur

PR : pratique de rappel

RAPAQ : Regroupement des Associations de Personnes Aphasiques du Québec

RIA : *Restricted Interaction Account*

RTSS : *rehabilitation treatment specification system*

SCA : *seed-based correlation analysis*

SLF: *superior longitudinal fasciculus*

SMG : supramarginal gyrus

SPIR : spectroscopie dans l'infrarouge proche

STG : *superior temporal gyrus*

STS : *superior temporal sulcus*

TCC : traumatisme crânio-cérébral

tDCS : *transcranial direct current stimulation*

TDQ-60 : Test de Dénomination de Québec

TMS : *transcranial magnetic stimulation*

TMT : *Trail Making Test*

TPS : *time post onset*

UF : *uncinate fasciculus*

UNF : Unité de neuroimagerie fonctionnelle

URFI : unité de réadaptation fonctionnelle intensive

VLSM : *voxel-based lesion-symptom mapping*

ZPD : zone proximale de développement



## Remerciements

En repensant à mon parcours doctoral, il y a tant de personnes à qui j'aimerais dire merci et souligner l'importance qu'elles ont eue dans la réussite de ce projet. Certaines personnes se trouvaient là, sur le chemin à suivre, et m'ont accompagnée brillamment. D'autres ont été des rencontres fortuites et ont ajouté une touche de bonheur au quotidien.

D'abord, j'aimerais remercier ma directrice de thèse, Ana Inés. Ana Inés, vous m'avez d'abord accueillie comme orthophoniste de recherche, puis m'avez encouragée à faire le saut vers le doctorat, j'en serai toujours reconnaissante. Vous avez su alimenter ma soif de projets en m'invitant notamment à collaborer sur le projet COMPAs, et m'avez toujours encouragé dans mes diverses implications académiques et institutionnelles qui se présentaient à moi sans me retenir. Nous travaillons ensemble depuis maintenant près de 10 ans et j'ai tant appris, merci pour vos conseils, votre disponibilité et votre enthousiasme. J'espère que, malgré la fin de cette aventure, suivront de nouvelles collaborations enrichissantes ensemble. Merci aussi à ma directrice de maîtrise, Karine Marcotte qui m'aura dirigée vers Ana Inés à la fin de ma maîtrise et qui sera restée une source constante de conseils et guidance. Et merci à mon jury qui a démontré une rigueur scientifique en offrant des commentaires judicieux et aussi une compréhension humaine dans ma situation particulière aux échéances serrées.

J'aimerais également prendre un moment pour remercier tous-tes les participant-e-s et leurs proches que j'ai eu la chance de côtoyer. Sans vous, votre temps et votre énergie, ce projet n'aurait pas été possible. Merci pour les rencontres riches, vous êtes une source d'inspiration.

J'aimerais remercier mes collègues de laboratoire qui sont devenu-e-s des ami-e-s inestimables, tant par les moments d'entraide que pour ceux de plaisir. Tanya et Pierre, merci pour les journées de travail partagées et pour les soirées de camaraderies. Un merci tout spécial à Edith, présente dès les premiers instants de mon parcours, et à son mari Guillaume. Edith, je m'estime tellement chanceuse de t'avoir eu à mes côtés pour partager les réussites et surmonter les défis tout au long de ce parcours. Tu es une femme incroyable, un modèle pour moi au quotidien, et une mentore hors pair dans le monde académique. Notre relation aujourd'hui dépasse le cadre professionnel et je suis ravie d'avoir la chance de faire partie de votre famille choisie. Mille mercis.

Outre les collègues de laboratoire, j'aimerais adresser un merci tout spécial aux personnes incroyables qui travaillent à l'UNF et au CRIUGM. Merci à, sans ordre spécifique, André Cyr, Arnaud Boré, Basil Pinsard, Carollyn Hurst, Christophe Bedetti, Julie Boyle (et j'en oublie assurément, désolée). C'était toujours un plaisir de passer à l'UNF ou au 6<sup>e</sup> étage parfois pour un brin de jasette, et souvent pour demander un coup de pouce. Merci pour votre aide, votre temps et votre écoute. Merci aussi à Anaïs Deleuze et Perrine Ferré, avec qui j'ai eu le plaisir de partager des projets communs et avec qui je garde une amitié sincère.

Merci aux femmes présentes sur mon parcours à divers moments qui ont su me conseiller avec sagesse, m'inspirer, m'encourager et m'accompagner dans les hauts et les bas d'un tel projet : Alexandra Tessier, Amélie Brisebois, Anna Sontheimer, Anna Zumbansen, Carole Anglade, Marie-Christine Hallé, Sarah Martineau.

Merci à Laurence et Jessica, avec qui j'ai eu l'honneur de passer quatre merveilleuses années de maîtrise et qui sont devenues plus que des amies pour moi. Sans comprendre mon choix de poursuivre dans le milieu académique et bien que nos intérêts cliniques soient complètement différents, vous avez toujours été là, source de réconfort et soutien. Je vous en remercie. Aujourd'hui, je vous vois vous épanouir comme jeunes mamans et je voulais prendre un moment pour vous dire merci de partager ces moments.

Merci à Marie-Ève et Martin, les ami·e·s de parc à chiens devenu·e·s bien plus que ça. Je ne saurai vous dire comment les marches avec les chiens, les soirées passées dehors et les discussions avec vous ont été des moments de lueur au fil des années.

Un merci tout particulier à ma famille, Maman, Papa et Pascale. Merci d'avoir évité les questions taboues lors des soupers de famille, d'avoir été mes plus grands fans et de toujours être là pour moi. Je n'y serais pas parvenue sans vous.

Le dernier merci s'adresse à Vincent. Merci de m'avoir supportée, même si le milieu académique t'est étranger, et d'avoir été mon ancrage par moment de tempête. Ta force tranquille, ton calme et ta patience auront su m'apaiser dans les dernières étapes éprouvantes et je t'aimerai toujours pour cela.

## Avant-propos

Cette thèse fut entreprise et réalisée dans l'objectif de contribuer à la recherche en orthophonie, plus spécifiquement celle ciblant les personnes qui vivent avec une aphasie. L'orthophonie est un domaine qui, bien que jeune science, se trouve à l'intersection de plusieurs disciplines comme la psychologie, la neuroscience, la linguistique et, plus récemment, des neurosciences computationnelles et de l'intelligence artificielle. Ce qui distingue l'orthophonie de ces domaines est la finalité poursuivie, soit d'accompagner des personnes vivant avec un trouble du langage et de la communication dans leur quotidien avec l'objectif d'améliorer leurs aptitudes à communiquer. En plus des notions théoriques et cliniques essentielles à l'orthophonie, l'individualité et le contact humain sont au cœur de l'orthophonie. Mon début de parcours comme orthophoniste au Québec est marqué de constats tous azimuts:

- La pratique clinique doit être guidée par les données issues de la littérature. Or, les personnes concernées, soit les patient·e·s, proches, orthophonistes et toutes autres personnes gravitant autour de la personne vivant avec l'aphasie, sont majoritairement francophones et il existe peu d'écrits scientifiques disponibles à ce sujet.
- La pratique clinique doit être guidée par les données issues de la littérature. Or, dans les publications scientifiques, on ne présente que très peu l'influence des facteurs individuels sur les résultats obtenus par suite d'une thérapie en orthophonie et encore moins de moyens d'opérationnaliser cette relation.

Mon ambition à mon entrée dans le milieu de la recherche était de contribuer à générer des évidences qui pourraient aider les clinicien·ne·s à prendre des décisions éclairées et permettant de guider leurs choix d'intervention, tout particulièrement avec un protocole ayant fait ses preuves. L'objectif de cette thèse était particulièrement ambitieux et visait à répondre à des questions auxquelles s'attaque la communauté scientifique depuis un bon nombre d'années déjà. Cela dit, ce parcours académique m'a à la fois permis de contribuer aux connaissances en jetant dans le domaine de la recherche en aphasiologie, et de mieux saisir la réalité et les défis

de celles-eux m'ayant précédé·e·s, comprenant les forces, faiblesses et limites des différentes méthodologies, disciplines et des multiples cadres théoriques. Je suis fière des réalisations accomplies dans les dernières années et de l'exercice de les colliger dans ce travail.

Ce document présente une thèse déposée sous forme hybride incluant deux articles publiés et un article soumis. Ces articles ont été réalisés dans le cadre de ce doctorat sous la supervision de Pre Ana Inés Ansaldo, Ph. D. Voici les références des différents articles dans l'ordre présenté dans cette thèse :

1. Masson-Trottier, M., Marcotte, K., Rochon, E., Leonard, C., & Ansaldo, A. I. (en révision). Phonological Component Analysis therapy in French improves communication abilities in participants with chronic aphasia, but do personal factors influence this effect?
2. Masson-Trottier, M., Sontheimer, A., Durand, E., & Ansaldo, A. I. (2021). Resting-State Functional Connectivity following Phonological Component Analysis: The Combined Action of Phonology and Visual Orthographic Cues. *Brain Sciences*, 11(11).  
<https://doi.org/10.3390/brainsci11111458>
3. Masson-Trottier, M., Dash, T., Berroir, P., & Ansaldo, A. I. (2022). French Phonological Component Analysis and aphasia recovery: A bilingual perspective on behavioral and structural data. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16.  
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.752121>

Le premier manuscrit est inséré en chapitre 3 section A de cette thèse. Le manuscrit est présenté tel que soumis à la revue International Journal of Language & Communication Disorders. Comme autrice principale de ce document, j'ai réalisé une grande partie de l'élaboration du protocole comportemental, le recrutement des participants, l'administration des thérapies, la collecte des données, l'analyse des résultats, la recension des écrits et la rédaction de l'article. Karine Marcotte, Carol Léonard, Elizabeth Rochon et Ana Inés Ansaldo, directrice de thèse, ont participé à l'élaboration du protocole expérimental, révisé, corrigé et bonifié les différentes versions du manuscrit.



Le deuxième article est inséré en chapitre 3 section B de cette thèse. Le manuscrit est présenté tel que publié par *Brain Sciences*. En tant qu'auteurice principale de ce document, j'ai réalisé une grande partie de l'élaboration du protocole comportemental, le recrutement des participants, l'administration des thérapies, la collecte des données, l'analyse des résultats, la recension des écrits et la rédaction de l'article. Anna Sontheimer a participé à la méthodologie d'analyse des données neurofonctionnelles, notamment sur le prétraitement des données de patients avec lésion causée par un AVC, ainsi que le traitement et les analyses statistiques en connectivité fonctionnelle. Édith Durand a également participé à la méthodologie d'analyse des données neurofonctionnelles. Ana Inés Ansaldo, directrice de thèse, a supervisé l'ensemble du travail, révisé, corrigé et bonifié les différentes versions du manuscrit.

Le troisième article est inséré en chapitre 3 section C de cette thèse. Le manuscrit est présenté tel que publié dans *Frontiers in Human Neuroscience*. En tant qu'auteurice principale de ce document, j'ai réalisé une grande partie de l'élaboration du protocole comportemental, le recrutement des participants, l'administration des thérapies, la collecte des données, l'analyse des résultats, la recension des écrits et la rédaction de l'article. Tanya Dash a contribué à l'élaboration de la méthodologie ainsi que l'interprétation des résultats. Pierre Berroir a aidé avec l'analyse structurelle des données de neuroimagerie. Ana Inés Ansaldo, en tant que directrice de thèse, a supervisé l'ensemble du travail. Tanya Dash et Ana Inés Ansaldo, ont révisé, corrigé et bonifié les différentes versions du manuscrit.

# Chapitre 1 – Introduction

Cette section vise à placer ce travail dans les multiples cadres théoriques pertinents à sa réalisation. Pour bien nous situer, il est d'abord nécessaire de définir un modèle neurofonctionnel du langage. Cela permet ensuite de cerner l'aphasie et l'anomie, en caractérisant au passage les situations de handicap dans le contexte de troubles du langage. Il est également important de s'attarder aux interventions en orthophonie, et plus précisément les connaissances portant sur les thérapies ciblant l'anomie jusqu'à présent, pour suivre avec les facteurs individuels modulant la récupération. Finalement, le plan d'études de cette thèse sera proposé.

## 1.1 Substrats neurofonctionnels du langage

Dans cette section, un bref survol de l'histoire de l'étude des substrats cérébraux du traitement du langage sera présenté pour ensuite plonger dans les modèles contemporains du traitement langagier puis, plus spécifiquement de la dénomination. La présentation du modèle neurofonctionnel du langage sur lequel est basée cette thèse est essentielle pour bien comprendre chacune des étapes de ce travail. D'abord, établir le modèle langagier est fondamental pour la compréhension des mécanismes en jeu, tant dans le contexte des difficultés observées dans l'aphasie que ceux ciblés par une intervention en orthophonie. Établir un cadre théorique qui décrit les processus neuronaux impliqués dans la production du langage, ainsi que dans d'autres fonctions connexes est essentiel pour identifier les réseaux affectés dans le cadre de l'aphasie et la manière dont une thérapie peut cibler ces processus. Ensuite, se baser sur un modèle neurofonctionnel du langage aide à développer des interventions ciblées en matière de processus du langage; les techniques et stratégies mises de l'avant dans l'intervention peuvent être adaptées pour cibler des déficits spécifiques présents chez un groupe de personnes-patientes. En alignant les objectifs thérapeutiques sur un modèle neurofonctionnel, il est aussi possible d'optimiser l'efficacité d'une intervention et promouvoir la récupération neuronale. Par ailleurs, un modèle neurofonctionnel bien défini peut servir d'un outil précieux pour mesurer le succès d'une intervention ciblant le langage. En effectuant les

liens entre les approches spécifiques à une intervention et les processus neuronaux sous-jacents, il est possible de concevoir des expériences et des évaluations qui mesurent les changements dans les régions cérébrales ciblées.

Ainsi, l'étude des substrats cérébraux du traitement du langage est une question qui retient l'attention des scientifiques depuis des décennies. Les premières observations sur les liens entre des lésions cérébrales et troubles du langage ont été documentées dès le XIX<sup>e</sup> siècle.

Cependant, c'est à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup> siècle que les neuroanatomistes et les neurologues ont commencé à explorer les substrats cérébraux du langage de manière systématique. Les travaux de Paul Broca et Carl Wernicke, notamment, ont été particulièrement importants pour établir les bases de l'étude des substrats cérébraux du traitement du langage. Les modèles classiques d'abord décrits par Broca dans les années 1860, Wernicke dans les années 1870 et Lichteim (1885), puis redéfinis par Geschwind (1965) ont été essentiels et à l'origine de la recherche en neurolinguistique. Selon ces modèles, la production du langage est régie par une région cérébrale frontale antérieure inférieure appelée « aire de Broca », alors que la compréhension du langage est contrôlée par une région postérieure temporale appelée « aire de Wernicke ». Ces deux aires sont reliées entre elles par le faisceau arqué (Geschwind, 1965, 1970). De nos jours, ces modèles sont toutefois critiqués pour leur approche dichotomique qui ne prend pas en compte le fonctionnement en réseau du cerveau, la méconnaissance des phénomènes comme la plasticité cérébrale, et les biais méthodologiques potentiels découlant du fait que les premières découvertes étaient basées sur des études cliniques de personnes ayant subi des lésions cérébrales, souvent *post mortem*.

Au cours des 30 dernières années, l'avancée des technologies de neuroimagerie, tant au niveau structurel que fonctionnel, a considérablement amélioré la capacité de la communauté scientifique à étudier les substrats neuroanatomiques et neurofonctionnels du traitement langagier chez les adultes sans lésions cérébrales et chez les personnes vivant avec un trouble du langage. L'imagerie par résonance magnétique (IRM), l'électroencéphalographie (EEG), la magnétoencéphalographie (MEG) et la spectroscopie dans le proche infrarouge (SPIR), notamment, ont fait bondir la compréhension des substrats neuronaux du traitement du langage, démontrant que les régions du cerveau sont interconnectées anatomiquement et

fonctionnellement, principes que l'on appelle la connectivité. Ces nouvelles connaissances ont permis de constater que les modèles dits « classiques » ne rejoignent plus les connaissances nouvelles en ce qui concerne la connectivité anatomique (Tremblay et Dick, 2016) et fonctionnelle du cerveau (Copland et al., 2018).

En ce qui concerne spécifiquement le langage et la production des mots, les recherches se poursuivent avec l'objectif de mieux comprendre la complexité des mécanismes sous-jacents. En combinant les technologies de pointe en neuroimagerie et les percées en neurosciences computationnelles – un domaine de recherche transdisciplinaire qui combine des approches mathématiques et informatiques avancées pour étudier les mécanismes du système nerveux –, les modèles contemporains des substrats cérébraux du traitement du langage révèlent que les habiletés complexes telles que le langage sont en réalité le résultat d'interactions entre plusieurs régions cérébrales plutôt que des régions spécifiques et autonomes. C'est ainsi que sont développés des modèles connexionnistes, interactifs et distribués du traitement langagier, et du traitement des mots (Roseberry-McKibbin et Hegde, 2016).

Depuis les années 2000, un consensus général s'installe parmi les scientifiques en neurobiologie, à savoir qu'il existerait un fonctionnement général à « double boucle » qui prend en charge les différentes fonctions dans les cerveaux humains (Rijntjes et al., 2012). Il est suggéré que les connexions dorsales et ventrales remplissent des fonctions similaires, au-delà de la modalité (Rijntjes et al., 2012). Cette organisation à deux boucles a d'abord été identifiée chez les primates pour les fonctions visuelles, mais a depuis été retrouvée chez l'humain pour de nombreuses fonctions, tant motrices que sensorielles que cognitives (voir Rijntjes et al. (2012) pour une revue sur la question). La section qui suit décrit anatomiquement et fonctionnellement le modèle à double boucle qui permet le traitement langagier (Weiller et al., 2009). Le modèle à double boucle permet de conceptualiser un éventail de fonctions langagières telles que la perception et la discrimination des sons de la parole, la mise en correspondance des sons avec le sens, la compréhension de la structure des phrases, la planification et l'exécution des mouvements de la parole, l'encodage des représentations phonologiques et la récupération du sens des mots.

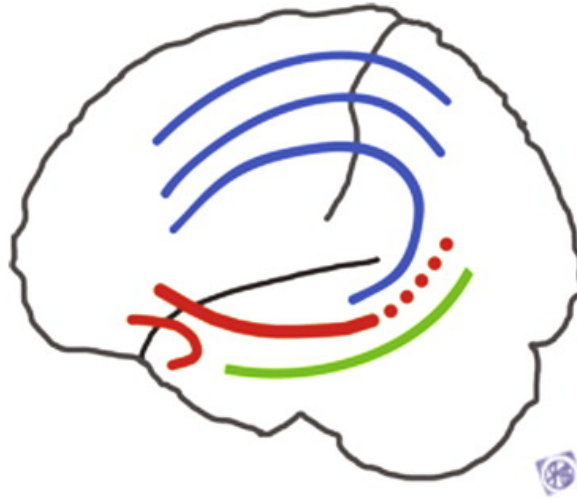
### 1.1.1 Modèle à double boucle pour le traitement du langage

Le modèle à double boucle pour le traitement langagier est composé de deux voies principales, la voie dorsale qui se situe au-dessus de la fissure Sylviane, et la voie ventrale qui se situe au-dessous. Ces voies associatives relient des régions qui sont à l'avant du cerveau (pré-rolandique) et celles à l'arrière du cerveau (post-rolandique) (Weiller et al., 2021). Chacune des voies est composée de faisceaux de matières blanches, reliant des aires cérébrales différentes, et soutenant des aspects du traitement du langage (Weiller et al., 2016). Les faisceaux eux-mêmes n'ont pas de fonction spécifique, mais plutôt servent de liaison entre des régions cérébrales et c'est le résultat de ces interactions nous amène à y associer une fonction (Weiller et al., 2016). La voie ventrale lie des aires sensorielles primaires avec des régions temporales et préfrontales. Elle est décrite conceptuellement comme la voie dont le traitement est *indépendant temporellement* et permet l'identification auditive et visuelle de stimuli, la reconnaissance d'objet et la liaison entre les informations disponibles (sons ou mots écrits) et les représentations conceptuelles permettant, entre autres, la compréhension orale et écrite (Cloutman, 2013; Weiller et al., 2016). La voie dorsale lie des aires sensorielles avec des régions pariétales postérieures/inférieures et préfrontales. Elle est décrite comme la voie dont le traitement est *dépendant temporellement* et permet le traitement spatial, l'orientation vers un objet et la planification motrice, dont la planification de l'articulation des sons de la parole (Cloutman, 2013; Weiller et al., 2016).

Le modèle à double boucle fournit un cadre conceptuel pour comprendre l'interaction et l'intégration entre les deux voies et les processus de compréhension et d'expression du langage, soulignant les rôles complémentaires des deux voies dans le traitement du langage. Selon la complexité de la tâche à accomplir, un niveau d'intégration variable (allant d'un traitement indépendant à de la rétroaction à du chevauchement en continu) peut survenir entre les deux voies, ou encore une combinaison des niveaux d'intégration (Cloutman, 2013). La Figure 1 ci-dessous, tirée de Weiller et al. (2016), offre une représentation visuelle du modèle à double boucle. Chacune des voies sera ensuite décrite plus en en détail ci-dessous.

## Figure 1

Schéma du modèle à double boucle du traitement du langage.



*Note.* Tiré de Weiller et al. (2016). Elsevier ©. Autorisation de reproduire l'image.

Les traits en bleu représentent la voie dorsale, qui se subdivise en trois composantes principales et les traits en rouge représentent la voie ventrale, qui elle se subdivise en deux composantes. Le trait vert correspond au faisceau longitudinal moyen (*middle longitudinal fascicle*; mdLF), qui relie le lobe temporal au cortex pariétal inférieur, l'attribuant ainsi ni au courant dorsal ni au courant ventral exclusivement bien que certain·e·s auteur·rice·s considère le mdLF comme faisant partie de la voie ventrale.

### 1.1.1.1 Voie ventrale

Dans le modèle à double boucle du traitement du langage, la voie ventrale est responsable de donner du sens aux stimuli, plus précisément en identifiant la relation entre les éléments (hiérarchique ou structurelle), indépendamment de l'ordre dans lequel ils se trouvent (Weiller et al., 2016). C'est pourquoi elle est identifiée comme la voie dont le traitement est *indépendant temporellement*, la voie du *quoi* (*what stream*). La voie ventrale est composée de deux principaux faisceaux, illustrés en rouge sur la Figure 1 ci-dessus.

Les faisceaux qui composent la voie ventrale sont notamment le faisceau fronto-occipital inférieur (*inferior fronto-occipital fasciculus* ; IFOF) et le faisceau unciné (*uncinate fasciculus*; UF). Les fibres composant la capsule externe et la capsule extrême suivent une orientation

similaire et contribue au IFOF. L'IFOF, par le biais des fibres de la capsule extrême, relie les parties médiane et postérieure du lobe temporal avec les portions antérieures inférieures de l'IFG (BA 45, 47). L'IFOF contient donc des fibres qui lient les régions frontales et occipitales, comme son nom l'indique, mais aussi des régions temporales et pariétales. Le faisceau unciné relie la partie médiane et antérieure du lobe temporal avec la partie la plus inférieure de l'IFG (BA 47). En plus de l'IFOF, avec la capsule extrême, et l'UF, d'autres auteurs soulignent aussi la contribution du faisceau longitudinal inférieur (*inferior longitudinal fasciculus*; ILF) dans la voie ventrale. L'ILF lie principalement les régions occipitales et temporales (Schmahmann et al., 2007).

#### 1.1.1.2 Voie dorsale

Dans le modèle à double boucle du traitement du langage, la voie dorsale est responsable de mettre les éléments dans le bon ordre, tant au niveau des phonèmes dans les mots que des mots dans une phrase et des mouvements articulatoires dans une séquence motrice pour dire un mot (Weiller et al., 2016). Elle est ainsi dite être la voie dont le traitement est *dépendant temporellement*, la voie du *où-quand* (*where-when stream*). Les deux principaux faisceaux qui composent la voie dorsale sont le faisceau longitudinal supérieur (*superior longitudinal fasciculus*; SLF) pour les connexions pariéto-frontales et le faisceau arqué (*arcuate fasciculus*; AF) pour les connexions temporo-frontales. Selon le modèle à double boucle, la voie dorsale se subdivise en trois composantes correspondant à trois faisceaux distincts, ayant chacune des terminaisons qui leur sont propres.

D'abord, le faisceau apparaissant le plus à l'extérieur sur la Figure 1 ci-dessus, appelé voie dorso-dorsale, correspond à une subdivision du SLF, soit le SFL II. Le SLF II projette des terminaisons dans la portion dorsale du cortex prémoteur et contribue à la mise en place de mécanismes d'autocorrection pour la production de la parole lors de la réalisation de séquences motrices (Binkofski et Buxbaum, 2013). Lorsque celles-ci sont suffisamment répétées, un schéma moteur est encodé et stocké dans la portion postérieure du IFG et le gyrus supramarginal (supramarginal gyrus ; SMG). Ces schémas peuvent ensuite être associés au contexte et à la sémantique dans le cortex pariétal inférieur (*inferior parietal cortex* ; IPC) et le lobe temporal postérieur via la voie appelée dorsal-ventral qui est composée par le SLF III

(représenté par le trait bleu central sur la Figure 1) et le faisceau arqué (le faisceau le plus central sur la Figure 1)(Weiller et al., 2016). Les schémas moteurs peuvent alors être récupérés plus rapidement sans passer par la voie dorso-dorsale, mais la voie dorso-dorsale redevient utile pour apporter des adaptations aux schémas appris. Par ailleurs, des projections du SLF reliant le SMG avec la portion postérieure du IFG soutiennent également l'importance de la voie dorsale pour la production et la perception de la parole (Dick et Tremblay, 2012). Ainsi, afin de produire et comprendre le langage, l'intégrité de tout le réseau langagier tel que décrit actuellement est nécessaire. Finalement, il est d'intérêt de nommer le faisceau frontal aslant, plus récent ne figurant pas sur la Figure 1, qui contribue également à la voie dorsale en reliant le cortex frontal médian à la portion postérieure du IFG (Catani et al., 2012; Dick et al., 2014).

#### 1.1.1.3 Interaction entre les voies dans le modèle à double boucle

Le modèle à double boucle permet de conceptualiser le traitement langagier dans un réseau à large échelle grâce à une interaction réelle et constante entre les deux voies, et aussi leur complémentarité. La voie ventrale et la voie dorsale convergent vers des nœuds pré- et post-rolandiques (Weiller et al., 2022), donnant lieu à des boucles fermées, permettant de supporter le traitement interne du langage. En effet, les voies ventrales et dorsales ont des terminaisons dans des régions frontales incluant le cortex préfrontal latéral, la portion antérieure du gyrus frontal médian (*middle frontal gyrus*; MFG), l'IFG et l'insula et des régions postérieures incluant le gyrus temporal moyen (*middle temporal gyrus*; MTG), le gyrus temporal supérieur (*superior temporal gyrus*; STG), le gyrus temporal inférieur (*inferior temporal gyrus*; ITG), le lobule pariétal inférieur (*inferior parietal lobule*; IPL) et des régions temporo-pariéto-occipitales (Weiller et al., 2022). De façon largement simplifiée, pour permettre la compréhension, la voie dorsale est impliquée dans le traitement langagier pour percevoir et discriminer les sons de la parole (traitement phonologique), puis la voie ventrale permet la mise en relation entre les sons et les représentations sémantiques, permettant d'associer un sens à l'entrée linguistique (traitement sémantique) et aussi l'interprétation des phrases en identifiant la relation entre les mots (traitement syntaxique). Pour permettre la production, la voie ventrale soutient l'accès aux représentations lexicales et au sens des mots, la voie dorsale permet ensuite l'encodage phonologique nécessaire pour produire les mots correctement et ensuite la planification



articulatoire requise, comprenant la précision des mouvements et la coordination nécessaire, pour la production de la parole. Ainsi, contrairement aux perspectives précédentes qui considéraient la parole comme une habileté distincte des capacités linguistiques, le modèle à double boucle inclut la production de la parole dans le traitement global nécessaire à la production orale du langage et donc considère que cette habileté est soutenue par un ensemble d'aires en plus des aires motrices.

Comme mentionné précédemment, ce modèle de traitement langagier général peut être adapté pour décrire des fonctions langagières plus spécifiques. La prochaine section sera donc consacrée à la dénomination et aux modèles plus spécifiques à cette compétence linguistique.

### **1.1.2 Modèles théoriques de la dénomination**

Dans le contexte de cette thèse, il est pertinent de décrire plus en profondeur les mécanismes en jeu lors de la dénomination. La dénomination peut être décrite selon différentes perspectives. Ainsi, cette section comprend d'abord une revue des écrits cognitivistes et psycholinguistiques de la dénomination, puis une section décrivant l'état des connaissances de la perspective de la neurobiologie du langage en terminant avec un modèle neurofonctionnel de la dénomination.

#### **1.1.2.1 Perspective cognitiviste**

L'étude de la dénomination selon la perspective cognitiviste remonte au milieu des années 1900. La dénomination est alors vue comme essentielle à la production du langage en plus d'être une fenêtre sur des phénomènes comme l'accès lexical et les processus cognitifs nécessaires à la communication. Des chercheur·euse·s ont mis en place des études comportementales avec des adultes sans lésion cérébrale de même qu'avec des adultes vivant avec une aphasie, un trouble acquis de la communication qui sera discuté à la prochaine section. À partir des performances et des erreurs produites autant par les personnes qui vivent avec une aphasie que par des adultes sans lésion cérébrale, des modèles représentant la production des mots ont été développés (Caramazza, 1997; Collins et Loftus, 1975; Dell et al., 2004; Goldrick et Rapp, 2002; Hillis et Caramazza, 2007; Levelt, 1999). Dans ces perspectives, les mots sont considérés comme des unités d'informations mémorisées, mais qui sont traitées de

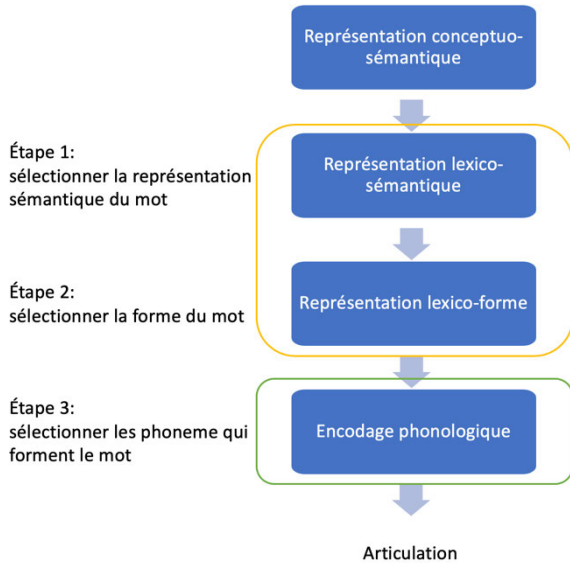
façon particulière. Ainsi, les modèles décrivant les processus de traitement d'information s'appliquent aussi au processus de récupération des mots. L'une des théories retenues pour expliquer ce processus est la théorie de la diffusion de l'activation de Collins et Loftus (1975). Elle propose que la mémoire générale, mais aussi celle des mots, soit représentée par un réseau d'unités mémorielles interconnectées (Collins et Loftus, 1975). Lorsqu'une personne cherche à retrouver une information, l'activation d'une unité mémorielle se propage aux autres unités du même niveau déclenchant l'activation d'autres unités connexes. La propagation de l'activation se poursuit jusqu'à ce qu'elle atteigne un seuil de récupération qui permet de récupérer l'unité mémorielle en question et d'amener l'information à la conscience (Collins et Loftus, 1975). La théorie de la diffusion de l'activation a par la suite influencé d'autres modèles qui s'attardent plus spécifiquement à la récupération des mots. En général, les modèles peuvent être classifiés en deux catégories, les modèles de production de mots à étapes séquentielles (Levelt, 1999) et les modèles à activation interactive (Dell et al., 1997). Ces modèles partagent certaines caractéristiques, mais diffèrent sur d'autres.

Malgré des divergences, tous les modèles s'accordent pour dire que pour parvenir à nommer un concept ou un objet, on doit récupérer le sens et les sons pour former le mot-cible. Ainsi, on retrouve, tout au début des modèles, un niveau où la représentation conceptuo-sémantique est activée et, à la toute fin, un niveau où l'encodage phonologique est déterminé (la conversion des sons vers un patron moteur pour l'articulation). La représentation conceptuo-sémantique fait référence au sens associé au mot-cible à une étape prélinguistique; cette étape n'est pas spécifique au langage et fait plutôt référence aux connaissances (qui peuvent être une odeur, un son, une image) qui permettent à une personne de désigner une chose tangible (personne, animal, action) ou abstraite (émotion, sujet). Les modèles diffèrent toutefois sur la présence ou absence d'interaction entre les niveaux, comme illustrés à la figure 2 ci-dessous.

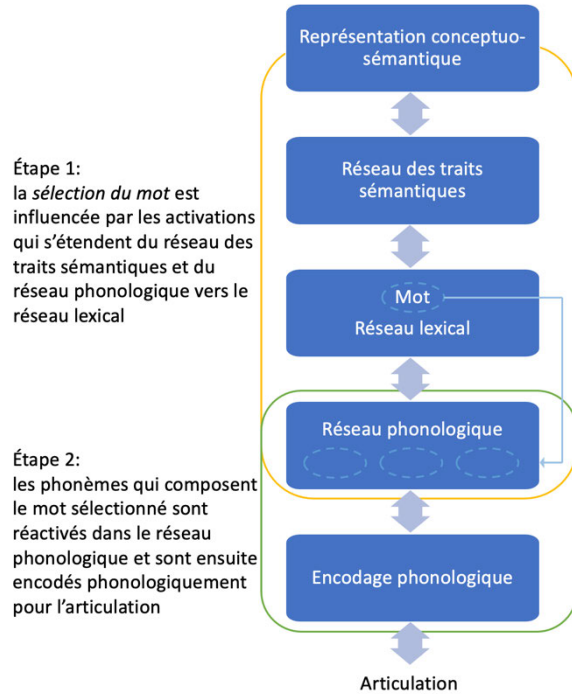
**Figure 2**

*Comparaison des modèles à étapes séquentielles et à activation interactive de production de mots.*

a. Modèle à étapes séquentielles



b. Modèle à activation interactive



*Note.* Figure adaptée de la figure 10.1 de Martin (2022). Pro-Ed ©. Autorisation d'adapter l'image.

Dans le modèle sans interaction entre les niveaux, chaque étape se déroule de façon indépendante. On l'appelle modèle à étapes séquentielles (*discrete-stage model*, voir Levelt (1999) pour une description détaillée). Comme on peut observer à la Figure 2a, une fois la représentation conceptuo-sémantique activée, la première étape pour dire un mot est d'identifier et activer les traits sémantiques associés au mot-cible. La deuxième étape consiste en la sélection du mot associé aux traits sémantiques précédemment activés parmi le lexique mental. À cette étape, les traits sémantiques activés peuvent activer des mots proches ou voisins qui partagent certains traits sémantiques, mais un seul mot sera passé à l'étape 3 où les sons qui doivent former le mot-cible sont récupérés et placés dans le bon ordre. Les étapes sont séquentielles et ne se chevauchent pas.

En contraste, le modèle à activation interactive (*interactive activation model*, voir Dell et al. (1997)) propose un processus comportant des étapes similaires, mais soutient que les étapes interagissent avec les étapes adjacentes et s'influencent. Dès l'étape d'accès aux représentations conceptuo-sémantiques, les activations des représentations se diffusent aux réseaux des traits sémantiques, lexicaux et phonologiques tout en perpétuant des activations de rétroaction afin d'assurer une stabilité au travers du réseau jusqu'à ce qu'un mot soit sélectionné et transmis vers l'étape 2. La deuxième étape consiste à convertir les phonèmes sélectionnés en patron articulatoire. Allant plus loin, le modèle d'interaction restreinte (*Restricted Interaction Account*; RIA, voir Goldrick et Rapp (2002)) propose que l'activation d'une unité mémorielle ne se propage pas nécessairement à toutes les unités connexes, mais plutôt à un sous-ensemble d'entre elles seulement. Selon le RIA, l'activation des traits sémantiques (à la vue d'une image à nommer par exemple) se propage au niveau du lexème, de la syntaxe et du phonème de telle sorte que les niveaux s'influencent lors de la sélection du lexème (Goldrick et Rapp, 2002).

En résumé, chaque modèle propose un flot d'informations différent au sein du réseau lexical, mais tous les auteurs s'accordent que les informations sémantiques et les informations phonologiques doivent être relevées et activées à un niveau suffisamment élevé pour parvenir à une dénomination exacte.

#### *1.1.2.1.1 Facteurs influençant la dénomination*

Certaines caractéristiques psycholinguistiques ont été identifiées comme influençant le processus de dénomination, notamment en matière de vitesse de traitement, de temps de réponse ou de facilité de rappel. En effet, certaines caractéristiques psycholinguistiques des mots vont exercer une influence sur la facilité, ou non, à récupérer et dire un mot. Parmi ces propriétés, la fréquence du mot dans la langue et l'imageabilité du mot seront discutées plus spécifiquement. Il est important de reconnaître la corrélation entre certains facteurs psycholinguistiques. En dénomination, la tâche consiste à nommer un stimulus visuel, comme une photo, un dessin ou une vidéo. Le choix du stimulus influencera la facilité à récupérer et dire le mot. En effet, parmi les caractéristiques des stimuli visuels, on discutera du type d'image privilégié.

## Fréquence et âge d'acquisition

La fréquence des mots est une caractéristique psycholinguistique influençant la dénomination. Elle vise à quantifier le caractère commun ou rare de ce mot dans le lexique commun à une population dans une langue. De façon générale, plus un mot est fréquent dans le corpus d'une population, plus il est facile à dire. Or, il est important de considérer l'individualité des personnes, car selon l'expérience personnelle de chacun, certains mots peuvent être plus fréquents dans leur lexique personnel comparativement à l'ensemble de la population (Martin, 2022). Par exemple, une personne ayant œuvré comme gynécologue aura théoriquement plus de facilité avec le vocabulaire médical comparativement à la population générale, tout autant qu'une personne ayant œuvré comme charpentier devrait avoir plus de facilité avec le vocabulaire faisant référence aux outils. On s'intéresse depuis longtemps à l'effet de la fréquence des mots en dénomination. On sait aujourd'hui que plus la fréquence est élevée, plus le temps de réponse est rapide, et inversement (Williams, 1983). Ceci est vrai autant chez les personnes sans lésion cérébrale que chez les personnes qui vivent avec une aphasie. Cet effet est confirmé pour les noms dans des études récentes (Nozari et al., 2010), démontrant qu'il est présent autant en dénomination qu'en répétition (et donnant du poids au modèle à activation interactive).

L'âge d'acquisition influence aussi la facilité avec laquelle un mot est récupéré et dit, les mots appris en premier étant plus faciles. La fréquence est fortement corrélée avec l'âge d'acquisition d'un mot. Depuis de nombreuses années, des recherches visent à identifier laquelle de ces deux propriétés influence davantage la dénomination. Nickels et Howard (1995) et Ellis et al. (1996) concluaient à l'influence plus significative de l'âge d'acquisition comparativement à la fréquence. Plus récemment, Kittredge et al. (2008) ont étudié l'influence des caractéristiques psycholinguistiques des mots-cibles sur la performance en dénomination de 50 personnes vivant avec une aphasie. Dans cette étude, l'âge d'acquisition et la fréquence du mot influencent significativement la dénomination (Kittredge et al., 2008). Bastiaanse et al. (2015) concluent également à l'influence de la fréquence et de l'âge d'acquisition pour la dénomination d'objet. Dans tous les cas, il est certain que les mots appris à un âge précoce et utilisés fréquemment plus tard sont les plus faciles à retenir et à utiliser, tandis que les mots

appris plus tard dans la vie et rarement utilisés par la suite sont les plus difficiles (Brysbaert et Ellis, 2015).

En français, la base de données Lexique (New et Pallier, 2023) permet de retrouver, entre autres, la fréquence des mots à l'oral, à l'écrit, ainsi que le nombre de syllabes (New & Pallier, 2004; New & Pallier, V 3.8). La fréquence des mots est établie à partir de corpus de films (ou des sous-titres de films) pour la fréquence à l'oral ou de textes de roman pour la fréquence à l'écrit, une méthode qui est décrite comme valide (Brysbaert et Ellis, 2015).

### Imageabilité

L'imageabilité est considérée comme étant une variable sémantique dans le sens qu'elle vise à caractériser un processus sémantique. Elle correspond à l'ampleur à laquelle un mot peut être représenté mentalement (Martin, 2022). Les concepts ayant des traits sémantiques fixes (bien qu'ils puissent être très différents d'une personne à une autre) sont plus faciles à s'imaginer (comme les mots: *table*, *pomme*, *courir*, etc.). À l'opposé, les mots abstraits, souvent des mots désignant des principes, des idées ou des concepts (comme les mots: justice, paix, traduire, etc.), n'ont pas de traits fixes. Au moment de s'imaginer l'un de ces mots – disons paix – on peut visualiser une scène qui contextualise le concept comme un groupe d'enfants qui se tiennent la main, mais on peut difficilement visualiser mentalement le mot *paix*; il y a de fortes chances que la représentation mentale de *paix* varie davantage d'une personne à une autre que la représentation mentale de *pomme*. Le concept d'imageabilité est fortement corrélé avec la notion de concrétude (Richardson, 1976). Les mots ayant une imageabilité et une concrétude élevée sont traités plus rapidement (Bird et al., 2003; Meteyard et Bose, 2018; Nickels, 1995). Or, en tâche de dénomination d'image, l'effet d'imageabilité est peu présent parce qu'il n'est possible que de présenter des stimuli qui représente quelque chose – et donc qui sont fortement imageables.

### Propriétés visuelles des stimuli

Le type de stimuli visuel a un impact significatif sur la vitesse et la précision de la dénomination. Nommer une image est un processus en plusieurs étapes (Humphreys et al., 1999; Johnson et al., 1996). Tout d'abord, les caractéristiques physiques de l'image telles que la forme, la couleur

et les détails de surface sont encodées au cours d'une étape précoce du traitement de l'information visuelle. Ensuite, ces informations visuelles doivent être mises en correspondance avec des représentations mentales dans la mémoire à long terme. Des informations sémantiques supplémentaires sur les images codées et appariées peuvent être consultées à ce stade pour identifier le contenu de l'image. Enfin, le nom de l'image est récupéré (Humphreys et al., 1999; Johnson et al., 1996).

Les photos et les dessins au trait sont caractérisés par des propriétés qui influencent le traitement visuel de l'objet de différentes manières, telles que la profondeur du traitement visuel requis, la précision du traitement visuel et les différences dans la quantité d'information disponible. En général, les études ont montré que les photos en couleurs sont dénommées plus rapidement et avec une plus grande précision que les photos en noir et blanc et les dessins au trait (Brodie et al., 1991). Les détails photographiques facilitent la reconnaissance en améliorant la perception de la forme de la surface. Ainsi, une surface incurvée est plus facilement détectable sur une photographie qu'un dessin au trait grâce aux gradients de couleur et de texture). De plus, si les détails de surface sont prototypiques pour la représentation mentale d'un objet donné – par exemple, la surface lisse et brillante d'un miroir –, la reconnaissance de l'objet bénéficie directement des informations de surface (Price et Humphreys, 1989). Les photos peuvent fournir plus d'informations sur ce qui se trouve dans l'image que les simples lignes. Ces informations supplémentaires peuvent être utiles aux personnes vivant avec une aphasie à bien alimenter le système sémantique pour récupérer le mot correspondant (Brodie et al., 1991). Cependant, les détails des objets, s'ils sont trop nombreux ou moins prototypiques, peuvent aussi créer l'effet inverse et ralentir les processus de reconnaissance et de dénomination. Sur les objets réels, les détails ainsi que la conception des objets ne sont pas tous pertinents et peuvent parfois générer plusieurs ambiguïtés. Des photographies d'objets prototypiques pourraient éviter ces ambiguïtés. Or, il est très peu probable de trouver seulement des objets réels prototypiques compte tenu de la grande variété des conceptions des objets.

En résumé, l'impact du type de stimuli sur la dénomination dépendra de plusieurs facteurs, tels que la complexité des stimuli, la quantité d'information disponible et les différences dans la

profondeur et la précision du traitement visuel. Il est important de prendre en compte ces facteurs lors de la planification et de l'analyse de tâches de dénomination pour obtenir des résultats valides et pertinents.

#### 1.1.2.2 Perspective neurobiologique du langage

De façon complémentaire à la perspective cognitiviste de l'étude de la dénomination, la prochaine section abordera la dénomination selon la perspective neurobiologique du langage. En effet, la perspective cognitiviste aura permis de mieux comprendre les processus et les représentations en jeu dans la dénomination. La neurobiologie du langage, quant à elle, vise à élucider les substrats cérébraux et les mécanismes qui soutiennent ces processus et représentations identifiés pour la dénomination. Différentes méthodes permettent d'avancer la compréhension de la neurobiologie du langage, notamment l'utilisation de la neuroimagerie et les analyses de connectivité et de réseaux et le modelage computationnel.

Ainsi, le réseau cérébral permettant la dénomination est un réseau à grande échelle et comprend des aires distribuées dans le cerveau. Il serait, comme le réseau général du langage, composé de deux voies, une voie ventrale et une voie dorsale qui interagissent afin de réaliser les différents processus en jeu pour parvenir à nommer une image. La dénomination est un processus extrêmement rapide, environ 0.5 seconde entre la perception visuelle du stimulus et la production du mot (Hassan et al., 2015). Pendant cette demi-seconde, il est possible de décomposer le signal cérébral (tel que mesuré par une EEG) en six états distincts. Ces états recoupe les étapes *classiques* de traitements décrites par Price (2010). Finalement, il s'avère intéressant de mettre en parallèle ces mécanismes proposés avec une représentation d'un modèle neurocognitif de la dénomination (Jarret et al., 2022).

Pendant les 150 ms suivant l'apparition du stimulus visuel, deux premières phases se succèdent, soit le traitement visuel (120 ms) et la reconnaissance visuelle (30 ms) (Hassan et al., 2015). Les régions cérébrales associées sont principalement occipitales, notamment l'occipital inférieur bilatéral, l'occipital antérieur droit et l'occipital moyen gauche, le sillon occipito-temporal latéral et le pôle occipital (Hassan et al., 2015). Ces deux étapes permettent d'amorcer la reconnaissance et de consolidation des objets. Une fois le stimulus identifié, il est nécessaire



d'accéder à la mémoire et faire de la catégorisation. L'implication de régions occipitales demeure importante, mais s'ajoutent les sillons temporaux inférieurs bilatéraux, qui jouent un rôle dans la sélection de lemmes (Hassan et al., 2015). Ensuite, de 190ms à 320ms, on peut observer une phase de traitement sémantique où, en plus des régions occipitales et sillons temporaux inférieurs bilatéraux, s'ajoutent le ITG gauche et des nœuds frontaux, interprétés par les auteur·rice·s comme représentant le traitement sémantique et l'accès à la forme phonologique (Hassan et al., 2015). Price (2010), pour le traitement conceptuel, identifie des régions plus vastes qui sont activées en production de la parole, et aussi en compréhension, soit les régions de l'IFG, le cortex préfrontal (les portions ventrale et dorsale médiane), la portion postérieure de l'IPL, le MTG, le gyrus fusiforme, le gyrus parahippocampique et le gyrus cingulaire postérieur. À la phase d'encodage phonologique, qui se déroule de 320ms à 480ms après l'apparition du stimulus, le réseau fonctionnel tel que mesuré en EEG comprend le sillon précentral supérieur gauche et le sillon postcentral droit, ainsi que les sillons orbitaux gauches et l'insula supérieure gauche, des régions connues pour leur rôle dans le traitement phonétique et articulatoire de la parole (Hassan et al., 2015). À ce stade, les régions occipitales cessent d'être actives dans le réseau fonctionnel. Price (2010) décrit ensemble les deux dernières phases en décrivant globalement la récupération des mots. Les régions qui sont les plus fréquemment identifiées selon sa revue sont l'IFG, plus précisément la pars opercularis pour le séquençage des informations linguistiques et non-linguistiques ainsi que le séquençage articulatoire, et le MFG, tous de l'hémisphère gauche (Price, 2010). Finalement, à la phase d'articulation, les régions impliquées dans l'initiation de la parole tels le gyrus insulaire gauche, le sillon circulaire insulaire inférieur gauche et le sillon orbital droit composent le réseau (Hassan et al., 2015). Des activations bilatérales des aires motrices, prémotrice et motrice supplémentaire et du STG sont également rapportées (Price, 2010). Ces régions ne sont pas spécifiques à la parole nécessairement, mais au contrôle moteur oro-facial. La planification articulatoire est activée dans la portion antérieure de l'insula gauche puis s'étend aux régions motrices bilatérales (Price, 2010).

Dans tout le processus, de nombreuses régions sont communes à la production et la compréhension de la parole, ce qui concorde avec le modèle à double boucle du langage qui

suggère une forte interaction dans le réseau. Certaines régions sont toutefois associées principalement à la production de la parole comme le MFG, associé à la récupération lexicale, l'insula, associé à la planification articulatoire, et les aires motrices, prémotrice et motrice (Hassan et al., 2015; Price, 2010). L'utilisation de l'EEG s'avère intéressante vu la sensibilité temporelle de la méthode, permettant de distinguer les différents processus consécutifs. L'activation des régions occipitales pendant les quatre premières phases est interprétée par les auteur·rice·s comme une preuve de l'implication ventrale au-delà d'une simple entremetteuse d'information, mais plutôt comme ayant une place plus importante au sein du réseau à grande échelle (Hassan et al., 2015).

Dans un effort de produire un modèle neurofonctionnel de la dénomination, Jarret et al. (2022) ont combiné des acquisitions en IRMf et en IRM de diffusion (*diffusion-weighted images*; DWI) pour identifier les réseaux fonctionnel et structurel supportant la dénomination. En contrastant les régions activées en IRMf lors d'une tâche de dénomination à celles activées lors d'une condition contrôle de bas niveau (soit l'observation d'une croix de fixation), l'équipe a identifié un vaste territoire couvrant des régions occipitales, temporales et frontales ainsi que des régions sous-corticales bilatérales (Jarret et al., 2022). L'utilisation d'une condition contrôle de bas niveau permet d'identifier un réseau plus vaste associé à la dénomination qui reflète toutes les étapes associées à la dénomination, allant de l'identification visuelle du stimulus aux processus sémantiques et phonologiques en jeu. En combinant cette carte d'activation avec des acquisitions d'images de diffusion, les auteur·rice·s ont pu identifier les faisceaux qui composent la voie ventrale et la voie dorsale du réseau du traitement langagier dans le contexte de la dénomination (Rijntjes et al., 2012; Weiller et al., 2016).

Considérons d'abord la voie ventrale, qui a pour rôle l'association des sens aux stimuli auditif et visuel (Jarret et al., 2022; Rijntjes et al., 2012; Weiller et al., 2016). Les régions identifiées comme ayant une fonction pendant la dénomination dans la voie ventrale sont le gyrus occipital moyen, l'ITG et le STG avec le pôle temporal et la pars orbitalis de l'IFG (Jarret et al., 2022). Ces régions sont reliées entre elles par l'IFOF et la capsule extrême, l'ILF, le mdLF, et l'UF (Jarret et al., 2022). L'IFOF représente une voie lexicosémantique directe en reliant le gyrus occipital moyen et l'ITG vers la pars orbitalis du IFG. Dans le contexte de la dénomination d'images, le

gyrus occipital moyen et l'ITG seraient impliqués dans les premières étapes, soit le traitement perceptif, donc ici visuel, tandis que la pars orbitalis de l'IFG serait impliquée dans la récupération de concepts sémantiques et de mots (Price, 2012; Price et Crinion, 2005). Certaines fibres de la capsule extrême relient le STG à la pars orbitalis de l'IFG (Jarret et al., 2022). De par le rôle du STG dans le traitement sémantique et phonologique (Binder et al., 2009; Dick et Tremblay, 2012; Hickok, 2009; Hickok et Poeppel, 2007), il est plausible de penser que ces fibres pourraient soutenir une fonction de facilitation des recherches sémantiques basée sur la représentation auditive des mots (Jarret et al., 2022). Le MdLF est également identifié par cette étude comme contribuant à la voie ventrale contribue également à la voie ventrale en reliant le STG, l'ITG et le pôle temporal (Jarret et al., 2022). Bien que faisant encore l'objet d'études, les auteur·rice·s avancent que, dans le contexte de la dénomination, ce faisceau permet le soutien d'un riche réseau sémantique (Jarret et al., 2022). Finalement, en plus de la voie lexicosémantique directe, une voie ventrale indirecte combinant l'ILF et l'UF permettrait de relier le gyrus occipital moyen et l'ITG vers la pars orbitalis de l'IFG en passant par le pôle temporal (Jarret et al., 2022). Cette voie indirecte offre potentiellement une voie « de soutien » pour accomplir des tâches plus difficiles (Jarret et al., 2022), notamment comme des tâches de pensées abstraites, intégrations conceptuelles ou encore décodage de sens basé sur le contexte.

Pour la voie dorsale, plus typiquement associée à la réalisation d'une tâche de dénomination, les régions de l'ITG, le STG, la pars orbitalis de l'IFG, le gyrus précentral et l'aire motrice supplémentaire ont été identifiées comme engagées dans la tâche de dénomination (Jarret et al., 2022). Celles-ci étaient reliées par des fibres constituant l'AF et le faisceau frontal aslant (Jarret et al., 2022). En effet, conformément aux évidences précédentes, l'ITG et le STG étaient également connectés à la pars orbitalis de l'IFG par l'AF, vraisemblablement pour soutenir le traitement phonologique (Hickok et Poeppel, 2004; Jarret et al., 2022). Des connexions structurelles directes ont aussi été documentées entre la pars orbitalis de l'IFG, le gyrus précentral et l'aire motrice supplémentaire via le faisceau frontal aslant, potentiellement liées à la production de la parole pendant la dénomination (Jarret et al., 2022). La description du

faisceau ascendant est quant à elle plus récente et davantage d'études sont requises pour pouvoir circonscrire les fonctions qu'il soutient (Dick et al., 2014).

Ainsi, le modèle neurofonctionnel de la dénomination élaboré à partir de données de personnes sans lésion cérébrale montre un réseau distribué dans tout le cerveau, relié par deux voies qui interagissent (Jarret et al., 2022). En effet, la dénomination implique l'intégration de stimuli visuels, la récupération de propriétés sémantiques et l'association aux propriétés phonologiques, et nécessite des fonctions qui sont supportées par les deux voies du réseau à double boucle du langage. La section qui suit aborde la condition neurologique de l'aphasie, soit lorsque le réseau du langage, et donc de la dénomination, est compromis.

## **1.2 Aphasie**

Dans le contexte de cette thèse, il est pertinent de bien définir l'aphasie et de s'intéresser à son étiologie. Il est incontournable de se pencher sur les mécanismes de récupération dits spontanée ou naturelle à la suite d'un AVC. Il est également important d'en expliquer la sémiologie, et s'attarder plus particulièrement au symptôme de l'aphasie. Finalement, il est essentiel de considérer l'impact de l'aphasie sur la qualité de vie des personnes aux prises avec ce trouble et leur proche.

### **1.2.1 Définition et étiologie**

Au cours de la vie, diverses pathologies, telles que les accidents vasculaires cérébraux (AVC), peuvent altérer le fonctionnement du réseau neurofonctionnel de traitement langagier et, par le fait même, les mécanismes impliqués dans la perception et la production du langage. La conséquence de ces perturbations peut se manifester sous la forme d'un trouble appelé aphasie. L'aphasie est un trouble acquis d'origine neurologique qui affecte le langage et la communication. C'est un trouble primaire du langage; les difficultés langagières ne s'expliquent pas par un trouble intellectuel, sensoriel ou psychiatrique (Roseberry-McKibbin et Hegde, 2016). Les difficultés qui surviennent dans le contexte de l'aphasie peuvent se situer tant au niveau de l'expression que de la compréhension, à l'oral comme à l'écrit. Au Québec seulement, on estime

à 6000 le nombre de nouvelles personnes vivant avec une aphasie chaque année et, au Canada, il est estimé que 166 000 personnes vivent avec une aphasie (Simmons-Mackie, 2018).

Bien que l'aphasie survienne le plus souvent un AVC, il est important de mentionner que d'autres types de lésions cérébrales peuvent mener à des symptômes appartenant à ce trouble. C'est notamment le cas pour les AVC touchant des régions sous-corticales, certains cas de tumeur cérébrale ou de traumatisme craniocérébral (TCC) et certains troubles neurocognitifs comme les démences frontotemporales (DFT), plus précisément les aphasies primaires progressives (APP). Pour une revue complète sur les aphasies d'étiologie diverses, il est possible de consulter les ouvrages de référence suivant : LaPointe et Stierwalt (2018) et Papathanasiou et Coppens (2022). Dans la présente thèse, il sera question d'aphasie causée par un AVC avec atteintes principales aux structures corticales, et hors maladies neurodégénératives.

Il est estimé que de 30 à 35% des personnes qui survivent à un AVC seront aux prises avec des symptômes appartenant à une aphasie (Papathanasiou, Coppens et Davidson, 2022). Dès les premières journées suivant l'AVC, les répercussions de l'aphasie sur la communication affectent significativement la personne qui vit avec la condition et son entourage, et perturbent également l'efficacité du système de santé, car la communication est essentielle aux bons soins. La durée de séjour à l'hôpital des personnes qui vivent avec une aphasie est plus longue que pour celles n'ayant pas d'aphasie, et les coûts associés aux soins sont également plus élevés pour les premières (Ellis et al., 2012; Gialanella et Prometti, 2009; Wu et al., 2020).

Lorsque l'aphasie est causée par une lésion cérébrale vasculaire focale, elle est généralement associée à une atteinte du territoire périsylvien de l'hémisphère dominant (Watila et Balarabe, 2015) majoritairement par ischémie (blocage du flux sanguin) ou hémorragie de l'artère cérébrale moyenne (*middle cerebral artery*; MCA). L'AVC ischémique entraîne une interruption de l'apport sanguin – appelé une hypoperfusion – vers des régions du cerveau, causant un manque d'oxygène et de substrat glucolytique (Osa Garcia et al., 2020). À moins d'une reperfusion rapide, la nécrose des neurones est irréversible. Le déséquilibre métabolique ainsi provoqué déclenche une réponse inflammatoire immédiate. Celle-ci endommage toutes les cellules du tissu nerveux, tant les neurones que les cellules gliales. La durée de la réponse

inflammatoire dépend notamment du moment de la reperfusion, qui peut survenir naturellement ou grâce à une thrombolyse ou thrombectomie.

De nombreux processus pathologiques et de récupération entraînent, dans les premiers jours suivants l'AVC, une grande variation de symptômes chez la personne survivant à l'AVC. Ces processus pathologiques et de récupération se poursuivent jusqu'à plusieurs mois suivants l'AVC. Ainsi, les profils cliniques des personnes vivant avec une aphasie sont extrêmement diversifiés et tributaires de facteurs tels la localisation et l'étendue de la lésion (Benghanem et al., 2019), mais aussi de l'interaction entre ces facteurs et l'intégrité structurelle et fonctionnelle des tissus sains restants pour composer le réseau langagier (Carter et al., 2012; Hope et Price, 2016; Willmes et Poeck, 1993).

### **1.2.2 Récupération**

De nombreuses études montrent que la récupération est un processus long et complexe qui se joue à un niveau micro (neuroplasticité) et macro (comportemental). La récupération de l'aphasie, comme la récupération de l'AVC en général, commence spontanément après l'AVC; la phase hyperaiguë (immédiatement après l'AVC jusqu'à 24h après l'AVC) est suivie par la phase aiguë (jours 1 à 7), la phase subaiguë (précoce de 7 jours post-AVC à 3 mois et tardive de 3 mois à 6 mois), puis la phase chronique (plus de 6 mois) (Bernhardt et al., 2017; Papathanasiou, Coppens, Durand, et al., 2022).

Sans être l'objet de cette thèse, il convient de décrire sommairement les mécanismes de récupération qui opèrent immédiatement après l'AVC. Dans les phases hyperaiguë et aiguë, les AVC ischémiques entraînent des processus pathologiques intracellulaires et extracellulaires qui permettent de différencier le noyau nécrotique et les zones environnantes appelées penumbra. Osa Garcia et al. (2020) a récemment réalisé une revue décrivant ces processus de façon détaillée. Au niveau intracellulaire, en lien avec l'épuisement des ressources d'oxygène et de glucose entraîné par l'ischémie, l'AVC cause de l'œdème cytotoxique (Osa Garcia et al., 2020). L'œdème cytotoxique, affectant les échanges d'ions et d'eau dans les cellules, débute dans les minutes suivant l'ischémie et atteint son point culminant environ 24 heures après l'événement (Bardutzky et Schwab, 2007; Osa Garcia et al., 2020). Les cellules initiales impactées par

l'ischémie et l'œdème cytotoxique forment le noyau nécrotique, tandis que les cellules survivantes autour forment la penumbra. L'œdème cytotoxique diminue ensuite progressivement à mesure que le système immunitaire élimine les toxines (Osa Garcia et al., 2020). Au niveau extracellulaire, des processus similaires affectent les cellules gliales environnantes, entraînent de l'œdème vasogénique qui est maximal à environ 3 à 5 jours après l'AVC (Bardutzky et Schwab, 2007). Dans la phase finale de l'œdème vasogénique, environ 7 à 10 jours après le début de l'AVC, la cicatrice gliale se forme, favorisant la guérison des tissus endommagés, mais nuisant à la migration immédiate de cellules souches neurales vers le noyau nécrotique (Adams et Gallo, 2018; Osa Garcia et al., 2020). En plus de ces mécanismes de récupération, quatre phases aiguës se chevauchent : (1) l'inversion du diaschisis <sup>1</sup>, (2) la genèse et réparation cellulaire, (3) la formation de nouvelles connexions neuronales et (4) la modification des réseaux cérébraux existante. Ces événements neurophysiologiques se produisent spontanément à divers degrés, et interagissent avec la neuroplasticité et, potentiellement, le recrutement accru de l'hémisphère controlatéral (Papathanasiou, Coppens, Durand, et al., 2022).

La plasticité cérébrale, ou neuroplasticité, survient naturellement dans le cerveau tout au long de la vie d'une personne, notamment en réponse aux différentes expériences, activités, et aussi des facteurs environnementaux. D'abord, la neuroplasticité est au cœur du développement chez l'embryon et l'enfant, par des mécanismes de neurogenèse, migration neuronale, différenciation neuronale et formation de connexions neuronales (Innocenti, 2022). La neuroplasticité permet au cerveau de se former, et donne aux enfants, la capacité d'apprendre à une vitesse fulgurante. Or, contrairement à ce que certain·e·s peuvent penser, la plasticité cérébrale ne cesse pas à l'âge adulte, bien qu'elle change – à maturité, le cerveau continue à se modifier par, entre autres, la synaptogénèse et la myélination (Innocenti, 2022). La neuroplasticité confère aussi, à tout âge, la capacité au cerveau de s'adapter aux changements, tant intrinsèques qu'extrinsèques (Merzenich et al., 2014). Par exemple, si une personne venait

---

<sup>1</sup> La diaschisis est une réponse à la nécrose des cellules gliales décrites auparavant et représente une diminution de la fonction de régions cérébrales éloignées due à un hypométabolisme, un découplage neurovasculaire et une neurotransmission aberrante.

qu'à perdre la vue en raison d'une blessure à un œil, le cerveau peut se réorganiser pour accroître les fonctions d'autres sens comme l'ouïe ou encore le toucher. Tout au long de la vie, la neuroplasticité soutient les apprentissages et la création de nouveaux souvenirs via la mémoire (Mancini et al., 2022). Les apprentissages mènent en effet à une réorganisation cérébrale et la genèse de nouvelles synapses.

Cela dit, le contexte engendrant la neuroplasticité qui nous intéresse particulièrement dans le cadre de cette thèse est la neuroplasticité qui survient en réponse à une lésion cérébrale. En effet, lorsque des neurones sont endommagés – comme dans le cas d'un AVC – on observe une réorganisation cérébrale visant à limiter la perte de fonction à court, moyen et long terme (Papathanasiou, Coppens, Durand, et al., 2022; Prigatano et al., 2021). Dans le contexte d'un AVC ayant compromis l'intégrité du réseau du langage, le cerveau n'a d'autres choix que de se réorganiser afin de tenter de retrouver au maximum ses fonctions langagières d'auparavant.

#### 1.2.2.1 Réorganisation du réseau langagier après l'AVC

Des recherches longitudinales explorant la récupération neurofonctionnelle en lien avec les gains langagiers ont permis de dégager des patrons de récupération qui peuvent être catégorisés en trois grandes phases (Saur et al., 2006). La première phase correspond avec la phase aiguë et est caractérisée par une défaillance globale du réseau langagier. Dans cette phase, le mécanisme de diaschisis, décrit précédemment, joue un rôle important (Saur et al., 2006). Le diaschisis se résout dans la seconde phase, correspondant à la phase subaiguë. Lors de cette deuxième phase, les aires du réseau langagier encore intactes de l'hémisphère gauche et homologues de l'hémisphère droite sont fortement actives lors de tâches langagières (Saur et al., 2006). L'origine exacte de ce constat demeure inconnue à ce jour. Il peut s'agir d'une compensation pour la lésion de l'hémisphère gauche, ou bien c'est potentiellement dû à une désinhibition. Dans la troisième et dernière phase, on observe généralement une normalisation des activations; l'activation retourne vers les aires saines de l'hémisphère gauche, ressemblant à un patron d'activation observé chez des adultes sans lésion cérébrale (Saur et al., 2006). Dans cette phase, la genèse et réparation cellulaire, et la formation de nouvelles connexions neuronales sous-tendent probablement le processus de réorganisation.



Considérant cette dernière phase, il existe deux *profils typiques* de réorganisation cérébrale qui sont observés dans les phases aiguë et subaiguë, et qui sont fréquemment qualifiés d'adaptifs ou mésadaptés (Anglade et al., 2014). Bien que chez une certaine portion des personnes vivant avec une aphasie, on observe effectivement une normalisation du réseau, pour d'autres, on observe plutôt l'établissement d'un réseau du langage plus vaste dans l'hémisphère droit. Certaines études tendent à montrer un rôle compensatoire et donc bénéfique des régions homologues de l'hémisphère droit (Fernandez et al., 2004; Naeser et al., 2004), mais d'autres allèguent plutôt que l'activation de l'hémisphère droit dans la troisième phase est mésadaptée (Fernandez et al., 2004; Naeser et al., 2004). Ces auteur·rice·s soutiennent que l'hémisphère droit joue un rôle transitoire dans la phase subaiguë, mais qu'en phase chronique, qu'il faut retrouver un transfert des activations à l'hémisphère gauche pour une récupération optimale. En plus du temps écoulé depuis l'AVC, certains facteurs individuels liés à la condition comme la taille de la lésion et sa localisation pourraient jouer un rôle clé pour déterminer si les activations lors de tâches langagières de l'hémisphère droit représentent une neuroplasticité adaptative ou mésadaptée (Anglade et al., 2014). Comprendre le caractère adaptif ou mésadapté est essentiel pour la communauté scientifique, surtout depuis que la neurostimulation non invasive a fait son entrée. Il faut mettre en place des interventions qui entraînent une neuroplasticité qui soit adaptative, et si la neurostimulation non invasive est utilisée, il faut qu'elle soutienne des processus adaptifs également.

D'un point de vue comportemental, au macro-niveau, on qualifie cette période de récupération spontanée. Les changements décrits ci-dessus, qui s'opèrent au niveau micro, se traduisent en changements comportementaux comme de la restauration et de la restitution, de l'habituation, de la réorganisation et de la compensation, de la substitution et de nouveaux apprentissages (Papathanasiou, Coppens, Durand, et al., 2022). Pendant la phase subaiguë, la personne vivant avec l'aphasie et son entourage se mobilisent et mettent tous leurs efforts dans la réadaptation, visant à potentialiser la neuroplasticité qui est en action naturellement. Pour la majorité des personnes, dans les premiers temps après un AVC, des progrès au niveau du langage surviennent plutôt rapidement. L'objectif est alors de réduire les déficits langagiers afin de favoriser la réalisation des activités de la vie quotidienne ainsi que de favoriser la participation

sociale. Dans certains cas, une récupération complète peut être observée (Laska et al., 2001; Lazar et Antonello, 2008; Pedersen et al., 2004).

Bien que les services de réadaptation du système de santé québécois s'arrêtent vers la fin de la phase subaiguë, pour beaucoup, les conséquences de l'aphasie perdurent au-delà. Selon les publications scientifiques, près de 60% des personnes ayant subi un AVC menant à une aphasie en vivent toujours les conséquences une année plus tard – malgré une récupération lors des phases aiguë et subaiguë (Laska et al., 2001; Lazar et Antonello, 2008; Pedersen et al., 2004). L'aphasie devient alors chronique et la réorganisation spontanée du cerveau s'atténue. Dans la phase chronique, la neuroplasticité et les améliorations comportementales demeurent possibles, mais les principes qui les régissent diffèrent quelque peu des phases aiguë et subaiguë. Il s'avère pertinent de s'y intéresser afin de mieux promouvoir les gains dans la phase chronique et adapter les interventions. Dans les prochaines sections, il sera d'abord question de la sémiologie de l'aphasie et ses différents profils et, on s'intéressera aussi à l'impact de l'aphasie sur la qualité de vie des personnes vivant avec ce trouble et de leurs proches. Les mécanismes spécifiques impliqués dans la neuroplasticité dépendante de l'expérience en phase chronique seront décrits plus en détail dans la section 1.3.

### **1.2.3 Sémiologie et classification**

La sémiologie de l'aphasie est vaste et elle comprend des difficultés pouvant toucher la compréhension ou l'expression du langage, dans les domaines phonologique, morphologique, lexical, et syntaxique. Ces domaines s'étendent à travers les modalités orales – affectant la compréhension et l'expression – et écrites – affectant la lecture et l'écriture. (Benghanem et al., 2019; Carter et al., 2012; Hope et Price, 2016; Willmes et Poeck, 1993)

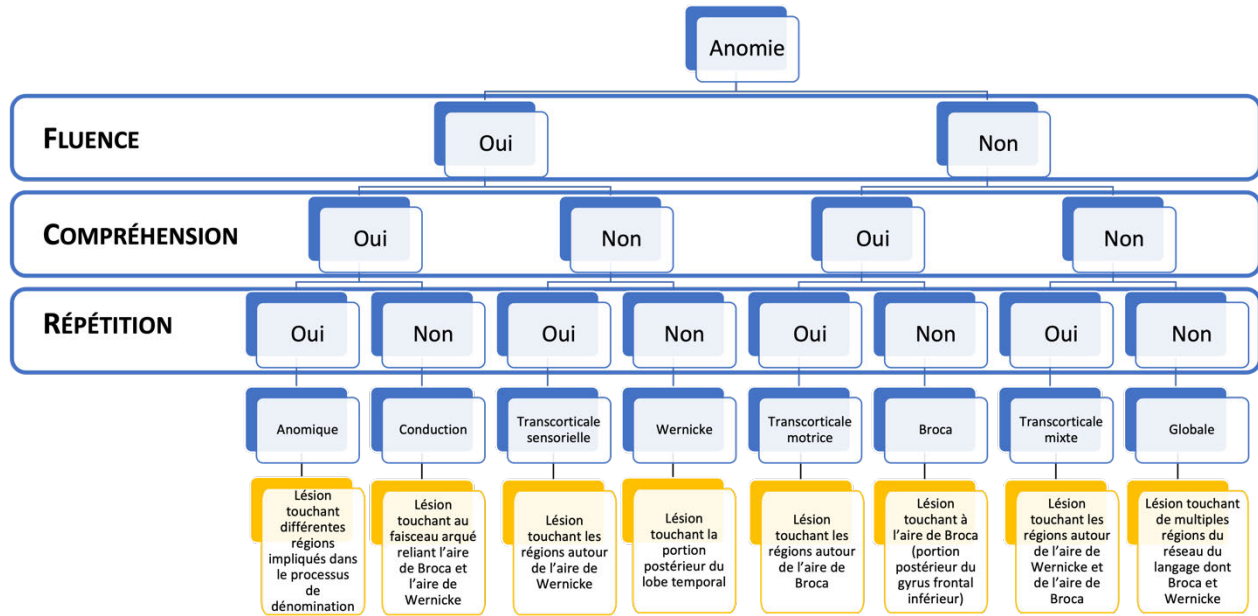
Au gré des évolutions théoriques et des apports de la recherche clinique, la taxonomie de l'aphasie a évolué. Au départ, l'aphasie était principalement décrite sur le plan des symptômes cliniques généraux, tels que la perte de la capacité à parler (décrite comme une forme motrice) ou à comprendre le langage (la forme sensorielle) (Viader, 2015). Par la suite, des classifications plus précises et opérationnalisées qui utilisaient des résultats à différents tests ont été établies (Kertesz et Phipps, 1977). Entre autres, la taxonomie de Kertesz et Phipps (1977) se base sur une

approche clinico-linguistique, dans laquelle les symptômes de l'aphasie sont décrits en matière de capacités linguistiques telles que la compréhension, la production et la répétition. À la fin du XXe siècle, les neurosciences ont progressé et les techniques d'imagerie cérébrale ont permis d'obtenir des informations plus détaillées sur les régions cérébrales impliquées dans le langage. À ce jour, la taxonomie la plus répandue dans la pratique clinique est celle établie par Helm-Estabrooks et Albert (2004). Elle est basée sur une approche neuroanatomique, et utilise les profils de déficits linguistiques observés et l'emplacement des lésions cérébrales généralement correspondantes pour catégoriser les profils d'aphasies en huit formes distinctes. Plus précisément, cette taxonomie utilise la présence ou l'absence des déficits langagiers (1) fluence du discours de la personne (fluent ou non fluent), (2) trouble de compréhension et (3) capacité de la personne à répéter pour catégoriser l'aphasie d'une personne et inférer la lésion cérébrale sous-jacente (voir la figure 3 ci-dessous qui illustre la taxonomie traditionnelle établie par Helm-Estabrooks et Albert (2004)). Cette taxonomie fournit une compréhension plus nuancée et détaillée de l'aphasie et de ses sous-types, et a été largement adoptée par les chercheurs et les cliniciens dans le domaine.

Au cours des dernières années, la validité des systèmes de catégorisation de l'aphasie en fonction des symptômes est remise en question (Halai et al., 2017), notamment par ses limitations dans la prise en considération des symptômes individuels. Certains soulignent également un manque de correspondance entre les profils d'aphasie et les lésions neuroanatomiques sous-jacentes, bien que les résultats ne soient pas toujours convergents sur ce point (Yourganov et al., 2015). Certaines équipes de recherche trouvent des correspondances très fortes entre les lésions et les symptômes observés, mais une très grande variabilité existe entre les publications selon la méthodologie utilisée (Na et al., 2022; Wilson et Hula, 2019). Le consensus à l'heure actuelle est de considérer l'aphasie comme un trouble qui survient lorsqu'il y a rupture au sein du réseau du langage (Fridriksson, den Ouden, et al., 2018; Hartwigsen et Saur, 2019; Herbet et Duffau, 2020; Mesulam, 1990).

**Figure 3**

*Adaptation française de la classification de Helm-Estabrooks et Albert (2004) permettant de classifier les aphasies selon les critères d'anomie, de fluence, de compréhension et de répétition incluant le profil typique de lésions associées.*



### 1.2.3.1 Anomie

L'aphasie rend les personnes particulièrement susceptibles de produire des erreurs au niveau du mot. En effet, même si les adultes sans lésion cérébrale peuvent aussi en produire, l'anomie est le symptôme caractéristique de l'aphasie selon le système de classification des aphasies le plus couramment utilisé (voir la Figure 3 ci-dessus). Goodglass et Wingfield (1997) indiquent que l'anomie est la difficulté à récupérer les mots requis pour désigner les concepts familiers, tant en discours libre que sur demande, lors d'une tâche de dénomination par exemple, bien que le mot soit connu par la personne. L'anomie s'avère également être le symptôme le plus persistant dans l'aphasie; malgré une récupération considérable, certaines personnes se retrouvent avec l'anomie comme étant le seul symptôme résiduel (Goodglass et Wingfield, 1997). L'anomie se répercute de façon continue sur le discours de la personne qui vit avec une aphasie, notamment dans les conversations son entourage, affectant significativement ses échanges interpersonnels (Macoir et al., 2011; Marcotte et al., 2006). L'anomie survient lorsqu'il y a

rupture dans le modèle neurofonctionnel du langage présenté à la section 1.1. Pour concevoir des interventions efficaces ciblant l'anomie, il est essentiel de bien la comprendre.

#### *1.2.3.1.1 Fondements théoriques de l'anomie*

Les erreurs produites, que ce soit dans le contexte d'une aphasie ou dans la vie de tous les jours pour une personne sans lésion cérébrale, ne sont pas aléatoires. Au contraire, elles impliquent différentes unités comme un phone, un phonème, une syllabe, un morphème ou un mot, tous représentés dans les différents niveaux des modèles cognitifs et neurofonctionnels de la dénomination. Lors du discours d'une personne qui vit avec une aphasie, l'anomie peut se traduire par des délais dans la réponse, des hésitations, des circonlocutions, des formulations vagues, la production de paraphasies, des phrases avortées, et même d'absences de réponses (Goodglass et Wingfield, 1997; Leloup et al., 2012). Les paraphasies sont des erreurs linguistiques pouvant être catégorisées selon leur nature. Lorsque le mot produit est :

- sémantiquement lié au mot-cible, comme lorsque la personne dit « couteau » en désignant une fourchette, on parle d'une paraphasie sémantique.
- phonémiquement lié au mot-cible, avec l'ajout, l'omission ou la substitution de phonèmes, comme lorsque la personne dit « fourtette » en désignant une fourchette, on parle d'une paraphasie phonémique.
- un autre mot de la langue, mais sans lien sémantique ou phonologique au mot-cible, comme dans une situation où la personne dit « habit » pour désigner une fourchette, on parle d'une paraphasie verbale formelle
- la production de la personne contient des transformations phonémiques tellement importantes que, bien qu'elle respecte les règles phonologiques de la langue, celle-ci n'a aucun sens – on parle alors d'un néologisme comme dans /døno/ pour désigner une fourchette. Lorsque le discours de la personne est composé majoritairement de néologismes, on parle alors de jargon. Ce type de discours est associé avec une sévérité de l'aphasie plus importante.

Comme mentionné précédemment, la nature de l'anomie des individus peut différer et le point de rupture au sein du modèle peut différer. Les auteur·rice·s s'entendent généralement pour classer les anomies dans trois (3) catégories; d'origine sémantique, phonologique et phonophonémique. Dans le contexte d'une aphasie post-AVC, il y a rarement des dégradations des représentations conceptuo-sémantiques (Martin, 2022). Celles-ci sont toutefois possibles dans le contexte d'une aphasie primaire progressive, variante sémantique, mais cela s'étend au-delà de la portée de cette thèse. Donc, pour dire un mot, on doit accéder au sens et aux sons associés au mot-cible, et ces deux étapes peuvent être affectées dans le contexte d'une aphasie (Martin, 2022). Selon le modèle théorique considéré, les processus conduisant aux manifestations des différentes catégories d'anomie et l'explication des erreurs variées pouvant être observées dans le discours des personnes qui vivent avec une aphasie divergent.

Dans le modèle à étapes séquentielles, l'anomie sémantique est expliquée par une dégradation de l'activation des représentations lexico-sémantiques; l'anomie phonologique est expliquée par une dégradation de l'activation des représentations lexico-forme; et l'anomie phonophonémique est expliquée par une dégradation de l'activation de l'encodage phonologique (Martin, 2022).

Selon le modèle par activation interactive, lors de l'étape 1 (voir Figure 4b), il existe deux potentiels moments de rupture du processus. D'abord, il peut y avoir une dégradation de l'activation interactive entre le réseau sémantique et le réseau lexical. Cela donne lieu à une anomie d'origine sémantique où on observe un bon nombre de paraphasies sémantiques et parfois des omissions si aucun mot n'a été suffisamment activé. Si la dégradation touche plutôt l'activation interactive entre le réseau lexical et le réseau phonologique, cela donne plutôt lieu à des paraphasies phonologiques ou verbales formelles. À l'étape 2, on peut observer une dégradation de l'activation entre le réseau phonologique et l'encodage phonologique, ce qui peut entraîner aussi des paraphasies phonologiques ou des néologismes (Dell et al., 2004; Martin, 2022).

En adoptant la perspective de la neurobiologie du langage, l'anomie peut aussi être mise en relation avec la taille ou l'emplacement de la lésion cérébrale. Lorsqu'il est question de déficit

en production de la parole toutefois, la localisation de la lésion et la taille de la lésion ensemble prédisent plus efficacement l'étendue des déficits comparativement à la taille de la lésion seule (Mirman et Thye, 2018). Il est ainsi possible d'associer l'emplacement de la lésion et sa taille aux symptômes d'anomie présents, tout comme il est possible de mettre en relation l'impact de la lésion sur le réseau langagier et les difficultés présentes. Dans une récente méta-analyse, Piai et Eikelboom (2023) ont identifié quatre amas (*clusters*) de régions anatomiques pour lesquelles il y a une relation significative entre la performance en tâche de dénomination et la présence d'une lésion cérébrale. La méta-analyse est réalisée à partir de 10 études rassemblant 534 participant·e·s. Le premier amas lié à la performance en dénomination couvre principalement le cortex temporal antérieur (STG, ITG, MTG et insula) (Piai et Eikelboom, 2023). Ainsi, les lésions touchant ces régions sont associées à un déclin de la performance de dénomination. Le deuxième amas identifié dans la méta-analyse de Piai et Eikelboom (2023) couvre le IPL/gyrus angulaire gauche et surtout la matière blanche formant le faisceau arqué. Le troisième amas couvre le gyrus post-central gauche et le quatrième amas couvre le MFG gauche (Piai et Eikelboom, 2023). Fridriksson, den Ouden, et al. (2018) identifie également que les lésions affectant la portion postérieure du STG, le gyrus angulaire et aire supplémentaire motrice influencent négativement la dénomination. En complément, les auteur·rice·s identifient aussi un réseau dont l'intégrité est associée à la dénomination. Ce réseau inclut des régions de la voie ventrale et la voie dorsale, dont la portion postérieure du STG identifiée précédemment, mais aussi le gyrus précentral, l'IFG, le MFG et le MTG. L'analyse de réseau de Fridriksson, den Ouden, et al. (2018) montre que le réseau supportant la dénomination est un vaste réseau à grande échelle, des lésions dispersées peuvent entraîner des déficits. Plus en lien avec l'amas 2, Fridriksson, den Ouden, et al. (2018) identifie également des lésions superposant cette région, identifié comme la portion postérieure du MTG, comme entraînant des erreurs de type sémantique.

En résumé, l'anomie survient lorsque l'intégrité du réseau lexical est atteinte, comme par suite d'un AVC. Selon le modèle théorique de la dénomination qui est préconisé, le locus sous-jacent à l'anomie, que ce soit phonologique ou sémantique, peut être expliqué différemment. Outre le

locus sous-jacent de l'anomie, des facteurs liés à la lésion peuvent aussi aider à comprendre l'origine de l'anomie.

#### **1.2.4 Qualité de vie**

Pour terminer cette section portant sur l'aphasie, ce point est sans doute l'un des plus importants : comme clinicien·ne, il est également important de considérer l'impact de l'aphasie sur la qualité de vie de toutes les personnes qui en sont affectées. L'aphasie agit comme un voile affectant sévèrement la perception de compétence de la personne qui vit avec ce trouble et nuisant à ses interactions communicationnelles, tant en conversation orale qu'à l'écrit. En effet, l'aphasie affectera la communication de la personne qui a subi la lésion cérébrale. Or, la communication est une compétence particulière en ce sens qu'on ne la réalise pas seul·e. Son déclenchement soudain est souvent vécu comme traumatique pour la personne qui vit avec l'aphasie et pour ses proches. Toutes les occasions de communication, servant notamment à échanger des informations, des émotions ou des idées, impliquent un·e émetteur·trice et un·e récepteur·trice. L'aphasie touche la réalisation de chacune de ces fonctions dans la communication, ce qui entrave la capacité de la personne à occuper ses rôles sociaux. Les implications pour la personne qui vit avec l'aphasie et ses proches sont multiples, tant du point de vue psychologique, émotionnel, professionnel et financier. Joannette et al. (2018) sont même allé·e·s jusqu'à décrire l'aphasie comme un événement entraînant un double coup, un premier lorsque la personne vit les difficultés de communication avec son entourage, et un second lorsque la personne ne parvient pas à exprimer les frustrations et la tristesse qui sont générées par ces difficultés de communication.

En réadaptation, il est possible de cibler les déficits langagiers, tout comme il est possible de cibler l'efficacité de la communication et de considérer la personne dans sa globalité, pas seulement d'après son trouble du langage. Tant et aussi longtemps que la personne et son entourage vivent des difficultés de communication, ces dernières influenceront leur qualité de vie ce qui est important de considérer au cours de la réadaptation. Il est également important de prendre en compte leur bien-être émotionnel et social et ainsi que d'aider les personnes qui



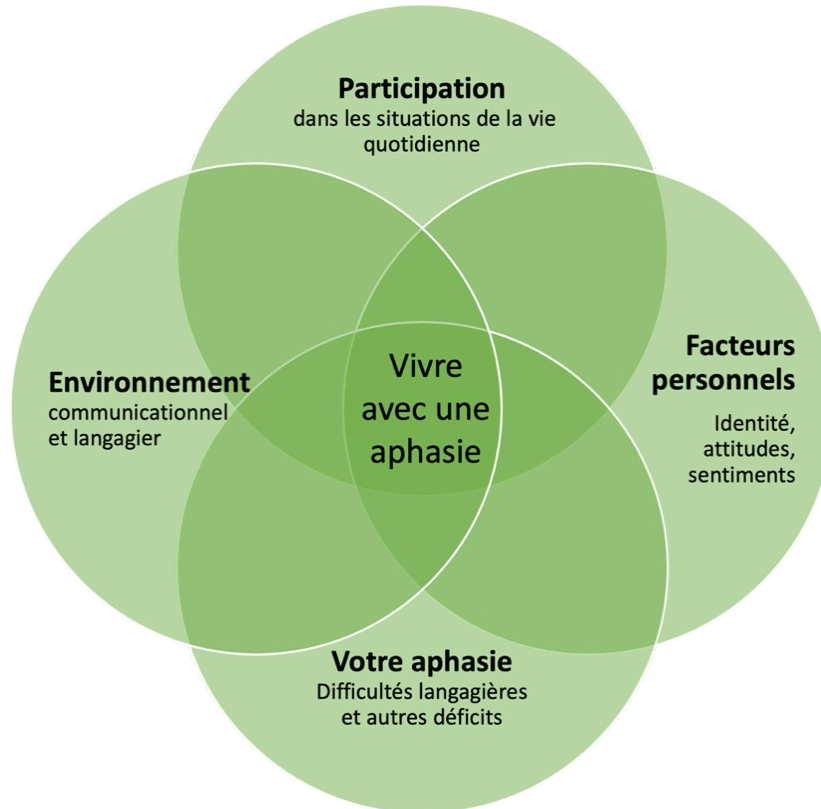
vivent avec une aphasie à maintenir des relations positives avec leur entourage (Cruice et al., 2003).

Plusieurs modèles théoriques s'accordent pour dire que les implications biologiques, psychologiques et sociales de l'aphasie interagissent de façon déterminante sur la qualité de vie de la personne qui vit avec une aphasie (Kagan et al., 2008). Le modèle *Living with Aphasia : Framework for Outcome Measurement (A-FROM)* (Kagan, 2011) est un modèle qui intègre des principes du Modèle de développement humain – Processus de production du handicap (MDH-PPH) (Fougeyrollas, 2021) et de la Classification International du Fonctionnement (CIF) (World Health Organization, 2001), adoptant la perspective explicite d'une personne qui vit avec une aphasie. La Figure 4 ci-dessous illustre le modèle et ses composantes. Les facteurs biologiques influençant la qualité de vie incluent notamment les symptômes et la sévérité de l'aphasie, ainsi que toutes les conditions médicales sous-jacentes qui pourraient contribuer ou exacerber à l'état. Les facteurs psychologiques comprennent la dépression, l'anxiété et l'estime de soi, ainsi que la capacité de la personne à faire face à l'impact de l'aphasie sur sa vie quotidienne. Les facteurs sociaux comprennent la disponibilité du système de soutien composé de la famille et des ami-e-s, l'accès aux services de réadaptation et la possibilité de participer à des activités sociales.

#### Figure 4

Modèle *Living with Aphasia: Framework for Outcome Measurement (A-FROM)* (Kagan, 2011)

[adaptation et traduction libre]



*Note.* Tiré de Kagan (2011). Copyright © 2011, Rights Managed by Georg Thieme Verlag KG Stuttgart • New York. Autorisation d'adapter l'image.

En général, les personnes qui vivent avec une aphasie ont une récupération à long terme qui est moins satisfaisante comparativement aux personnes qui survivent à un AVC sans aphasie. En effet, l'aphasie mène généralement à une isolation sociale, accroît le risque de dépression et réduit la qualité de vie de la personne qui vit avec l'aphasie et ses proches (Hilari, 2011; Papathanasiou, Coppens et Davidson, 2022). Les modèles biopsychosociaux reconnaissent que ces facteurs interagissent pour influencer la qualité de vie globale des personnes vivant avec une aphasie (Kagan et al., 2008). Comme le met en évidence le modèle A-FROM, la sévérité des symptômes d'une personne n'est le seul indicateur du sentiment de handicap que peut vivre une personne (Franzen-Dahlin et al., 2010). Il faut aussi s'interroger sur la participation sociale

souhaitée, l'environnement dans lequel se trouve la personne et ses facteurs personnels pour bien saisir l'impact de l'aphasie dans le quotidien de la personne.

En prenant en compte tous ces facteurs, les orthophonistes et autres intervenant-e-s en santé peuvent développer une approche plus complète pour améliorer la qualité de vie des personnes vivant avec une aphasie et leur entourage. Une perspective holistique ne va pas à l'encontre des interventions ciblant les déficits, bien au contraire, elle plaide plutôt pour un élargissement des champs de pratique des orthophonistes pour inclure le soutien des personnes vivant avec une aphasie dans l'accomplissement des objectifs sociaux et communicatifs (Ross et Wertz, 2010; Simmons-Mackie, 1998).

### **1.3 Interventions en orthophonie**

Les orthophonistes sont des professionnel-le-s de la santé qui interviennent auprès de personnes qui vivent avec des troubles de la communication, dont l'aphasie. Leur travail est d'évaluer les troubles du langage, de la parole et de la communication et d'intervenir afin de réduire les difficultés auxquelles fait face une personne dans son quotidien. Selon les déficits de la personne qui vit avec une aphasie et les situations de handicap qui seront perçues par celle-ci, l'orthophoniste déterminera avec elle, parmi la très grande variété d'interventions à sa portée, celle qui convient le mieux à sa situation. Parmi les différentes approches thérapeutiques, les approches ciblant le déficit seront celles discutées dans le cadre de cette thèse. Complémentaires à ces interventions, on retrouve notamment les interventions ciblant la communication alternative et augmentée, la formation des partenaires de communication, les interventions de groupe, et même les traitements visant à potentialiser les interventions ciblant les déficits comme la pharmacothérapie et la neurostimulation non invasive (*non-invasive brain stimulation*; NIBS) telles la stimulation magnétique transcrânienne (*transcranial magnetic stimulation*; TMS) et la stimulation électrique transcrânienne (*transcranial direct current stimulation*; tDCS). Ceci représente bien sûr une simplification importante de la complexité du travail de l'orthophoniste et discuter de toutes ces interventions dépasse le cadre de cette thèse. Cela dit, chaque personne vivant avec un trouble de la communication, dont l'aphasie, est unique et les interventions en orthophonie doivent être sélectionnées et adaptées tant à ses

déficits qu'à ses besoins individuels. Les orthophonistes travaillent en collaboration avec les personnes pour déterminer le meilleur plan d'intervention celles-ci.

Ainsi, le type d'intervention la plus répandue et connue auprès de personnes qui vivent avec une aphasie est la thérapie individuelle ciblant le déficit. Ce type de thérapie vise globalement à améliorer les compétences linguistiques telles que la compréhension, la production de mots, la morphosyntaxe et la grammaire. Au moment de mettre en place l'intervention, l'orthophoniste doit déterminer différents paramètres afin de maximiser l'efficacité de celle-ci. Comme mentionné précédemment, à la phase chronique, la neuroplasticité et les améliorations comportementales demeurent possibles mais les principes qui les sous-tendent présentent quelques différences par rapport aux phases aiguë et subaiguë. La neuroplasticité devient dépendante de l'expérience et ne survient plus spontanément. Il est important de bien considérer ces principes afin de maximiser les gains des personnes vivant avec une aphasie chronique. Par ailleurs, il existe des facteurs influençant la réponse à l'intervention peuvent être catégorisés par rapport à la personne qui reçoit l'intervention comme étant des facteurs extrinsèques ou intrinsèques (Kiran et Thompson, 2019). Les principes de neuroplasticité et les facteurs appartenant à chacune de ces catégories seront discutés ci-dessous.

### **1.3.1 Plasticité cérébrale, apprentissage, et les principes qui les régissent**

L'objectif des interventions en orthophonie est très certainement les gains au niveau comportemental (macro); aider les personnes vivant avec une aphasie à ce que les déficits deviennent (ou soient perçus comme) moins sévères et que ces dernières puissent mieux participer dans les interactions du quotidien. Or, pour permettre ces gains dans le quotidien, il est nécessaire pour le cerveau de changer et s'adapter au niveau micro, phénomène qui est appelé la plasticité cérébrale. En phase chronique, cette neuroplasticité dépend de l'expérience à laquelle on soumet la personne – dans ce cas-ci, l'expérience c'est l'intervention en orthophonie. Cette section décrit les principes qui favorisent les changements dans le cerveau, et aussi les modalités qui favorisent les gains en termes d'apprentissage.

### 1.3.1.1 Neuroplasticité dépendante de l'expérience

La neuroplasticité sert, entre autres, à soutenir les nouveaux apprentissages (Innocenti, 2022; Mancini et al., 2022). Il est possible de soumettre le cerveau à des expériences selon des modalités particulières pour favoriser la plasticité cérébrale, soit les changements au niveau micro, phénomène que l'on appelle neuroplasticité dépendante de l'expérience (NPDE). Kleim et Jones (2008) ont identifié dix principes, à partir de la recherche animale, à appliquer aux expériences et stimulations pour favoriser la NPDE et donc les changements comportementaux. Les deux premiers facteurs concernent la contrainte d'utilisation. Ceux-ci indiquent que (1) si une fonction n'est pas utilisée, celle-ci sera perdue selon le processus d'élagage synaptique, et le principe analogue, (2) l'utilisation d'une fonction entraîne son amélioration selon le processus de synaptogénèse. Par ailleurs, Kleim et Jones (2008) ont déterminé que pour engendrer un changement au niveau du cerveau, il est important de (3) cibler une habileté spécifique et distinctive, et qu'il est nécessaire d'offrir un (4) nombre suffisant de répétitions et l'entraînement doit être offert avec (5) une intensité suffisante pour permettre aux changements cérébraux de s'opérer. Kleim et Jones (2008) précisent également que l'entraînement doit avoir (7) une valeur saillante pour que le cerveau encode ces apprentissages. Les auteurs parlent également des facteurs de (8) l'âge, du temps écoulé depuis la lésion et de l'effet de (9) transfert et (10) d'interférence (Kleim et Jones, 2008).

En s'inspirant de ces principes issus de recherche fondamentale permettant de favoriser NPDE (le niveau micro), des équipes de recherches ont cherché à identifier comme les modalités des thérapies en orthophonie peuvent être ajustées pour cibler également la NPDE et ainsi favoriser les changements comportementaux (le niveau macro). Kiran et Thompson (2019) ont écrit une revue concernant la neuroplasticité spécifiquement dans le contexte d'aphasie post-AVC. Les autrices établissent six principes phares pour promouvoir la NPDE chez les personnes qui vivent avec une aphasie. Les principes sont résumés dans le Tableau 1.

#### **Tableau 1**

*Principes favorisant la neuroplasticité des réseaux langagiers en interventions avec les personnes vivant avec une aphasie post-AVC selon Kiran et Thompson (2019) [traduction libre]*

<b>Principes favorisant la NPDE dans les interventions ciblant l'aphasie post-AVC</b>	<b>Définition</b>
Utilise-le et améliore-le, ou perds-le	Ce principe suggère qu'une intervention centrée sur les processus langagiers perturbés peut conduire à la récupération des mécanismes neuronaux sous-jacents associés à ces processus, et que la sous-utilisation des systèmes langagiers <i>spécifiques</i> par suite d'un AVC peut entraîner une diminution de la capacité à engager les réseaux neuronaux existants ou de nouveaux réseaux qui soutiennent ces processus. Ces principes soutiennent l'utilisation d'interventions ciblant les déficits.
La spécificité reconstruit les réseaux ciblés	La spécificité des interventions reconstruit les réseaux langagiers spécifiques, supportant l'utilisation d'interventions ciblant les déficits primaires de la personne en fonction de la compréhension actuelle des processus et représentations typiques du langage.
La saillance est essentielle	Le principe de saillance implique que la réorganisation des substrats cérébraux du traitement du langage dans l'aphasie peut être stimulée par une intervention qui couple un protocole spécifique avec des stratégies visant à améliorer la motivation et l'attention (par exemple, en utilisant des mots significatifs sur le plan fonctionnel ou en préconisant des approches fonctionnelles et participatives.
La répétition et l'intensité favorisent l'apprentissage et la consolidation	La répétition et l'intensité du traitement ont été présentées comme deux principes distincts pour favoriser la NPDE, mais l'absence de distinction claire entre les deux principes a encouragé les autrices à les combiner. Le nombre d'essais requis pour l'apprentissage (ou le réapprentissage) et la durée des essais influence l'apprentissage, mais la quantification de ces paramètres demeure incertaine.
Promouvoir la généralisation ; éviter les interférences	La généralisation des effets d'une intervention à des comportements non-entraînés est un objectif primordial en réadaptation de l'aphasie. Cependant, la plasticité en réponse à une expérience peut interférer avec l'acquisition d'autres comportements. Des travaux futurs doivent se pencher davantage sur les preuves de la présence et de la prévalence de l'interférence induite par les interventions qui ont un impact sur la plasticité neuronale.
La complexité améliore l'apprentissage et la généralisation	L'utilisation de mots ou structures plus complexes permet la généralisation aux structures ou mots plus simples; les mots ou structures plus simples ne généralisent pas aux structures ou mots plus complexes.

Ces principes donnent aux orthophonistes un point de départ dans leurs réflexions quant aux ingrédients et aux modalités à employer dans les interventions auprès des personnes qui vivent

avec une aphasie. Cela permet aussi d'avoir une pensée critique en réfléchissant aux potentiels effets d'une nouvelle intervention. Par ailleurs, les interventions basées sur les principes de NPDE sont parmi les plus prometteuses dans l'idée de personnaliser les interventions et mener à la meilleure récupération (Mohr, 2017). Il est toutefois nécessaire de mieux comprendre les processus en jeu dans la NPDE et l'interaction entre les composantes, soit la neuroplasticité et l'intervention à laquelle est soumise la personne vivant avec une aphasie.

#### *1.3.1.1.1 Mesures de la plasticité cérébrale dans la réadaptation de l'aphasie*

La neuroimagerie permet d'étudier le cerveau, sa structure et son fonctionnement de manière non invasive. Dans l'étude de la NPDE en orthophonie, il s'avère intéressant de comparer le fonctionnement du cerveau avant et après une intervention pour comprendre les processus en jeu au niveau micro et ainsi mieux soutenir les gains. Cela est possible en couplant des analyses de neuroimagerie et des thérapies en orthophonie. Pour une revue sommaire des analyses de neuroimagerie possible, veuillez consulter l'Annexe 1. En utilisant ces techniques, plusieurs équipes de recherche ont montré que des thérapies en orthophonie peuvent entraîner une NPDE chez des personnes vivant avec une aphasie chronique.

Dans notre laboratoire, Marcotte et al. (2012) a étudié la NPDE par suite de la thérapie par analyse des traits sémantiques (ATS, ou en anglais *semantic feature analysis*; SFA (Coelho et al., 1995)) auprès de neuf personnes vivant avec une aphasie depuis plus de quatre années. En comparant les activations en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) pendant une tâche de dénomination avant et après l'intervention, l'équipe a trouvé que les personnes ayant le plus bénéficié de l'intervention montraient moins d'activation en post-thérapie. Les personnes ayant bénéficié de l'intervention recrutaient les gyri précentraux bilatéraux, le IPL gauche et les MTG bilatéraux (Marcotte et al., 2012). L'activation du IPL gauche est interprétée par les auteur·rice·s comme reflétant la nature sémantique de l'intervention (Marcotte et al., 2012). Pour le groupe de participant·e·s ayant moins bien répondu, les activations avaient augmenté après l'intervention et celles-ci se trouvaient dans les régions occipitales, le SMG et MTG gauche, le STG droit et les gyri frontaux médians bilatéraux (Marcotte et al., 2012). Ces profils de NPDE différents entre les personnes ayant bien répondu à l'intervention et celles ayant moins bien répondu amènent les auteur·rice·s à conclure que des mécanismes différents

ont dû s'opérer. Par ailleurs, pour les personnes ayant moins bénéficié de l'intervention, des aires non spécifiques au langage supportaient la réalisation de la tâche, ce qui peut s'avérer une NPDE moins adaptative (Marcotte et al., 2012). Dans une autre étude, Marcotte et al. (2013) ont étudié les changements du réseau du mode par défaut (*default-mode network*; DMN) par suite de la même intervention et ont identifié une augmentation de l'intégration au sein de la portion postérieure du DMN avec une tendance vers la normalisation de l'intégration. Une autre équipe a comparé la NPDE par suite de deux interventions ciblant l'anomie (van Hees, McMahon, Angwin, de Zubicaray et Copland, 2014; van Hees, McMahon, Angwin, de Zubicaray, Read, et al., 2014) – soit l'analyse des composantes phonologiques (ACP, ou en anglais *phonological component analysis*; PCA (Leonard et al., 2008)) et l'analyse des traits sémantiques (ATS, ou en anglais *semantic feature analysis*; SFA (Boyle, 2010; Boyle et Coelho, 1995; Coelho et al., 1995)), deux interventions qui seront décrites dans la section suivante. Dans ces études, d'abord en contrastant les activations en IRMf pendant une tâche de dénomination, les auteur·rice·s identifient une augmentation du signal dans le SMG gauche corrélée avec des gains en dénomination post-thérapie. Ensuite, en analysant la connectivité fonctionnelle du DMN en IRMf de repos, les auteur·rice·s identifient une normalisation et une régulation positive de la connectivité fonctionnelle du DMN, particulièrement dans la portion frontotemporale gauche, notamment entre le SMG, le MTG et le IFG, et aussi entre les IFG bilatéraux (van Hees, McMahon, Angwin, de Zubicaray, Read, et al., 2014). Finalement, dans une étude, Abel et al. (2014) ont étudié l'effet d'une intervention à indices hiérarchiques sémantiques et phonologiques auprès de 14 personnes vivant avec une aphasie depuis au moins quatre mois. La dénomination de neuf des 14 participant·e·s s'est avérée significativement améliorée après l'intervention (Abel et al., 2014). Les activations IRMf pendant une tâche de dénomination ont été comparées avant et après l'intervention, les gains en dénomination étaient associés à une diminution de l'activation dans le réseau de dénomination post-AVC, notamment, le MTG, STS et SMA de l'hémisphère droit et le IFG, gyrus pré- et post-central et le IPL de l'hémisphère gauche. Cette diminution d'activation était associée, selon les auteur·rice·s, à une meilleure efficacité du réseau langagier après l'intervention (Abel et al., 2014). Des analyses subséquentes ont identifié qu'une diminution moins importante de l'activation de l'IFG gauche



était liée à de meilleurs gains (Abel et al., 2014). Cela dit, grâce aux appareils hautement technologiques, comme l'IRM entre autres, il est possible d'étudier le fonctionnement du cerveau des personnes *in vivo* et démontrer que les interventions auxquelles on soumet les personnes, même en présence d'une lésion cérébrale qui date de plusieurs années, provoquent la NPDE.

Selon la revue réalisée par Hartwigsen et Saur (2019), il n'est toujours pas clair de la contribution respective des régions d'intérêt de l'hémisphère gauche et droit pour le NPDE en orthophonie. Certaines études rapportent une augmentation de l'activation des régions de l'hémisphère droit associées à la réussite du traitement, et d'autres une régulation à la baisse, certaines rapportent une augmentation des régions périlésionnelles ou épargnées de l'hémisphère gauche associée à la réussite du traitement, et d'autres une régulation à la baisse, et certaines études rapportent une augmentation des régions bilatérales associées à la réussite du traitement (Hartwigsen et Saur, 2019). Or, malgré la variabilité observée dans les profils de récupération, la NPDE produite par les thérapies en orthophonie se situe principalement dans le réseau langagier préexistant couvrant le territoire pariéto-temporo-frontal bilatéral (Hartwigsen et Saur, 2019).

#### 1.3.1.2 Théorie de l'apprentissage en aphasiologie

Outre les principes de NPDE qui permettent de favoriser les changements au niveau micro, les effets d'une intervention ciblant l'anomie chez les personnes qui vivent avec une aphasie visent ultimement des changements de comportement, ce qui représente le niveau macro. Ainsi, la neuroréadaptation s'inspire des théories de l'apprentissage depuis bon nombre d'années (Baddeley et Wilson, 1994; Nunn et al., 2023). Depuis, les chercheur·euse·s ont mis leurs efforts en commun pour développer un cadre théorique opérationnalisant les principes applicables en réadaptation avec une taxonomie détaillée : le système de spécification des traitements de réadaptation (*rehabilitation treatment specification system*; RTSS) (Dijkers et al., 2014; Hart et al., 2019; Hart et al., 2014; Whyte et al., 2014). Ces principes représentent donc l'équivalent des principes de NPDE, mais en ciblant les changements comportementaux plutôt que de neuroplasticité.

Les trois éléments qui composent la théorie RTSS sont les ingrédients actifs d'une intervention spécifique, leurs effets sur les cibles d'intervention et les mécanismes d'action décrivent la relation entre les deux (Hart et al., 2019). L'objectif est de décrire l'effet d'une intervention en définissant les cibles d'intervention, soit les comportements qui sont visés par l'intervention, les ingrédients actifs dans l'intervention qui visent à avoir un effet sur les cibles, et les mécanismes d'action qui expliquent la relation entre les deux (Basilakos et al., 2022). Les ingrédients actifs peuvent désigner une intervention comportementale spécifique, des explications plus générales, de la neurostimulation non invasive telle que la tDCS ou TMS, de la pharmacothérapie, des outils de suppléance à la communication et même des modalités particulières d'intervention (Basilakos et al., 2022; Fridriksson et al., 2022; Hart et al., 2019). Les cibles d'intervention sont catégorisées, dans le RTSS, comme visant (1) le fonctionnement d'un organe, (2) des aptitudes et habitudes, ou encore (3) des représentations (Hart et al., 2019). Les interventions ciblant l'anomie ont ainsi des cibles d'interventions dans les catégories des aptitudes et habitudes puisqu'elles visent, par exemple, à améliorer les réponses correctes lors de la dénomination d'objets et à communiquer, et également dans la catégorie représentations puisqu'elles visent également à accroître les connaissances phonologiques ou sémantiques ou encore à faire adopter des stratégies de compensation de manque du mot (Basilakos et al., 2022). Les auteur·rice·s du RTSS soulignent l'importance de mieux comprendre les mécanismes d'action, soit l'interaction entre les ingrédients actifs d'intervention et les cibles mesurées. Les mécanismes d'action sont sans doute influencés par les facteurs personnels, les facteurs liés à la lésion et les facteurs extrinsèques; pour effectuer les meilleurs choix centrés sur la personne qui reçoit une intervention spécifique, il est important de mieux comprendre les mécanismes en jeu. Une force supplémentaire du RTSS est sa reconnaissance du rôle de la volonté de la personne qui reçoit l'intervention, ou sa motivation en d'autres mots. Veuillez voir Basilakos et al. (2022), Fridriksson et al. (2022) et Fridriksson et al. (2022) pour une opérationnalisation du RTSS aux thérapies en orthophonie.

Typiquement, selon les théories d'apprentissage, les interventions ciblant l'anomie chez les personnes qui vivent avec une aphasie – et donc ayant pour cible d'intervention d'améliorer la précision en dénomination – peuvent être catégorisées sous trois grandes familles : (1)

l'apprentissage sans erreur (ASE ou *errorless learning* en anglais), qui correspond à demander à la personne de répéter le mot-cible, (2) l'apprentissage avec erreur (AAE ou *errorful learning* en anglais) correspond à des tâches de type dénomination avec peu de soutien (Nunn et al., 2023). Il existe aussi les interventions de type (3) pratique de rappel (PR ou *retrieval practice* en anglais) qui se déroulent en deux phases, une première de familiarisation avec la cible, parfois avec une consigne de répétition, puis un temps de consolidation (parfois avec d'autres tâches ou items), puis une phase de rappel avec une tâche de type dénomination (Nunn et al., 2023). Une revue récente a appliqué de cadre théorique RTSS aux interventions en orthophonie pour tenter de dégager les mécanismes d'action généralement identifiés, en fonction des ingrédients composant les interventions et des cibles d'intervention.

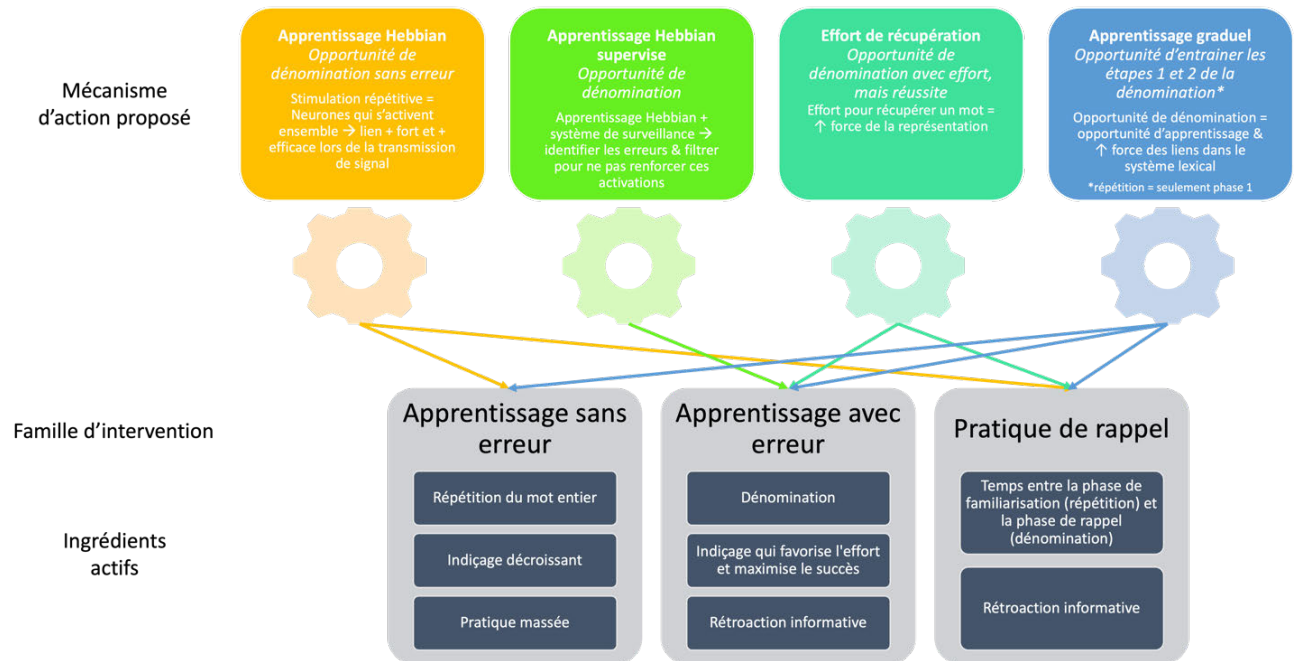
Les trois familles d'intervention se différencient notamment en matière d'ingrédients actifs et de mécanismes d'action proposés. Concernant les ingrédients actifs, l'indiciage est la différence principale entre l'ASE, l'AAE et la PR (Nunn et al., 2023). Pour l'ASE, l'indiciage est maximal avant même l'essai initial de nommer la cible, et vise à promouvoir la dénomination correcte et empêcher ou limiter au maximum les erreurs. Dans l'AAE et la PR, la personne tente de nommer la cible avant que des indices lui soient donnés. La différence entre la PR et l'AAE : dans la PR, il y a une phase de familiarisation avec les mots où toutes les cibles sont données à la personne et celle-ci doit les répéter. Aussi, dans les interventions de type PR, la rétroaction est offerte plus systématiquement (Nunn et al., 2023).

Ensuite, quatre principaux mécanismes d'action proposés et appliqués différemment aux différentes familles d'intervention. Les mécanismes d'action seront d'abord expliqués, puis mis en lien avec les familles d'intervention. La Figure 5 résume les mécanismes d'action proposés et leurs liens avec les familles d'intervention. Le premier mécanisme proposé est l'apprentissage Hebbian, qui stipule que les neurones qui s'activent simultanément de façon répétitive développeront un lien plus fort et plus efficace lors de la transmission de signal, favorisant l'apprentissage (Hebb, 2005). Dans l'ASE, puisque la réponse est donnée à la personne et qu'elle doit la reproduire dans un environnement limitant la possibilité de commettre une erreur, le lien entre les neurones va forcément s'accroître (Nunn et al., 2023). Le deuxième mécanisme d'action proposé est l'apprentissage Hebbian supervisé (*gated Hebbian learning* en anglais) –

cela correspond à un apprentissage Hebbian avec un système de surveillance qui vise à identifier les potentielles erreurs et les filtrer pour ne pas renforcer ces activations (Hebb, 2005; Nunn et al., 2023). Pour parvenir à ce type d'apprentissage, il est nécessaire d'identifier l'erreur, encoder et mémoriser le stimulus et la bonne réponse associée, et avoir les habiletés attentionnelles et exécutives nécessaires pour corriger l'erreur (Lambon Ralph et Fillingham, 2006). Au moment de la détection de l'erreur, le système de surveillance interrompt le processus d'apprentissage et met en place un dispositif de correction de l'erreur qui renforce la bonne réponse. Pour que ce type d'apprentissage fonctionne, il est nécessaire d'avoir des habiletés attentionnelles et exécutives efficaces, sinon il y a un risque d'encoder les erreurs. Le troisième mécanisme proposé est l'apport de l'effort de récupération. En effet, il est supposé que lorsque la personne doit réaliser un effort pour récupérer un mot, alors la force d'encodage et la force de récupération pour ce mot sont augmentées, ce qui augmente la force de la représentation (Nunn et al., 2023). Par ailleurs, l'effort lors de la tâche promeut l'engagement actif qui mène à une attention et un encodage accru. Selon ce mécanisme, pour atteindre des apprentissages maximaux, l'objectif est de faire réaliser un effort maximal, tout en assurant un succès. Finalement, le mécanisme d'apprentissage graduel stipule que chaque occasion de dénomination peut entraîner un changement à l'une des deux étapes du processus de dénomination – soit la sélection du mot parmi les représentations lexicales ou la sélection des représentations phonologiques correspondant au mot (voir la Figure 2 dans la section 1.1.2 Modèles théoriques de la dénomination). Il est supposé qu'une simple répétition ne renforce que l'étape 2 du processus de dénomination, car l'accès aux représentations sémantiques n'est pas requis, mais que lors d'une dénomination, il est nécessaire de passer par les deux étapes, elles sont donc chacune impliquées. Chacune des occasions de dénomination est donc une occasion d'apprentissage et de renforcement de ces procédés et des liens entre les niveaux du système lexical. Ces quatre mécanismes d'action proposent des explications plausibles, mais il est important de comprendre comme ils sont mis en lien avec les interventions. La figure 5 ci-dessous illustre les relations entre les mécanismes d'action et les familles d'intervention.

**Figure 5**

*Les mécanismes d'action proposés qui supportent les apprentissages dans les interventions ciblant l'anomie et leurs liens avec les différentes familles d'intervention et leurs ingrédients actifs.*



Lors de l'ASE, il est supposé que les mécanismes d'action en jeu soient l'apprentissage Hebbian et l'apprentissage graduel, bien que ce deuxième soit plus contesté. Dans l'ASE – sous sa forme initiale – la stratégie principale consiste à demander à la personne de répéter le mot en entier, l'idée est de reconnecter les neurones en les activant simultanément. Dans les versions alternatives de l'ASE, des indices dans un ordre décroissant – allant de l'assistance maximale vers l'assistance minimale – sont offerts à la personne vivant avec une aphasie, encore une fois dans l'idée de minimiser ses chances de commettre une erreur. Les tenants de l'ASE invoquent également le mécanisme d'action de l'apprentissage graduel en indiquant que lors des interventions de type ASE, la personne est exposée à des occasions d'activer le système lexical. Or, puisque c'est principalement via des tâches de type répétition, comme mentionné précédemment, il est supposé que seule l'étape 2 est renforcée (Nunn et al., 2023). Lors d'intervention de type AAE, les mécanismes d'apprentissage avancés sont l'apprentissage Hebbian supervisé, l'effort de récupération et l'apprentissage graduel. Puisque la personne doit

tenter de nommer le mot-cible sans aide initialement, elle doit fournir un effort pour trouver la cible ce qui est considéré comme facteur augmentant la force de la représentation. Ensuite, pour réaliser cette dénomination, la personne doit activer les étapes 1 et 2 du processus de dénomination et ainsi renforce la force des liens entre les niveaux du système lexical. Finalement, la surveillance des erreurs permet l'apprentissage Hebbian supervisé. Celui-ci est favorisé lorsque la personne reçoit de la rétroaction lors de l'intervention (Nunn et al., 2023). Finalement, lors d'intervention PR, les mécanismes d'actions sont très comparables à l'AAE. L'objectif de la PR est d'atteindre un équilibre entre l'effort requis pour accomplir les tâches visant à entraîner l'apprentissage et le succès vécu par la personne (Nunn et al., 2023).

#### 1.3.1.2.1

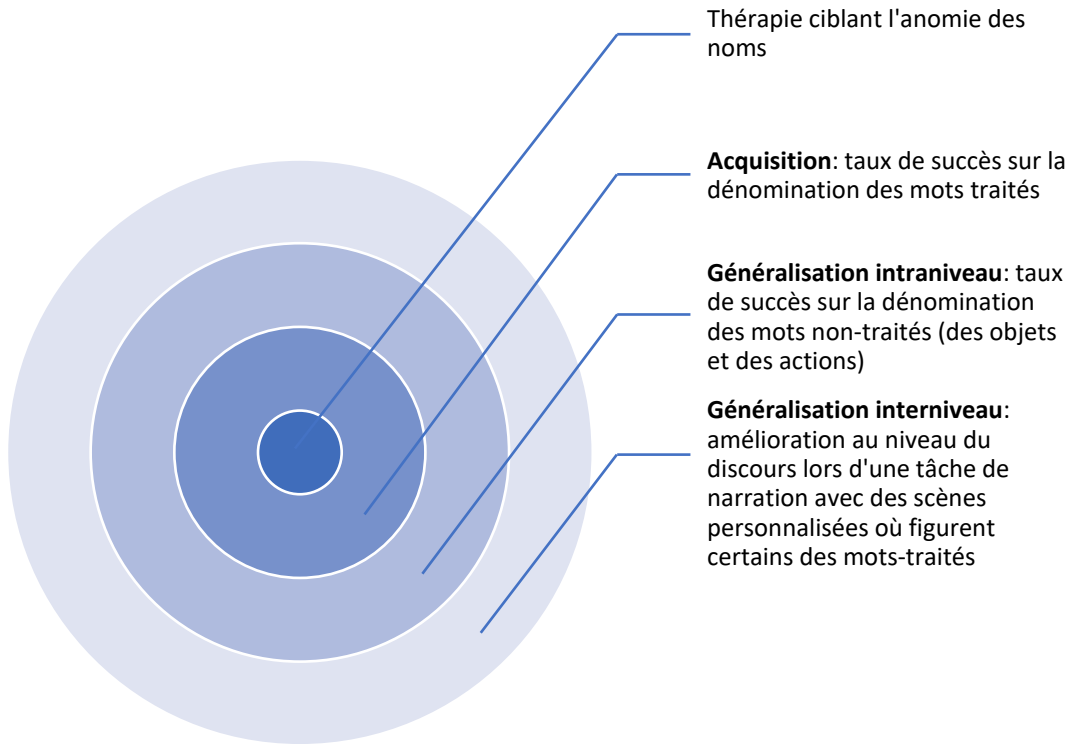
##### *Mesures des changements comportementaux*

Il existe différentes façons de mesurer les progrès au niveau comportemental dans le contexte d'une intervention.

Dans cette thèse, le cadre établi par Webster et al. (2015) sera utilisé pour décrire les mesures d'amélioration possible. D'abord, il est pertinent de s'intéresser aux gains réalisés sur les mots traités, le modèle décrit l'amélioration sur les mots traités comme l'acquisition (Webster et al., 2015). L'étude de l'acquisition est essentielle pour bien comprendre les mécanismes d'action et éventuellement prédire les effets de généralisation potentiels. Ensuite, le souhait ultime des interventions en orthophonie est que les améliorations se généralisent aux mots non-traités. Or, il n'y avait pas de définitions de généralisation; certains rapportaient une généralisation lorsqu'il y avait une amélioration sur des mots non-traités, d'autres seulement lorsque les améliorations se répercutaient sur d'autres tâches comme le discours (Webster et al., 2015). Ainsi, dans une optique de répliquabilité, le modèle définit l'amélioration mesurée sur des mots non-traités dans une tâche identique à celle de l'intervention correspond à une généralisation intra-niveau (Webster et al., 2015). Finalement, la généralisation inter-niveau correspond à une amélioration par suite de l'intervention sur des processus langagiers autres que celui ciblé par l'intervention (Webster et al., 2015). La figure 6 illustre un exemple des différents niveaux de généralisation pour une intervention ciblant l'anomie des noms.

**Figure 6**

Exemple des niveaux de généralisation selon Webster et al. (2015) pour une intervention ciblant l'anomie des noms.



Ainsi, dans le choix des tâches d'évaluation visant à documenter les effets d'une intervention, il est pertinent de considérer quel-s niveau-x est-sont ciblé-s et quel-s mécanisme-s d'action pourrait-ent expliquer des gains potentiels mesurés sur la tâche.

### 1.3.2 Facteurs intrinsèques influençant la réponse à la thérapie

Dans une approche centrée sur la personne et pour obtenir les meilleurs gains, il est essentiel de s'intéresser aux facteurs intrinsèques influençant la réponse à la thérapie. Contrairement aux facteurs extrinsèques qui sont *sous le contrôle de l'orthophoniste*, les facteurs intrinsèques de la personne qui reçoit l'intervention sont à considérer, mais ne sont généralement pas modifiables. Or, puisqu'ils influencent la réponse de la personne à la thérapie, il demeure important de les prendre en considération afin de bien personnaliser les *ingrédients* et les *modalités* mentionnés ci-dessus. Les chercheur·euse·s s'intéressent depuis bon nombre

d'années à ces facteurs dans le but de comprendre leurs effets sur les gains par suite des interventions en orthophonie. Les facteurs intrinsèques sont généralement divisés en deux catégories : (1) les facteurs personnels, et (2) les facteurs liés à la condition. L'âge, le sexe et le nombre d'années d'éducation sont des facteurs personnels qui peuvent influencer la récupération, et la taille et localisation de la lésion, la sévérité de l'aphasie, les symptômes associés à l'aphasie, le temps écoulé depuis l'apparition de l'aphasie (*time post stroke*; TPS) et la présence de comorbidités sont des facteurs intrinsèques liés à la condition qui peuvent affecter la récupération de l'aphasie. Il est à noter que pour chacun des facteurs ci-dessus, il n'existe pas de consensus absolu dans les publications scientifiques sur l'effet qu'ils peuvent avoir sur la réponse (Watila et Balarabe, 2015). Il est probable que ces facteurs interagissent entre eux pour moduler la réponse à une intervention donnée.

#### 1.3.2.1 Facteurs personnels

L'âge est un des facteurs intrinsèques le plus étudiés (Kertesz et McCabe, 1977; Kristinsson, 2021; Laska et al., 2001; Lazar et Antonello, 2008). Certaines recherches ont montré que les personnes plus jeunes ont tendance à avoir une meilleure récupération que les personnes plus âgées (Kiran et Thompson, 2019; Nguyen et al., 2019). L'âge peut avoir un impact sur la récupération de l'aphasie en raison des changements physiologiques et des modifications des réseaux neuronaux qui se produisent avec l'âge. La récupération de l'aphasie dépend en grande partie de la capacité du cerveau à réorganiser et à réparer les réseaux neuronaux endommagés, et les changements liés à l'âge peuvent ralentir ce processus (Dash et Joannette, 2016; Murman, 2015). De plus, les lésions cérébrales chez les personnes plus âgées ont souvent des conséquences plus graves en raison de la réduction de la capacité de récupération et de la fragilité accrue des vaisseaux sanguins (Cramer, 2008). Il pourrait aussi s'agir d'une interaction entre les changements qui sont observés au niveau des fonctions exécutives dans le vieillissement et la capacité à pleinement bénéficier d'interventions en orthophonie (Dash et Joannette, 2016; Murman, 2015). Ces résultats ne sont toutefois pas répliqués dans toutes les études (Lazar et Antonello, 2008; Watila et Balarabe, 2015). En effet, comme recensé par Kristinsson et al. (2022), un bon nombre d'études ne trouve pas d'effet de l'âge sur la récupération. Plus récemment, les résultats d'une méta-analyse montrent que les personnes



vivant avec une aphasie de différents âges pourraient montrer des gains optimaux à différentes modalités (Release Collaborators et al., 2022). De plus, certaines personnes plus âgées peuvent récupérer efficacement de l'aphasie en raison de leur niveau d'éducation, de leur motivation et de leur environnement de soutien (Holland et al., 1996). En outre, des interventions de rééducation peuvent être efficaces pour aider les personnes de tout âge à récupérer de l'aphasie, bien que la réponse à ces interventions puisse varier selon l'âge de la personne (Bhogal, Teasell et Speechley, 2003).

En ce qui concerne le sexe, il pourrait avoir un impact sur la récupération de l'aphasie en raison de différences biologiques et de facteurs socioculturels influençant la communication. Certaines recherches ont montré que les femmes ont tendance à récupérer plus rapidement de l'aphasie que les hommes (Watila et Balarabe, 2015). Cela pourrait s'expliquer par des différences biologiques, telles que des substrats cérébraux du traitement du langage différents (Harasty et al., 1997) et l'influence différente d'hormones et de neurotransmetteurs (Woolley, 2021) qui pourraient jouer à leurs tours sur la récupération de l'aphasie post-AVC (Pizzamiglio et al., 1985). Des facteurs socioculturels peuvent également jouer un rôle. Par exemple, les femmes ont souvent un rôle plus important dans la communication interpersonnelle et peuvent donc être plus motivées à récupérer leur capacité de communication, tout en ayant plus souvent un sentiment d'insatisfaction vis-à-vis leur récupération (Hilari et al., 2012). D'un autre côté, les hommes ont tendance à avoir des taux de participation plus faibles aux programmes de rééducation après un AVC, ce qui peut limiter leur récupération (Cheiloudaki et Alexopoulos, 2019). Il est important de noter que les différences entre les sexes dans la récupération de l'aphasie ne font pas consensus (Lazar et Antonello, 2008; Release Collaborators, 2021). Par ailleurs, les différences sociales mentionnées peuvent varier selon les individus et les contextes culturels.

Finalement, la réserve cognitive se réfère à la capacité du cerveau à compenser les pertes de fonctions cognitives, telles que la mémoire et le langage, en utilisant des stratégies de contournement ou en réorganisant les fonctions du cerveau (Steffener et Stern, 2012; Stern, 2013). Le nombre d'années d'éducation pourrait ainsi avoir un impact sur la récupération de l'aphasie en raison de son influence sur le niveau de réserve cognitive de la personne (Wilson et

al., 2019). Les recherches ont montré que les personnes ayant un plus grand nombre d'années d'éducation ont généralement une réserve cognitive plus importante, ce qui peut les aider à récupérer plus efficacement de l'aphasie (Laska et al., 2011). En effet, les personnes ayant un niveau éducatif plus élevé ont souvent une plus grande exposition à des expériences linguistiques et cognitives diverses, ainsi qu'à un environnement plus stimulant pour leur cerveau, ce qui peut renforcer leur réserve cognitive (Delgado-Losada et al., 2019). De plus, les personnes ayant un niveau d'éducation plus élevé peuvent avoir des compétences en résolution de problèmes plus développées (Delgado-Losada et al., 2019), ce qui peut les aider à trouver des stratégies pour contourner les déficits linguistiques liés à l'aphasie ou pour davantage bénéficier des interventions en orthophonie.

Cependant, il est important de noter que le niveau d'éducation ne doit pas être considéré comme le seul facteur déterminant de la réserve cognitive. Parmi les autres facteurs influençant la réserve cognitive, on retrouve le bilinguisme. Dans le contexte de la mondialisation, la proportion des personnes parlant au minimum deux langues augmente considérablement, ce qui a pour effet d'accroître l'incidence de l'aphasie bilingue. Les études récentes sur le bilinguisme ont montré que le fait de parler plus d'une langue confère au cerveau un certain avantage dans le contexte du vieillissement (Abutalebi et Green, 2007; Ansaldo et al., 2015; Dash et al., 2021; DeLuca et al., 2019), bien qu'une certaine controverse demeure (van den Noort et al., 2019). Les recherches tendent à montrer que les personnes bilingues ont un meilleur contrôle cognitif que les personnes monolingues. Des variations au niveau méthodologique entre les études empêchent toutefois la communauté scientifique de s'entendre sur cette question. Une méta-analyse récente a montré que le bilinguisme donne potentiellement un avantage au niveau du temps de réponse et de la résistance à l'interférence, bien que les tailles d'effets soient petites (Donnelly et al., 2019), et cet effet s'accroît avec l'âge (Ware et al., 2020). En plus de contribuer à la réserve cognitive, le bilinguisme entraîne des changements structuraux, se reflétant par une épaisseur corticale accrue (Abutalebi et Green, 2016; Li et al., 2017; Marin-Marin et al., 2022; Olulade et al., 2016). Dans le contexte d'une aphasie, la question de l'avantage bilingue est encore plus complexe. L'avantage bilingue potentiel chez les personnes sans lésion cérébrale se retrouve aussi chez les personnes vivant

avec une aphasie (Dash et al., 2020; Paplikar et al., 2018). Cela n'empêche pas toutefois que les personnes bilingues ayant une aphasie peuvent montrer des troubles exécutifs (Mooijman et al., 2021). Or, il est pertinent de se demander comment cet avantage bilingue se traduit lors de la réadaptation de l'aphasie bilingue. La communauté scientifique a longtemps tenté de comprendre l'influence entre les différentes langues parlées dans la récupération (Ansaldo et al., 2008; Ansaldo et Saidi, 2014; Ansaldo et al., 2010), identifiant différents profils de récupération. Ce sujet, bien que très intéressant, se situe à l'extérieur de la portée de cette thèse. Ainsi, il s'agit d'une nouvelle question que de se demander si les personnes bilingues vivant avec une aphasie présentent un avantage en termes de protection et de récupération. Bien que très peu d'études se sont penchées sur la question, les résultats disponibles semblent indiquer que les personnes bilingues présentent des symptômes moins sévères (Paplikar et al., 2018) et une récupération supérieure aux personnes monolingues (Lahiri et al., 2020).

Cela dit, les facteurs personnels ne sont pas les seuls facteurs intrinsèques à considérer au moment de planifier une intervention dans le but de maximiser la récupération de l'aphasie. D'autres facteurs liés à la condition peuvent également jouer un rôle important. La récupération de l'aphasie est un processus complexe et individualisé qui dépend de nombreux facteurs interconnectés.

#### 1.3.2.2 Facteurs liés à la condition

Tout comme pour la prédiction de l'anomie, la taille de la lésion est souvent utilisée comme prédicteur pour la récupération d'une aphasie (Maas et al., 2012). Or, la localisation de la lésion dans les régions cérébrales critiques du réseau du langage est également considérée comme prédictive. Une petite lésion dans une zone du langage est plus susceptible d'avoir un impact sur la gravité et la récupération du langage, tandis qu'une grande lésion ailleurs peut avoir un effet minimal sur la parole. Généralement, les régions corticales affectant la récupération de l'aphasie font plutôt consensus. Pour identifier ces régions, des méthodes de *lesion-symptom mapping* ou encore de *voxel-based lesion-symptom mapping* (VLSM) sont utilisées (consultez l'annexe 1 pour une description plus détaillée des méthodes). Une moins bonne récupération est associée aux lésions affectant des zones corticales temporo-pariétales (telles que le STG, MTG, et ITG) et frontales (telles que pars triangularis, opercularis, and orbitalis du IFG, le gyrus

pré- et post-central et le cortex insulaire), soit des régions au cœur du réseau langagier, ainsi que des lésions touchant des voies de matière blanche qui les relient (soit le faisceau arqué, l'IFOF, l'ILF et le faisceau unciné) (Abel et al., 2015; Forkel et al., 2014; Harvey et al., 2021; Marcotte et al., 2012; Nakagawa et al., 2019; Watila et Balarabe, 2015). En considérant l'organisation en réseau du langage dans le cerveau, certaines régions servent de centres de communication – nœud – dans le réseau comme par exemple, le MTG. Les lésions aux nœuds ont un impact négatif plus important sur les déficits langagiers observés et sur la récupération du langage que les lésions qui n'endommagent pas les nœuds (Kristinsson et al., 2022). Parmi les régions-clé identifiées pour la récupération de l'anomie, les lésions plus importantes dans la portion postérieure du STG et le SLF/AF (voie dorsale du réseau langagier) était associée à une moins bonne récupération, tandis que la préservation de ces régions était associée à une meilleure récupération de la dénomination (Hillis et al., 2018). Dans une autre étude, les lésions de la portion postérieure du MTG et de la jonction temporo-occipitale avaient un effet particulièrement négatif sur la récupération à la suite d'une thérapie de l'anomie (Fridriksson, 2010). La nature complexe de l'interaction entre la localisation des lésions, leur taille, et la réponse aux interventions motive la communauté scientifique à introduire des mesures de l'intégrité cérébrale fonctionnelle et structurelle pour étudier la récupération de l'aphasie. En effet, surtout dans l'idée que le langage repose sur un vaste réseau, les facteurs neuronaux au-delà des territoires lésés peuvent fournir des arguments alternatifs et complémentaires qui expliquent la récupération de l'aphasie.

La sévérité initiale de l'aphasie est aussi considérée comme un prédicteur important de la récupération de l'aphasie (Laska et al., 2001; Lazar et al., 2010; Osa Garcia et al., 2020; Pedersen et al., 2004). Les personnes présentant une sévérité plus importante de l'aphasie au moment du diagnostic ont tendance à avoir un pronostic de récupération moins favorable que celles présentant une sévérité moindre. Cependant, il est important de noter que le pronostic de récupération de l'aphasie peut varier considérablement d'une personne à l'autre en fonction des autres facteurs intrinsèques. Par ailleurs, une méta-analyse récente n'a pas trouvé d'effet prédicteur pour la sévérité initiale (Sze et al., 2020). Il est pertinent de garder en tête que souvent, la sévérité initiale de l'aphasie, l'étendue de la lésion cérébrale sous-jacente et sa

localisation sont interreliées. Les personnes ayant une aphasie initiale plus sévère peuvent avoir une lésion cérébrale plus importante ou une lésion qui est plus étendue dans le cerveau, ce qui peut affecter leur capacité à récupérer de façon plus globale. En revanche, les personnes ayant une aphasie initiale moins sévère peuvent avoir une lésion cérébrale plus limitée et être plus susceptibles de récupérer.

Le temps écoulé depuis l'apparition de l'aphasie pourrait également être important, car en fonction de la neuroplasticité accrue et la récupération spontanée dans les phases aiguë et subaiguë de la récupération, il pourrait être plus difficile de récupérer si la thérapie est commencée plus tard. Il est souvent observé que la récupération est plus rapide dans les premiers mois suivant l'apparition de l'aphasie. En effet, les premiers mois après l'AVC sont une période de réorganisation cérébrale importante, au cours de laquelle le cerveau tente de compenser la lésion en réaffectant les fonctions du cerveau non lésé. Par conséquent, plus de temps s'écoule depuis l'apparition de l'aphasie, moins il est probable que la récupération spontanée se produise et plus il peut être difficile de récupérer les fonctions langagières, ou le temps nécessaire pour effectuer les gains peut être plus long (Release Collaborators et al., 2022). Cependant, comme discuté plus tôt dans cette section, la récupération de l'aphasie peut se produire même après plusieurs mois, voire années, après l'AVC (Johnson et al., 2019).

Le type d'aphasie est un facteur important influençant les effets d'une thérapie, et encore plus précis que le type d'aphasie, les symptômes présents chez la personne (El Hachioui et al., 2013; Kristinsson et al., 2021; Lambon Ralph et al., 2010). Le type d'aphasie ou les symptômes présents peuvent influencer la récupération généralisée par suite d'une intervention en orthophonie, mais aussi influencer le type d'intervention la plus susceptible de mener aux meilleurs gains (Kristinsson et al., 2021). Les personnes présentant une aphasie aux symptômes plus légers ont mieux récupéré aux suites d'une intervention d'origine sémantique alors que les personnes qui ont mieux répondu à une intervention phonologique étaient plus susceptibles d'avoir une aphasie plus sévère et, en comorbidité, une apraxie de la parole (Kristinsson et al., 2021). La personnalisation des interventions en fonction des facteurs intrinsèques apparaît ainsi extrêmement pertinente.

Enfin, la présence de comorbidité ou d'autres troubles médicaux peut compliquer la récupération de l'aphasie. Tout d'abord, les troubles médicaux sous-jacents, tels que l'hypertension artérielle, le diabète ou les maladies cardiaques, peuvent perturber les mécanismes de réparation du cerveau après un AVC et ainsi affecter la récupération de l'aphasie (Johnson et al., 2019; Kyrozis et al., 2009). En d'autres termes, ces maladies peuvent agir comme des facteurs de risque pour la récupération de l'aphasie en interférant avec les processus de guérison naturels du cerveau. De plus, les personnes ayant plusieurs comorbidités peuvent rencontrer des difficultés à pleinement s'investir dans des programmes de rééducation intensive en raison de problèmes de mobilité causés notamment par l'hémiplégie ou l'hémiplésie, de fatigue ou d'autres symptômes liés à leur état de santé général. Les personnes ayant des comorbidités peuvent aussi nécessiter des soins et des traitements supplémentaires qui peuvent interférer avec les programmes de rééducation de l'aphasie ou ralentir la récupération.

Parmi les comorbidités ayant un impact important sur la communication, on peut citer les troubles moteurs de la parole, soit la dysarthrie et l'apraxie de la parole (*apraxia of speech; AOS* en anglais). La dysarthrie est un trouble moteur qui résulte de lésions affectant les régions impliquées dans le contrôle moteur des muscles de la parole (lèvres, langue, cou et diaphragme), entraînant une difficulté à produire une parole claire en raison de problèmes avec ses muscles de la parole. L'apraxie de la parole est plutôt un trouble moteur qui affecte la capacité à planifier et à coordonner les mouvements des muscles nécessaires à la production de la parole, entraînant des erreurs dans la production des sons de la parole. Selon le modèle du langage à deux voies, l'apraxie de la parole est causée par une atteinte de la voie dorsale du traitement du langage, qui permet, entre autres, d'associer les sons de la parole aux mouvements des muscles (Roseberry-McKibbin et Hegde, 2016). Il est estimé que l'apraxie de la parole survient en co-occurrence avec l'aphasie chez 57% à 67% des personnes qui vivent avec une aphasie par suite d'un AVC. L'apraxie de la parole seule ne survient que chez 29% à 40% des personnes qui survivent à un AVC sans aphasie (Ghoreyshi et al., 2022; Hybbinette et al., 2021). Lorsqu'associée à l'aphasie, l'apraxie de la parole peut compliquer la récupération de la parole en ajoutant une difficulté supplémentaire à la rééducation. En effet, pour récupérer le langage,

les personnes vivant avec une aphasie doivent notamment réassocier les sons de la parole aux mots et les concepts qu'ils représentent. Cela nécessite une coordination complexe entre les aires cérébrales responsables de la production et de la compréhension de la parole. Lorsqu'une apraxie de la parole est également présente, les personnes doivent non seulement réapprendre à associer les sons et les concepts aux mots, mais elles doivent également réapprendre à coordonner les mouvements de la bouche, de la langue et des lèvres nécessaires pour produire ces sons. Cela peut rendre la rééducation plus difficile et plus longue, car il s'agit de travailler sur deux compétences distinctes en même temps.

Finalement, les troubles de l'humeur, comme la dépression affecte la récupération de l'aphasie. Les personnes atteintes d'aphasie sont à haut risque de dépression, près de 47.5% des personnes vivant avec une aphasie feront face à des symptômes dépressifs, soit 7.408 fois plus que les personnes survivant à un AVC sans aphasie (Zanella et al., 2022). Cette différence est notamment due à la frustration et au stress associés à la communication altérée (Zanella et al., 2022). La dépression peut à son tour affecter la motivation, la participation à la thérapie et la récupération globale. Cependant, il est important de noter que la relation entre la dépression et la récupération de l'aphasie est complexe et que d'autres facteurs peuvent également jouer un rôle important. En fait, la récupération de l'aphasie en entier est un processus complexe qui peut être influencé par une multitude de facteurs en plus de facteurs tels que la motivation, le système de soutien et l'accès à la thérapie. L'orthophoniste devrait toujours avoir en tête la personne dans son entièreté et l'inclure tout au long du processus de réadaptation, tant au moment de déterminer les objectifs qu'au moment d'identifier la thérapie à suivre et de choisir les mots à traiter.

### **1.3.3 Facteurs extrinsèques influençant la réponse à la thérapie**

Les facteurs extrinsèques à la personne qui reçoit l'intervention concernent l'intervention en soi, et comprennent notamment le choix des stratégies et du protocole d'intervention – en considérant les objectifs d'intervention, ainsi que les modalités d'intervention à privilégier. Le succès de l'intervention est ainsi influencé par les objectifs de thérapie qui auront été conçus sur mesure au début de la prise en charge, et qui pourront être ajustés en fonction des progrès

de la personne vivant avec une aphasie et de ses besoins changeants. Les recherches montrent que lorsque les objectifs de la thérapie sont mis en place en collaboration avec la personne qui vit avec une aphasie, les améliorations sont plus notables (Haley et al., 2019) et l'adhérence de la personne à l'intervention, de même que sa motivation, sont plus soutenues (Haley et al., 2019; Hersh et al., 2012). Outre l'établissement des objectifs, l'orthophoniste devra identifier les stratégies et approches à utiliser lors des thérapies, qui devront aussi être adaptées en fonction de la réponse et des besoins spécifiques de la personne. Il existe également différents protocoles d'intervention qui combinent différentes stratégies. Certains protocoles seront décrits dans la prochaine section de la thèse.

Bien qu'il n'y ait pas de consensus à l'heure actuelle identifiant quelles interventions sont les plus efficaces, ou les modalités optimales pour les interventions, des recherches montrent de façon convaincante que les interventions en orthophonie améliorent les habiletés langagières des personnes qui vivent avec une aphasie (Brady et al., 2012; Brady et al., 2016). La personnalisation des interventions en orthophonie s'avère un défi en orthophonie, car il existe une très grande variabilité entre les études publiées ciblant une même habileté linguistique.

#### 1.3.3.1 Protocole d'intervention ciblant l'anomie

Au moment de choisir le protocole d'intervention à utiliser auprès d'une personne vivant avec une aphasie, il est important que l'orthophoniste se replace dans le cadre théorique adéquat, et considère quel est l'objectif. Dans un contexte où l'objectif d'intervention est d'améliorer les capacités de dénomination chez la personne vivant avec une aphasie, l'orthophoniste doit alors considérer les fondements théoriques de l'anomie. L'objectif de l'intervention sera donc de stimuler le réseau lexical ou le restaurer (Martin, 2022) en stimulant la neuroplasticité de réseau langagier intègre, tant dans les régions péri-lésionnelles que les régions homologues de l'hémisphère droit (Hartwigsen et Saur, 2019). L'utilité d'employer des interventions basées sur des modèles neurocognitifs est de savoir quel processus est ciblé, facilitant ainsi la personnalisation des interventions aux difficultés spécifiques de la personne. Il permet aussi de cibler les mesures de progrès – en effet, si l'on vise un processus particulier, il est pertinent de mesurer spécifiquement l'évolution du comportement associé à ce processus. Parmi les protocoles ciblant l'anomie, certains protocoles cibleront le réseau lexical en utilisant des



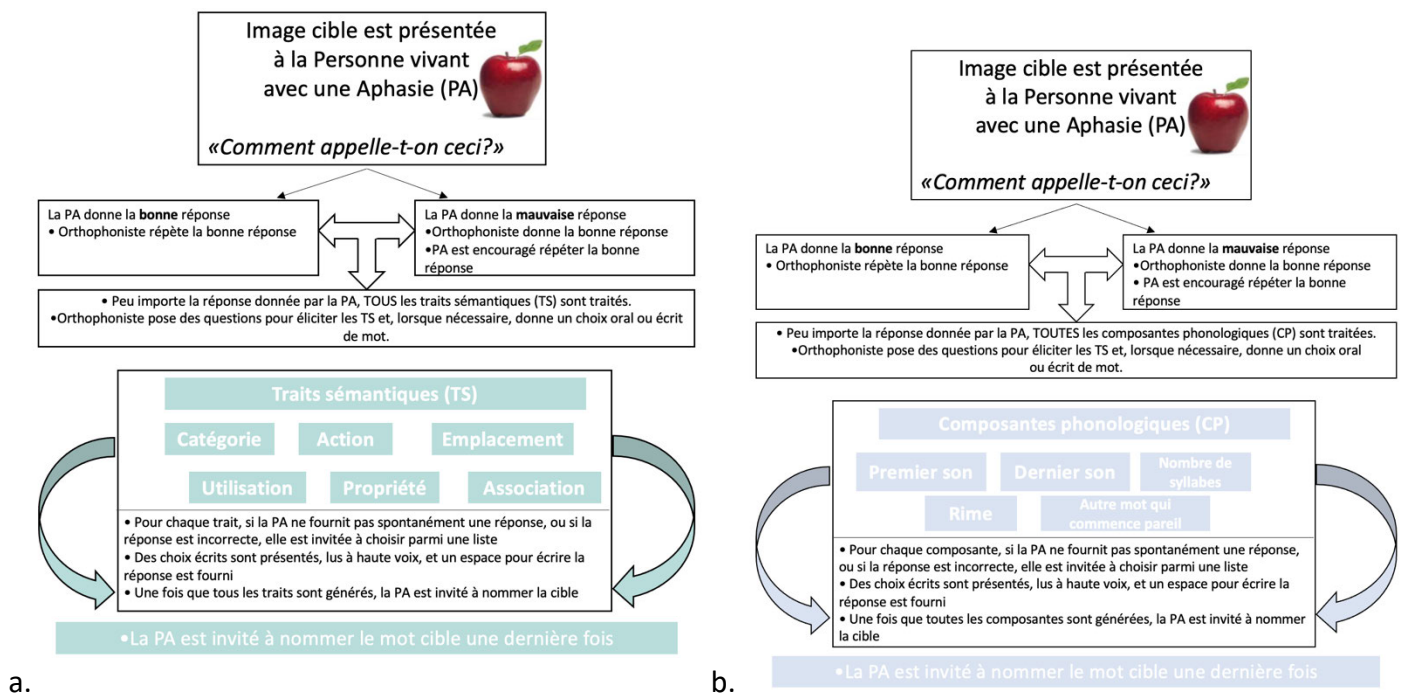
stratégies cognitivo-linguistiques, alors que d'autres utiliseront des stratégies de type sensorimotrices en s'appuyant sur des théories davantage inscrites dans la cognition incarnée (Durand, 2019). Par exemple, la thérapie personnalisée par observation, exécution et imagerie mentale (*Personalised Observation, Execution, and Mental Imagery Therapy*; POEM) s'est avérée efficace pour améliorer la dénomination des verbes d'action en employant des stratégies d'observation de l'action, d'exécution du geste associé en plus de s'imaginer réaliser l'action (Durand et al., 2018; Durand et al., 2021).

En considérant précisément les interventions ciblant le réseau lexical, elles sont généralement fondées sur la théorie de la propagation de l'activation (Collins et Loftus, 1975), ainsi que sur le modèle d'interaction restreinte (RIA) décrits à la section 1.1.2 Modèle théorique de la dénomination. Ces modèles proposent que dans le cas des mots, l'activation d'une unité ne se propage pas nécessairement à toutes les autres unités connexes, mais plutôt à un sous-ensemble d'entre elles (Goldrick et Rapp, 2002). Certains protocoles visent explicitement à renforcer les connexions entre les représentations sémantiques et les représentations lexicales tels que l'intervention par analyse des traits sémantiques (ATS, ou en anglais *semantic feature analysis*; SFA (Boyle, 2010; Boyle et Coelho, 1995; Coelho et al., 1995)) ou l'intervention de renforcement du réseau du verbe (*verb network strengthening treatment*; VneST)(Edmonds et Babb, 2011; Edmonds et al., 2014). Ces interventions visent à améliorer la dénomination en facilitant explicitement l'accès aux représentations sémantiques et leur récupération (Raymer et al., 2008). D'autres protocoles visent davantage à stimuler les connexions entre les représentations phonologiques et les représentations lexicales (Martin, 2022) et améliorer l'activation phonologique au sein du réseau lexical (Goldrick et Rapp, 2002). Ces interventions sont dites phonologiques, comme l'analyse des composantes phonologiques (ACP, ou en anglais *phonological component analysis*; PCA (Leonard et al., 2008)). Toutefois, selon le RIA, l'activation des caractéristiques sémantiques qui se produit en voyant une image à nommer se propage au niveau du lexème, au niveau syntaxique et au niveau du phonème, de telle sorte qu'une intervention phonologique qui utilise des stimuli visuels d'objet, comme l'ACP, peut aussi influencer et faciliter la sélection du lexème (Goldrick et Rapp, 2002).

L'ACP est l'équivalent phonologique de l'ATS; ces deux protocoles d'intervention se déroulent de la même façon, en suivant les mêmes étapes. La figure 7 offre une représentation visuelle des deux protocoles d'intervention. Dans chacun d'eux, une image représentant un mot-cible est présentée à la personne vivant avec une aphasie. L'orthophoniste demande alors à la personne de nommer l'image. Si la personne y parvient, l'orthophoniste l'encourage en disant « Oui, c'est effectivement [mot-cible]. » Si toutefois la personne est incapable de nommer l'image, l'orthophoniste indiquera la bonne réponse et encouragera la personne à répéter le mot-cible. Que la personne parvienne à nommer l'image ou non, les traits sémantiques dans le cas de l'ATS ou les composantes phonologiques dans le cas de l'ACP sont examinés. Si la personne n'est pas en mesure de générer par elle-même la réponse à l'un des traits sémantiques ou l'une des composantes phonologiques, l'orthophoniste offre alors un choix de réponses valides à la personne. Lorsque tous les traits sémantiques ou composantes phonologiques sont complétés, l'orthophoniste les passe en revue et invite la personne à nommer la cible une dernière fois avant de passer au prochain mot.

**Figure 7**

*Déroulement des protocoles d'intervention par a. Analyse des traits sémantiques (ATS) et par b. Analyse des composantes phonologiques (ACP).*



Plusieurs équipes ont tenté de déterminer le type de stratégies qui bénéficie le plus aux personnes vivant avec une aphasie (Haentjens et Auclair-Ouellet, 2020; Hashimoto, 2012; Neumann, 2018; Sadeghi et al., 2017; van Hees et al., 2013), mais peu de consensus se dégagent de la littérature.

Hashimoto (2012) a mené une étude avec deux (2) participantes en utilisant une méthodologie d'interventions alternées. Cette étude a permis de constater que les deux participantes se sont améliorées sur les mots traités avec l'ATS et l'ACP (Hashimoto, 2012). Ensuite, van Hees et al. (2013) ont mené une étude plus vaste comparant les résultats de l'ATS et de l'ACP lors du traitement de l'anomie chez huit personnes vivant avec une aphasie chronique, en utilisant également un modèle d'interventions alternées. Les auteur·rice·s rapportent que sept des huit (7/8) participant·e·s se sont amélioré·e·s de manière significative sur les mots traités avec l'ACP, six d'entre elles-eux ont maintenu leurs améliorations jusqu'à deux et trois semaines post-thérapie. En comparaison, seulement quatre participant·e·s se sont amélioré·e·s de manière significative pour les mots traités avec l'ATS, trois maintenant leurs améliorations lors du suivi (van Hees et al., 2013). Les auteur·rice·s ont indiqué que l'ATS ne s'est pas avéré bénéfique pour les participant·e·s présentant des déficits sémantiques alors que l'ACP était bénéfique pour la plupart des participant·e·s de leur étude, malgré des locus sous-jacents de l'anomie différents. Sadeghi et al. (2017) ont utilisé un plan croisé ABCB avec quatre participant·e·s et ont constaté que l'ATS et l'ACP peuvent tous deux aider à améliorer la capacité de dénomination d'éléments entraînés et non entraînés, mais que l'approche la plus efficace est celle qui cible le locus sous-jacent de l'anomie. Ainsi, les participant·e·s présentant des déficits sémantiques bénéficient davantage de l'ATS et celles-eux présentant des déficits phonologiques bénéficient davantage de l'ACP (Sadeghi et al., 2017). Contrairement à van Hees et al. (2013), un participant présentant des déficits sémantiques a légèrement moins bénéficié de l'ACP en démontrant moins de généralisation (Sadeghi et al., 2017). À son tour, Neumann (2018) a mené une étude à intervention croisée avec multiples lignes de base pour comparer les effets de l'ATS et de l'ACP chez quatre personnes vivant avec une aphasie. Les effets étaient mesurés sur le plan de l'acquisition, la généralisation et le maintien. Dans cette étude, les trois participants présentant une anomie légère ont tiré profit des deux protocoles alors que le participant présentant une

anomie modérée n'a bénéficié que de l'ACP, soit la première intervention dans le protocole de recherche. Neumann (2018) a conclu que les résultats de maintien et de généralisation étaient potentiellement influencés par l'ordre du plan croisé. Enfin, Haentjens et Auclair-Ouellet (2020) ont comparé l'ATS et l'ACP dans une méthodologie d'interventions alternées. Elles rapportent qu'un participant a bénéficié à la fois de l'ACP et de l'ATS, un participant a bénéficié uniquement de l'ACP, un participant a bénéficié uniquement de l'ATS et un participant n'a bénéficié ni de l'ACP ni de l'ATS (Haentjens et Auclair-Ouellet, 2020).

Il est difficile, à la lumière des études recensées, de déterminer lequel des protocoles a les effets les plus bénéfiques. Historiquement, les thérapies orientées sémantiquement jouissent d'une meilleure réputation en ce qui concerne le maintien et la généralisation des effets de la thérapie (Hickin et al., 2002; Nickels, 2002). Or, les interventions ciblant la dénomination, qu'elles utilisent des stratégies plutôt sémantiques ou phonologiques, emploient généralement des photos ou des dessins d'objets réels, activant ainsi le système sémantique, et demandent à la personne d'essayer de dire le mot-cible, stimulant également dans le système phonologique. Comme Nickels (2002) indiquait, même lorsqu'une intervention vise à renforcer une composante spécifique du processus de dénomination, la stimulation est probablement plus diffuse dans le réseau lexical qu'on ne le croyait autrefois, et ainsi la distinction entre thérapies phonologiques et sémantiques moins nette. Toutes les études rapportées ont utilisé des traitements alternés ou des plans croisés pour comparer l'ACP et l'ATS, ce qui complique l'attribution des effets de généralisation et de maintien à une thérapie explicite. Des évidences semblent indiquer que l'ACP pourrait bénéficier à un bassin plus large de personnes ayant une aphasie (van Hees et al., 2013). Plus récemment, il a été affirmé que l'ACP pourrait bénéficier aux personnes vivant avec une aphasie plus sévère alors que l'ATS bénéficie celles ayant des symptômes plus légers (Kristinsson et al., 2021). La présente thèse porte spécifiquement sur les effets de l'ACP et cette thérapie sera explorée davantage ci-dessus.

#### *1.3.3.1.1 Analyse des composantes phonologiques (ACP)*

L'ACP est un protocole d'intervention clairement décrit pour la personne qui vit avec une aphasie ; bien que complexe, la tâche est transparente et les réponses à donner sont déterminées. La procédure du protocole ACP est la suivante : la personne qui vit avec une

aphasie se voit présenter une image représentant un mot-cible au centre d'un tableau de thérapie et on lui demande de nommer l'image. Indépendamment du fait que la personne ait réussi ou non à produire correctement le mot-cible, la personne est ensuite invitée à générer cinq composantes phonologiques liées à la cible : le premier son, le dernier son, le nombre de syllabes, un autre mot qui commence par le même son, et un mot qui rime avec le mot-cible. Si la personne est incapable de générer un des indices, trois réponses possibles lui sont présentées et la personne vivant avec l'aphasie doit choisir une réponse. Les indices sont ensuite écrits sur le tableau de thérapie, et une fois que tous les indices ont été répertoriés, le clinicien passera en revue chacun des indices, après quoi la personne est invitée à nommer le mot-cible une fois de plus, avant de passer à l'élément suivant. Dans le protocole ACP, les mots-cibles ne sont pas écrits, tandis que les indices de thérapie sont toujours écrits sur le tableau de thérapie. Ainsi, dans le cadre du protocole ACP, la personne vivant avec une aphasie participe activement à la production ou au choix des composantes phonologiques liés au mot-cible ; la participation active serait un élément important dans l'efficacité de ce protocole, et c'est un facteur qui distingue l'ACP d'autres interventions basées sur des stratégies phonologiques (Hickin et al., 2002).

Des études réalisées dans les dernières années ont démontré que l'ACP mène à des améliorations de la dénomination d'images pour les mots traités lors de thérapies (ci-après dénommée acquisition<sup>2</sup>), avec des preuves indiquant de la maintenance des gains et aussi de la généralisation intraniveau (Bose, 2013; Bose et al., 2019; Haentjens et Auclair-Ouellet, 2020; Hashimoto, 2014; Kristensson et Saldert, 2018; Leonard et al., 2008; Marcotte et al., 2018; Neumann, 2018; Rochon et al., 2010; Sadeghi et al., 2017; Simic, Bitan, et al., 2019; Simic et al., 2020; Simic et al., 2021; Simic, Rochon, et al., 2019; van Hees et al., 2013). Le Tableau 1 du premier article de cette thèse (Masson-Trottier et al., en révision) résume les études qui ont été menées étudiant l'efficacité de l'ACP. Dans ces études, l'ACP a été appliquée dans une variété de profils d'aphasie et à différents niveaux de sévérité. Toutes les études consistaient à des études de cas multiple à l'exception de Simic et al. (2021) qui compare deux groupes de 8

---

<sup>2</sup> Voir Webster, J. , Whitworth, A. et Morris, J. (2015) pour une discussion complète sur la définition d'acquisition, généralisation intra- et inter-niveau.

personnes qui reçoivent l'ACP à des intensités différentes. Enfin, la plupart des études ont été menées en anglais, à l'exception de Sadeghi et al. (2017) qui ont étudié l'ACP chez quatre participants parlant persan, et Kristensson et Saldert (2018) qui ont étudié l'ACP avec deux participants suédophones. Les caractéristiques d'une langue parlée pourraient influencer l'efficacité d'une thérapie visant à renforcer les connexions phonologiques. Pour une discussion sur les particularités du français, SVP consultez l'introduction du premier article de cette thèse (Masson-Trottier et al., en révision).

#### 1.3.3.2 Composantes et modalités de thérapie favorisant la récupération de l'anomie

Les auteur·rice·s d'une méta-analyse récente se sont penché·e·s sur les composantes de thérapie ciblant l'anomie – tout protocole confondu – favorisant les gains langagiers immédiats, et à long terme, sur les mots traités, de même que la généralisation aux mots non-traités (Sze et al., 2020). Les composantes d'intervention associées à une amélioration de la dénomination des mots traités immédiatement après la thérapie étaient la présentation écrite du mot-cible, ou des indices orthographiques explicites comme la première lettre ou le nombre de syllabes, et l'utilisation plus globale d'indices, que ceux-ci soient conditionnels à l'exactitude de la réponse du patient ou obligatoires, indépendamment de sa réponse (Sze et al., 2020). Pendant la phase de maintien (défini comme plus de trois semaines après la fin de l'intervention), une rétroaction sur l'exactitude de la réponse, en plus de la présentation écrite du mot-cible, ou des indices orthographiques explicites, ont été identifiés comme les meilleurs prédicteurs du succès de la thérapie pour les mots traités (Sze et al., 2020). Parmi les meilleurs prédicteurs de succès de thérapie sur les mots non-traités, trois composantes se sont démarquées : le nombre de sessions de thérapie, l'utilisation de tâches sémantiques et le mode d'intervention (par exemple, via un ordinateur ou par une personne formée) prédisaient une meilleure généralisation. Cette méta-analyse était particulièrement novatrice puisqu'elle a d'abord opérationnalisé les composantes des différents protocoles d'intervention dans les écrits scientifiques pour ensuite comparer des thérapies différentes, en considérant les ingrédients qui les composent.

En résumé, le champ des évidences scientifiques concernant les interventions ciblant l'anomie devient de plus en plus vaste, mais les études qui la composent divergent largement en ce qui

concerne les modèles théoriques de référence, les processus ciblés au sein des modèles et les *ingrédients* qui composent les interventions. Il est pertinent de souligner que l'effet d'une thérapie dépendra non seulement des caractéristiques de cette dernière, mais aussi de facteurs intrinsèques à la personne, qui seront discutés dans la section suivante.

En plus des ingrédients de thérapie, parmi les facteurs extrinsèques à la personne qui reçoit l'intervention, l'orthophoniste doit déterminer les modalités optimales de thérapie. Il faut déterminer la fréquence des séances (jours/semaine) et leur durée (heure), ce qui établit l'intensité (heures/semaine), puis la durée (semaine) qui influencera le dosage (heure totale d'intervention). Les modalités doivent être ajustées en fonction des progrès de la personne et ses besoins, mais doivent aussi prendre en compte ses facteurs intrinsèques qui influencent à leurs tours les modalités optimales pour cette personne. En clinique, bien que les modalités soient parfois dépendantes du milieu, l'établissement et la modification des modalités devraient être le fruit d'une collaboration entre l'orthophoniste et la personne qui vit avec une aphasie. Cela permet également de satisfaire les besoins de la personne et favoriser des progrès continus. Dans les vingt dernières années, de nombreuses études se sont penchées sur l'optimisation des modalités, réalisant des études de groupe, des essais (non-)randomisés et des méta-analyses (Bakheit et al., 2007; Bhogal, Teasell et Speechley, 2003; Brady et al., 2012; Brady et al., 2016; Cherney et al., 2011; Dignam et al., 2015; Doogan et al., 2018; Release Collaborators, 2022; Simic et al., 2021; Worrall et Foster, 2017). Les plus récentes données obtenues dans un travail colossal de méta-analyse réalisé par l'équipe Release Collaborators (2022) semblent indiquer que les modalités optimales varient selon la composante langagière ciblée. Le Tableau 2 ci-dessous résume les résultats de l'étude.

**Tableau 2**

*Modalités optimales d'intervention en orthophonie en fonction de la composante langagière ciblée selon la méta-analyse de Release Collaborators (2022)*

<b>Modalité mesurée</b>	<b>Composante langagière visée</b>	<b>Valeur de la modalité</b>	<b>Changement absolu moyen *</b>	
Dosage (heures totales)	Amélioration langagière globale	20 à 50	18.37 [10.58–26.16]	
	Compréhension orale	20 à 50	5.23 [1.51–8.95]	
		≤ 20	∅	
	Communication fonctionnelle	14 à 20	0.94 [0.34–1.55]	
		20 à 50	0.77 [0.43–1.1]	
		50 +	0.73 [0.37–1.08]	
	Dénomination	>20 à >50	≤ 5	12.48 [1.34, 23.62]
			>5 à >20	9.23 [1.75–16.70]
		≥50 à >100	∅	
		≥100	∅	
		∅		
Intensité (heures par semaine)	Amélioration langagière globale	≤ 2	15.85 [8.06–23.64]	
		3 à 4	15.80 [8.85–22.74]	
		9+	15.64 [9.14–22.13]	
	Compréhension orale	9+	7.3 [4.09–10.52]	
		3 à 4	6.01 [1.04–10.98]	
		≤ 2	6.5 [1.72–11.27]	
		2 à 3	∅	
		4 à 9	∅	
	Communication fonctionnelle	≤ 2	0.77 [0.36–1.19]	
		2 à 3	0.76 [0.34–1.18]	
		3 à 4	0.70 [0.35–1.06]	
	Dénomination	≤ 2	13.83 [5.83–20.64]	
3 à 4		9.70 [2.70–16.69]		
Fréquence (jour par semaine)	Amélioration langagière	5	14.95 [8.67–21.23]	
		3 à 5+		



		14.14 [5.99–22.29]
Compréhension orale	4 à 5	5.86 [1.64–10.08]
Communication fonctionnelle	5 5+	0.78 [0.48–1.09] ∅

*Note.* \*changement absolu moyen entre la ligne de base et le premier suivi après l'intervention sur la mesure standardisée transformée. L'amélioration langagière globale mesurée par le *Western Aphasia Battery–Aphasia Quotient*, la compréhension orale mesurée par le *Aachen Aphasia Test–Token Test*, la communication fonctionnelle mesurée par le *Aachen Aphasia Test–Spontaneous Speech* et la dénomination est mesurée par le *Boston Naming Test*.

Ces résultats ont des implications importantes pour les milieux cliniques et pour les études d'efficacité d'intervention. En effet, il est important de considérer les réalités cliniques au moment d'établir les protocoles de recherches afin de faciliter la mise en œuvre, en clinique, des meilleures pratiques. Toutefois, des résultats de cette envergure devraient également servir de levier pour aider à réformer les modalités offertes dans le système de santé québécois, par exemple. Aussi, en ce qui concerne les coûts monétaires et humains d'intervention, tant pour le réseau que pour la personne, et dans une ère où les orthophonistes peinent à répondre à la demande, il est important de viser un dosage, une intensité et une fréquence optimale, et de savoir que plus n'est pas toujours synonyme de mieux.

## Chapitre 2 – Présentation du projet de thèse

### 2.1 Position du problème

La capacité de communiquer par le langage est une compétence remarquable. Le langage est essentiel au quotidien, et les personnes qui vivent avec une aphasie en sont largement dépouillées. Le symptôme le plus fréquent et persistant dans l'aphasie reste **anomie** : une difficulté à trouver et à dire des mots. L'aphasie conduit à des situations de handicap persistantes et affecte négativement la qualité de vie de la personne (Lam et Wodchis, 2010), ainsi que celle de son proche aidant (Bakas et al., 2006). L'impact de l'aphasie sur la participation sociale est considérable, et le lien entre l'aphasie et la dépression est incontestable (Lam et Wodchis, 2010).

Des thérapies ont été développées visant spécifiquement à améliorer la dénomination de noms. Le protocole Analyse des Composantes Phonologiques (ACP) (Leonard et al., 2008), développée auprès d'une population anglophone, montre des effets prometteurs. En dépit des quelques études montrant les effets bénéfiques de cette thérapie, même dans la phase chronique de l'aphasie (Bose, 2013; Bose et al., 2019; Haentjens et Auclair-Ouellet, 2020; Hashimoto, 2014; Kristensson et Saldert, 2018; Leonard et al., 2008; Marcotte et al., 2018; Neumann, 2018; Rochon et al., 2010; Sadeghi et al., 2017; Simic, Bitan, et al., 2019; Simic et al., 2020; Simic et al., 2021; Simic, Rochon, et al., 2019; van Hees et al., 2013), les mécanismes cérébraux supportant le succès suivant cette thérapie demeurent incompris. Par ailleurs, les recherches visant à identifier des facteurs prédictifs ou contribuant à la récupération de l'aphasie telle que la sévérité initiale de l'aphasie, la taille de la lésion ou encore l'âge au moment de l'AVC ne sont pas, à ce jour, parvenus à des résultats généralisables à ce jour (Kristinsson et al., 2022; Lazar et al., 2008). Finalement, l'ACP n'a jamais été étudiée en français. Il existe des différences significatives entre le français et l'anglais<sup>3</sup> (langue dans laquelle l'ACP a été majoritairement

---

<sup>3</sup> Voir l'introduction de l'article 1 pour une synthèse des différences entre le français et l'anglais ainsi qu'un résumé sur l'impact potentiel sur l'efficacité de l'ACP.

étudiée). Ainsi, il demeure difficile à l'heure actuelle d'expliquer la variabilité de la récupération par suite de cette intervention en orthophonie, encore moins en français.

Les technologies de pointe en neuroimagerie se sont avérées très utiles dans la compréhension des principes à appliquer en réadaptation afin de maximiser la réponse du cerveau (Kleim et Jones, 2008) (Kiran et Thompson, 2019). En effet, les recherches fondamentales sur la neuroplasticité ont montré qu'il était possible d'agir sur la neuroplasticité, en réunissant des principes précis. Cela s'est ensuite appliqué aux interventions en réadaptation avec des humains récupérant par suite d'une lésion cérébrale. Les théories de l'apprentissage ont également influencé le milieu de la réadaptation (Hart et al., 2019), permettant de dégager des ingrédients actifs et mieux comprendre les mécanismes d'action entre les interventions et les cibles de celles-ci (Nunn et al., 2023).

L'imagerie par résonance magnétique permet d'étudier la neuroanatomie de même que les niveaux d'activités métaboliques dans certaines régions (grâce au signal dépendant du niveau d'oxygénation ou BOLD) permettant d'explorer les activations et la connectivité fonctionnelle. En combinant des techniques de neuroimagerie à une thérapie de dénomination démontrée efficace, nous cherchons à comprendre comment le cerveau bénéficie de ces interventions, quelles régions soutiennent ces améliorations dans le cas de lésion alors que le circuit normal est rompu, et comment le cerveau se réorganise après une thérapie intensive, spécifique et basée sur les principes de la NPDE.

Dans un contexte où le temps de réadaptation diminue, les orthophonistes ont besoin de pouvoir cibler une thérapie efficace dès le départ (Ulm et al., 2016). Une étude menée dans notre laboratoire a montré le potentiel de neuroplasticité chez les personnes âgées ayant des lésions cérébrales chroniques (Marcotte et al., 2012). Cette recherche a montré qu'une bonne réponse à la thérapie ATS appliquée aux noms était signalée par l'activation en prétraitement du gyrus précentral gauche et l'activation post-traitement du LIPL, deux aires qui soutiennent le traitement sémantique. C'est en suivant cette perspective de développer une meilleure compréhension des effets d'une intervention spécifique et formalisée qu'est entreprise cette thèse.

### **2.1.1 Lacunes dans les écrits scientifiques**

L'aphasie est un obstacle majeur à la communication et à une bonne qualité de vie. Alors que plusieurs interventions ont été développées ciblant l'aphasie, et plus spécifiquement l'anomie, il existe une lacune notable concernant la documentation des effets de thérapies traduites et adaptées en français. Considérant que la population francophone représente plus de 321 millions de personnes (Organisation internationale de la Francophonie, s. d.), il est pertinent d'étudier une thérapie adaptée à cette communauté. Par ailleurs, cette lacune nécessite une étude approfondie qui non seulement examine les avantages et les limites potentiels d'une telle thérapie, mais qui intègre également de nouvelles analyses de neuroimagerie et la considération des facteurs individuels dans l'interprétation des résultats. Spécifiquement concernant l'ACP, les études réalisées jusqu'à ce jour comptaient un petit nombre de participant·e·s et, lorsqu'elles utilisaient des outils de neuroimagerie pour mesurer les effets de l'intervention, utilisaient des techniques d'analyse présentant des limites ou des inconvénients méthodologiques, surtout avec le nombre de participant·e·s limité·e·s. En visant à combler ces lacunes, les chercheur·euse·s peuvent faire progresser la compréhension des interventions adaptées à l'aphasie, en tenant compte des mécanismes neurobiologiques et des différences individuelles tout en favorisant le développement d'interventions fondées sur des données probantes et améliorer les gains en réadaptation pour les personnes francophones vivant avec une aphasie. Par ailleurs, la majorité des recherches sur les interventions auprès de personnes vivant avec une aphasie se concentrent principalement sur les gains à court terme. L'étude de maintien des effets et du transfert aux situations de communication quotidiennes est cruciale pour déterminer les avantages à long terme pour les personnes francophones vivant avec une aphasie. Des mesures de maintien n'ont jamais été prises à 6 mois après la fin de l'intervention ACP. La récupération dans un contexte d'aphasie et la réponse à la thérapie sont influencées par divers facteurs personnels et liés à la condition. Cependant, ces facteurs sont souvent négligés dans l'évaluation des interventions. L'intégration de ces facteurs dans les analyses permettra de mieux comprendre les effets modulateurs qu'ils peuvent avoir sur les gains et guider le développement d'interventions sur mesure qui tiennent compte des variations individuelles.

## 2.2 Objectifs

Le but de la présente thèse est d'identifier les signes comportementaux et neurofonctionnels critiques qui caractérisent la récupération d'une anomie post-AVC en suivant le protocole ACP en français. Ainsi, l'objectif général est d'arriver à identifier des corrélats comportementaux et neurofonctionnels associés à la récupération de la capacité à dénommer des noms suite à l'application d'une thérapie spécifique. Les objectifs spécifiques de ce travail sont de fournir des preuves documentant l'impact de la thérapie spécifique en orthophonie, et d'explorer les facteurs individuels pouvant caractériser l'amélioration à la suite de cette thérapie en utilisant des approches méthodologiques diverses et complémentaires, allant de mesures comportementales à des mesures neurofonctionnelles et neuroanatomiques. Pour y parvenir, trois études interdépendantes ont été menées.

Un premier article propose une analyse comportementale des effets de l'ACP à court et à long terme, tout en considérant les facteurs individuels, afin de déterminer si l'ACP mène à des gains pour les mots traités, et à une généralisation. Il est attendu que le protocole ACP entraîne des améliorations significatives pour les mots traités, non-traités et pour les autres tâches langagières, que ces gains soient maintenus dans le temps. Il est par ailleurs attendu que des facteurs liés à la condition tels que le temps depuis la lésion, la sévérité initiale de l'aphasie et la présence d'anomie influencent les gains observés. Le manque de consensus dans les écrits scientifiques concernant les facteurs personnels comme l'âge, le sexe et le nombre d'années d'éducation portent à croire que ceux-ci n'influenceront pas la réponse à l'intervention.

Un second article présente une analyse des changements de connectivité fonctionnelle de repos par suite de l'intervention ACP et explore l'influence de facteurs individuels dans ces changements. L'hypothèse avancée est que les améliorations comportementales mesurées par suite de l'ACP dans l'article 1 se refléteront par des changements de la connectivité fonctionnelle de repos chez les participant-e-s, plus spécifiquement entre des régions impliquées dans le traitement phonologique et sémantique. Il est également attendu que les changements de connectivité fonctionnelle de repos soient modulés par le facteur individuel lié à la condition de la sévérité initiale.

Enfin, un troisième article propose d'étudier les effets de l'ACP sur la communication et le contrôle cognitif en explorant l'influence du bilinguisme et l'apport des données neuroanatomiques, notamment en examinant l'interaction entre les mesures comportementales et la localisation de la lésion au sein de l'hémisphère gauche et des différences neuroanatomiques de l'hémisphère droit. Il est envisagé que les personnes vivant avec une aphasie bilingue s'amélioreront plus que leurs pairs monolingues, vu leur réserve cognitive supérieure. Par ailleurs, il est attendu que des lésions affectant le réseau langagier aient un effet néfaste sur la récupération. Finalement, il est attendu que les personnes bilingues montrent une épaisseur corticale supérieure dans l'hémisphère droit, témoignant de leurs expériences de bilinguisme, et que cette épaisseur corticale soit liée à leurs améliorations.

## **2.3 Méthodologie**

### **2.3.1 Approche méthodologique**

L'objectif de la présente thèse est de comprendre les corrélats comportementaux et neurobiologiques de l'ACP en français. Afin de répondre aux questions énoncées ci-dessus qui considèrent à la fois les effets comportementaux et neurofonctionnels de l'ACP, l'approche méthodologique adoptée consiste en un devis expérimental de groupe complété par des études de cas uniques multiples à mesures répétées, avant et après la thérapie ainsi qu'à 3 mois et à 6 mois après l'intervention. Ce type de devis expérimental a déjà été testé dans notre laboratoire (Durand, 2019; Marcotte, 2011). Le devis expérimental de multiples études de cas uniques est pertinent pour étudier les populations cliniques, car il permet de prendre en compte les facteurs individuels susceptibles d'influencer le résultat des interventions d'orthophonie. De plus, ce devis est conciliable avec les analyses de groupe (Durand, 2019; Marcotte et al., 2012).

Pour chacune des études dans cette thèse, les lecteurs·trices peuvent consulter la section méthodologie de chaque article où la méthodologie observée est décrite en détail. Les éléments expérimentaux communs aux trois articles sont présentés ci-dessous.

## 2.3.2 Participant·e·s

### 2.3.2.1 Aspect éthique

Le présent projet de recherche se déroule avec la participation de personnes vivant une aphasie et inclut la passation d'examens en neuroimagerie. Une demande d'évaluation du projet de recherche a été déposée auprès du Comité mixte d'éthique de la recherche du Regroupement Neuroimagerie Québec (CMER-RNQ) le 3 mars 2015. Le projet de recherche a été approuvé par le CMER-RNQ le 6 mai 2015, numéro d'approbation CMER RNQ 15-16-02. Le formulaire d'information et de consentement destiné aux participants daté du 7 juillet 2016 se trouve à l'annexe 1. Les mesures de confidentialité et les explications relatives au protocole et à la passation de l'IRM sont incluses dans le formulaire d'information et de consentement que chacun des participants aura eu à signer.

### 2.3.2.2 Critères d'inclusion

Pour les trois études menées dans cette thèse, les participant·e·s vivant avec une aphasie devaient répondre aux critères d'inclusion suivants :

- présenter une aphasie chronique, c'est-à-dire depuis au moins un an après l'AVC,
- avec une lésion unique dans l'hémisphère gauche,
- présenter une anomie des noms lors de tâche d'évaluation formelle ou en discours,
- être droitier avant AVC,
- de langue maternelle française ou avoir le français comme langue d'usage

Afin de bien atteindre les objectifs établis pour cette thèse, compte tenu de la nécessité de différencier la récupération spontanée observable durant la première année suivant l'AVC et la récupération induite par la thérapie ACP étudiée, le stade d'aphasie chronique a été choisi pour éviter la période de récupération spontanée durant l'année suivant l'AVC (Carey et Seitz, 2007).

### 2.3.2.3 Critères d'exclusion

- ne pas être porteur-euse d'éléments métalliques qui sont incompatibles avec l'appareil d'IRMf,
- sans aucune autre pathologie d'origine neurologique, cognitive, ou psychiatrique.

### 2.3.2.4 Recrutement

Le recrutement pour ce projet a nécessité de nombreuses démarches. Un partenariat avec le Regroupement des Associations de Personnes Aphasiques du Québec (RAPAQ), aujourd'hui appelé Aphasie Québec – Le Réseau, était déjà établi au début de ce projet doctoral. Le recrutement de participant-e-s respectant les critères établis s'est avéré plus difficile qu'anticipé, surtout en ce qui a trait à la compatibilité IRM. Ainsi, un volet comportemental a été établi. Ensuite, des démarches pour convertir le projet en projet multicentrique au sein du CIUSSS ont été réalisées. Finalement, une [vidéo de vulgarisation scientifique et de promotion du projet](#) a été créé.

Au bout d'une période de recrutement actif s'étalant sur un peu plus de trente-six (36) mois, trente-cinq (35) participant-e-s potentiel-le-s ont été identifié-e-s, contacté-e-s et évalué-e-s. Parmi l'ensemble, dix-huit (18) participant-e-s ont été effectivement recruté-e-s, onze (11) participant-e-s ont pris part aux volets d'évaluations comportementales et de neuroimagerie, et sept (7) n'ont participé qu'au volet comportemental. Le Tableau 4 ci-dessous représente la distribution des participant-e-s dans les études qui composent cette thèse ainsi que leur identifiant respectif dans les différentes études.



**Tableau 3***Répartition des participant·e·s dans les trois études*

<b>Numéro du·de la participant·e</b>	<b>Étude 1</b>	<b>Étude 2</b>	<b>Étude 3</b>
PA02	Inclus – sans identifiant		
PA05	Inclus – sans identifiant	PCA1	MA3
PA08	Inclus – sans identifiant	PCA2	
PA11	Inclus – sans identifiant	PCA3	BA4
PA12	Incluse – sans identifiant	PCA4	MA4
PA13	Inclus – sans identifiant		
PA15	Inclus – sans identifiant	PCA5	MA1
PA16	Inclus – sans identifiant		
PA17	Incluse – sans identifiant	PCA6	MA2
PA19	Inclus – sans identifiant	PCA7	BA3
PA20	Inclus – sans identifiant		
PA22	Incluse – sans identifiant	PCA8	BA2
PA25	Inclus – sans identifiant	PCA9	
PA26	Incluse – sans identifiant		
PA27	Inclus – sans identifiant	PCA10	BA1
PA28	Inclus – sans identifiant		
PA29	Incluse – sans identifiant		
PA30	Inclus – sans identifiant		

### **2.3.3 Matériel d'intervention**

Le matériel constitué dans le cadre de cette thèse consiste en un ensemble d'images représentant 270 noms (fruits, légumes, vêtements, animaux, parties du corps, meubles et autres objets) et 100 verbes d'action. L'élaboration de ce matériel est basée d'une part sur la sélection de noms et de verbes d'action avec une attention portée aux variables

psycholinguistiques de ces mots, et d'autre part sur la qualité des images utilisées comme stimuli.

### 2.3.3.1 Création des stimuli de la thérapie ACP

Pour tous les mots-cible de chacune des listes établies, la fréquence, la complexité syllabique et la complexité phonologique ont été recensées à partir de la base de données Lexique 3.8 (New et Pallier, V 3.8). La base de données Lexique 3.8 présente l'avantage que ses données sont basées non seulement sur des relevés d'occurrence dans des livres, mais aussi sur les dialogues de films, ou plus précisément sur les sous-titres. Ce sont les valeurs de fréquence des films que nous avons choisies pour notre travail, car elles sont susceptibles d'être proches du langage utilisé dans les interactions quotidiennes.

#### 2.3.3.1.1 Noms

Une liste de 200 mots-cible, liste utilisée par le laboratoire de Professeure Carol Leonard pour les études concernant l'ACP en anglais (Leonard et al., 2008), a été traduite et adaptée de l'anglais au français. Les composantes phonologiques associées ont été déterminées par deux orthophonistes expérimentées. Il n'aurait pas été approprié de simplement traduire les composantes phonologiques anglophones qui faisaient partie de l'intervention anglophone originale puisque les composantes phonologiques (son initial, son final, mots ayant le même son initial que le mot-cible, mots qui riment avec le mot-cible et nombre de syllabe(s)) de chaque stimulus sont dépendantes de la forme phonologique du mot-cible. La liste pour le présent travail de recherche a par ailleurs été bonifiée par 70 mots supplémentaires ayant une complexité syllabique plus importante et une fréquence moindre afin de permettre à des participant·e·s ayant une anomalie moins sévère lors de tâches de dénomination de participer également sans avoir atteint un plafond avant l'intervention. Par ailleurs, pour chaque mot-cible, une image correspondante a été sélectionnée à partir d'une banque d'images standardisées (Brodeur et al., 2011; Brodeur et al., 2010; Brodeur et al., 2012). La banque d'images Bank of Standardized Stimuli (BOSS) a été choisie comme source pour les stimuli visuels puisqu'elle offre des photos en couleurs sur fond blanc, ce qui permet de favoriser la meilleure performance en dénomination (Brodie et al., 1991).

#### 2.3.3.1.2 Verbes

Une liste de 100 verbes d'action a été constituée à partir de la liste de 134 verbes d'action développé par Professeure Edith Durand dans le cadre de son projet doctoral (Durand, 2019). Les composantes phonologiques associées ont également été déterminées par deux orthophonistes expérimentées.

Pour chaque mot-cible, une image correspondante a été sélectionnée à partir d'une banque d'images montrant des personnes effectuant des actions dans le quotidien (Stark, 1998). La banque d'image Everyday life activities (ELA) a été choisie comme source pour les stimuli visuels puisqu'elle offre des photos en couleurs dans un environnement naturel, ce qui permet de favoriser la meilleure performance en dénomination.

#### 2.3.3.2 Création des composantes phonologiques

Afin de créer les composantes phonologiques appropriées pour chaque stimuli, les mêmes principes conducteurs ayant été employés par Leonard et al. (2008) lors de la création de la version anglophone de l'intervention ont été respectés. Par exemple :

1. Pour générer les composantes phonologiques « mots qui riment » et « mots ayant le même son initial », les conventions suivantes ont été suivies :
  - a. Dans la mesure du possible, les mots utilisés comme exemples de composantes phonologiques devaient avoir le même nombre de syllabes que le mot-cible auquel ils s'associent.
  - b. Chacune des composantes devait impliquer trois exemples de mots (trois mots différents par composante), même si ces exemples sont des non-mots.
  - c. Aucun mot-cible ne pouvait aussi être utilisé comme composante.
  - d. La réutilisation d'exemples de composantes pour différents mots-cible devait être évitée autant que possible.
  - e. Dans la mesure du possible, les exemples de composantes phonologiques devaient être des mots concrets.
  - f. Les exemples pour la composante « mots qui riment » ne devaient pas commencer par la même lettre que le mot-cible auquel ils sont associés.

- g. Inversement, pour la composante « mots ayant le même son initial », les exemples ne devaient pas rimer avec le mot-cible auquel ils sont associés.
  - h. Les exemples de composantes phonologiques ne devaient pas être sémantiquement reliés au mot-cible auquel ils sont associés.
2. Pour ce qui est de la composante phonologique « nombre de syllabes », il est à noter que le chiffre correspond au nombre de syllabe phonologique (lorsque le mot est dit à l'oral) et non orthographique.
  3. Les composantes phonologiques « premier son » et « dernier son », correspondent tout simplement à la/aux lettre/s plus communément associée/s avec le premier et le dernier son du mot-cible.

#### 2.3.3.3 Normalisation des stimuli

Pour assurer la fiabilité du matériel, que chaque image choisie corresponde au mot-cible visé et que chaque composante phonologique corresponde aux représentations phonologiques générales de la population franco-qubécoise, une normalisation des stimuli a été effectuée sur visionnage des images et dénomination. Cette normalisation a été effectuée auprès de 20 participant·e·s francophones, âgé·e·s de 60 à 84 ans. Un deuxième test d'accord, administré par formulaire informatisé, a été complété par 18 autres personnes francophones. Les résultats de cette validation ont été mesurés grâce au H-value.

Notez que pour les images qui peuvent susciter deux termes différents, les composantes phonologiques ont été générées pour chacune des possibilités de mots-cible. Il a été discuté que dans un tel cas, il serait nécessaire de demander au participant le mot qu'il préfère afin d'utiliser les indices phonologiques appropriés, malgré l'existence d'autres solutions (ex : utiliser le terme qui a la plus haute fréquence d'usage, utiliser le mot qui est le plus court, etc.).

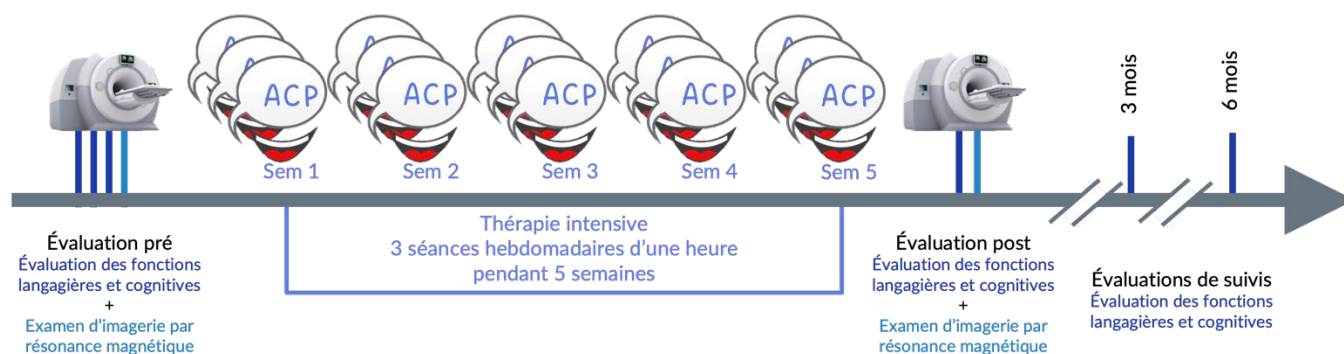
## 2.4 Protocole de recherche

Au cours de ce projet de recherche, les participant·e·s sont soumis à un total de six rencontres évaluations comportementales du langage et des fonctions cognitives. L'évaluation pré-thérapie était divisée en trois rencontres afin de permettre trois mesures de la performance de dénomination sur l'ensemble des stimuli développés pour le protocole ACP – appelée ligne de

base. Les différentes tâches d'évaluation effectuées dans ce projet de recherche, en plus de la tâche de dénomination de ligne de base, sont indiquées dans le Tableau 5 ci-dessous. Pour les participant·e·s admissibles au volet de neuroimagerie, l'évaluation du langage et des fonctions cognitives et l'évaluation en neuroimagerie étaient effectuées avant le début de la thérapie. Par la suite, le protocole ACP était administré. Après la fin du protocole, l'évaluation du langage et des fonctions cognitives constituée des mêmes tâches d'évaluation qu'en pré-thérapie était répétée, à l'exception de la ligne de base. Pour les participant·e·s admissibles au volet de neuroimagerie, l'examen IRM était à nouveau réalisé après la thérapie. Des suivis à 3 mois et à 6 mois étaient effectués, constitués d'une évaluation du langage et des fonctions cognitives composée des mêmes tests qu'avant et après la thérapie, mais sans examen IRM pour les participant·e·s admissible. La Figure 8 illustre le protocole.

**Figure 8**

*Déroulement du projet de recherche*



### 2.4.1 Évaluations et objectifs

Avant de débiter le protocole, chaque participant·e·s est soumis·e à une évaluation comportementale du langage et des fonctions cognitives. La thérapie ACP cible l'anomie dans une approche centrée sur le déficit (Kagan, 2011). Toutefois, l'effet espéré de la thérapie est une amélioration de la communication dans son sens plus large. Ainsi, les tâches d'évaluation sélectionnées dans le cadre de cette thèse comprennent à la fois des mesures des fonctions langagières classiquement étudiées dans les études de thérapie en orthophonie auprès de personnes vivant avec une aphasie, de même que des mesures de généralisation intraniveau,

généralisation interniveau jusqu'à la communication fonctionnelle et de transfert vers des fonctions cognitives.

**Tableau 4**

*Ensemble des tâches d'évaluation effectuées les des évaluations comportementales*

	<b>Tâche d'évaluation</b>	<b>Objectif</b>
	Quotient de latéralité Edinburgh*	Critère d'inclusion – objectiver la dominance gauche-droite du-de la participant-e
	Beck Depression Inventory*	Critère d'inclusion – déterminer s'il y a présence de dépression
	BORB – test 7	Critère d'inclusion – déterminer s'il y a présence d'un trouble de perception visuel
Fonctions langagières	TDQ 60	Mesure clinique du langage généralisation intra-niveau
	DVL 38	Mesure clinique du langage généralisation intra-niveau
	MT-86 : compréhension orale de mots	Critère d'inclusion et mesure clinique du langage
	MT-86 : compréhension orale de phrases	Mesure clinique du langage généralisation inter-niveau
	MT-86 : compréhension écrite de mots	Critère d'inclusion
	MT-86 : répétition	Mesure clinique du langage généralisation inter-niveau
	MT-86 : évocation sur critère sémantique Discours de Cendrillon	Mesure clinique du langage généralisation inter-niveau Mesure clinique du langage généralisation inter-niveau
Communication fonctionnelle	CETI (rempli par le proche)	Mesure clinique de la communication fonctionnelle généralisation inter-niveau
Fonctions motrices de la parole	Apraxia battery for adults – test 2 et 3	Critère d'inclusion – déterminer s'il y a présence d'apraxie généralisation inter-niveau
Fonctions cognitives	MoCA	Critère d'inclusion – déterminer s'il y a présence de troubles cognitifs
	CASP	Critère d'inclusion – déterminer s'il y a présence de troubles cognitifs à l'aide d'un test adapté aux troubles du langage
	TMT A	Mesure clinique des fonctions exécutives transfert
	TMT B	Mesure clinique des fonctions exécutives transfert
	Flanker task	Mesure clinique du contrôle cognitif transfert
	One-back test	Mesure clinique de la mémoire de travail transfert

BORB : Birmingham Object Recognition Battery (Riddoch et Humphreys, 1993); TDQ 60: Test de Dénomination de Québec – 60 images (Macoir et al., 2017); DVL-38 : Dénomination de verbes lexicaux en images (Hammelrath,

---

2005); MT-86 : Protocole Montréal-Toulouse (Barnay et al., 2014); CETI : Communicative Effectiveness Index (Lomas et al., 1989); MoCA : Montreal Cognitive Assessment (Nasreddine et al., 2005); CASP : Cognitive Assessment scale for Stroke Patients (Barnay et al., 2014); TMT : Trail Making Test (Stuss et al., 2001; Tombaugh, 2004) \* tâche d'évaluation effectuée seulement avant la thérapie

---

#### 2.4.1.1 Mesures de ligne de base

À chaque séance d'évaluation pré-thérapie, les 270 stimuli étaient présentés aux participant·e·s avec la consigne « Pouvez-vous me nommer l'image suivante? ». Aucune rétroaction n'était offerte. Les stimuli étaient présentés sur un écran d'ordinateur à l'aide d'un logiciel Python initialement codé par Pierre Berroir, puis que j'ai adapté aux besoins spécifiques de l'ACP. Les performances et temps de réponse pour chaque stimulus à chacune des séances étaient comptabilisés.

#### 2.4.1.2 Ensembles de stimuli individualisés

Un ensemble de stimuli individualisé a été conçu pour chaque participant en fonction de la performance en dénomination obtenue lors des trois mesures de ligne de base réalisées avec les 270 stimuli. L'ensemble de stimuli individualisé contenait 80 mots-cibles divisés en trois listes balancées pour la fréquence, la complexité phonologique et l'imageabilité :

- 60 mots nommés incorrectement à 2/3 ou 3/3 des mesures de ligne de base, divisés en deux listes:
  - Liste A : 20 mots à entraîner
  - Liste B : 40 mots non entraînés pour mesurer la généralisation de l'effet de la thérapie ACP
- Liste C : 20 mots nommés correctement à 2/3 ou 3/3 des mesures de ligne de base

### 2.4.2 Préparation et déroulement de l'acquisition en IRM

Tous·tes les participant·e·s ont été dépisté·e·s afin de vérifier la compatibilité pour les examens IRM. Pour les participant·e·s admissibles au volet de neuroimagerie, l'évaluation en neuroimagerie était effectuée pré- et post-thérapie.

#### 2.4.2.1 Présentation d'un livret explicatif du déroulement de la séance d'IRM

Passer un examen IRM est un moment stressant pour les adultes sans condition médicale, et encore plus pour les personnes vivant avec une aphasie. Par ailleurs, c'est souvent la première fois que le·la participant·e se déplace au CRIUGM et le déplacement peut être un facteur de stress supplémentaire. Afin de faciliter le déroulement de la séance d'acquisition, un cahier d'information a été réalisé en collaboration avec Edith Durand. Ce livret (voir en Annexe 2) présente le déroulement de la séance d'évaluation et était remis à chaque participant·e avant la journée où l'IRM était prévue. Il servait de support visuel pour les explications auprès de la personne vivant avec une aphasie.

#### 2.4.2.2 *Simulation à la passation de l'examen en IRM*

Avant d'effectuer la première séance d'IRM, tous·tes les participant·e·s ont bénéficié d'une séance dans le simulateur d'examen IRM (présent à l'Unité de Neuroimagerie fonctionnelle ((UNF). Cela permet, entre autres, aux participant·e·s de visiter les locaux de l'UNF, de s'habituer au bruit de l'IRM et à l'environnement, de se familiariser avec la tâche à effectuer dans l'IRM. La tâche qui sera à effectuer dans l'IRM est la même que la tâche pratiquée lors de la simulation: essayer de nommer l'image le plus rapidement et le plus précisément possible tout en demeurant le plus immobile possible ou dire « baba » pour les stimuli contrôle. Cela permet ainsi de diminuer le stress relié et d'améliorer les performances des participants lors des sessions d'IRM (LaPointe, 2005).

#### 2.4.2.3 Déroulement de l'acquisition en IRM

La séquence des différentes acquisitions en IRM a été établie afin de favoriser la qualité des données en IRMf événementielle en priorité, mais aussi de sorte à mettre de la distance entre la tâche d'acquisition neurofonctionnelle en état de repos pour éviter les activations rémanentes des acquisitions avec tâches. Ainsi, les acquisitions se déroulent dans l'ordre suivant :

1. Séquence d'acquisition d'une image anatomique (T1-weighted)
2. Séquence neurofonctionnelle avec tâche de dénomination en deux séquences (IRMf-ev)
3. Séquence de perfusion sanguine (séquence p-CASL)



4. Séquence d'imagerie de diffusion
5. Séquence neurofonctionnelle au repos (IRMf-r)

#### 2.4.2.4 Organisation des stimuli pour la tâche de dénomination d'image en IRMf événementielle

Un ensemble de 80 images par participant a été colligé, rassemblant les 20 échoués à la ligne de base qui seront entraînés en thérapie (Liste A), les 40 mots échoués qui serviront à mesurer la généralisation intraniveau (Liste B) et les 20 mots dénommés correctement en ligne de base (Liste C). En plus, 20 items, dont la présentation visuelle a été distordue, servent de condition contrôle.

Ainsi, la tâche de dénomination d'image comporte 100 stimuli, et a été divisée en deux séquences pour éviter la fatigue du·de la participant·e. Pour éviter un phénomène d'habitation entre les acquisitions et de dénomination par anticipation de la part de la personne vivant avec une aphasie, un script de génération aléatoire de distribution des 100 mots a été codé par Guillaume Vallet.

##### 2.4.2.4.1 *L'ensemble de stimuli pour l'IRMf-ev*

Il a été déterminé que la condition contrôle optimale pour ce travail consiste en la présentation d'une image distordue et demander la production /baba/. En effet, suivant le principe de soustraction utilisé en IRMf, la condition de contrôle doit être similaire à la condition expérimentale à l'exception du phénomène que l'on veut étudier (Huettel et al., 2014). Puisque la cible dans cette étude est le traitement lexico-sémantique des mots, il s'agit donc de présenter une image distordue (et donc libre de sens) pour faire réaliser au·à la participant·e un traitement visuel, une production phonologique et de la parole, mais sans traitement sémantique. Pour produire ces images, un ingénieur en traitement de signal, Basile Pinsard, a codé un script sur Matlab pour réaliser la distorsion visuelle de nos données.

Ce procédé utilisé dans des études précédentes dans notre laboratoire (Durand et al., 2018; Durand et al., 2021; Marcotte et al., 2012; Marcotte et Ansaldo, 2010), à savoir les images floutées étaient présentées pour la condition contrôle, au cours de laquelle les participant·e-s

étaient entraînés à dire /baba/. Selon Willenbockel et al. (2010), il est important de proposer des stimuli contrôle qui ont des attributs de perception visuelle de bas niveau similaires aux stimuli de mesure en ce qui a trait notamment à la luminance, le contraste et la fréquence spatiale, sans quoi on est susceptibles à retrouver des biais pouvant remettre en cause les résultats obtenus en neuroimagerie selon différentes techniques dont l'IRMf. Un article de Kret et al. (2011) soulignant le rôle de la caractéristique de mouvement et indiquant la transformation de Fourier comme méthode optimale pour la distorsion d'image a guidé le choix méthodologique pour ce travail. Basile Pinsard a codé un script sur Matlab pour réaliser la distorsion visuelle de nos données suivant ces méthodes (Hoffman et al., 2007; Kret et al., 2011). Les 270 images ont été distordues suivant ce script. Lors des acquisitions, les images distordues présentées aux participant·e·s correspondaient aux stimuli personnalisés.

#### *2.4.2.4.2 Optimisation des intervalles interstimuli*

Chaque stimulus était diffusé pour une durée de 4500 ms, avec des intervalles interstimuli (ISI) variables de 4325 ms à 8500 ms. La variation de l'ISI permet l'acquisition de la réponse hémodynamique à différents moments. Une collaboration avec Jason Steffener a permis d'optimiser cet ISI en prenant en compte les données acquises par Marcotte et al. (2012) auprès de personnes vivant avec une aphasie en situation de dénomination pré- et post-thérapie. Cette optimisation vise à accroître la puissance statistique des données acquises.

### **2.4.3 Protocole Analyse des composantes phonologiques**

#### **2.4.3.1 Fréquence, intensité et dosage de la thérapie ACP**

La thérapie ACP a été administrée en suivant les principes de thérapie intensive, tels que déjà éprouvés lors de travaux antérieurs dans notre laboratoire (Durand et al., 2018; Durand et al., 2021; Marcotte et al., 2012; Marcotte et Ansaldo, 2010). Ainsi, la fréquence de thérapie était trois jours par semaine pour une durée de cinq semaines, chaque séance ayant une durée d'une heure. Ainsi, l'intensité fixée dans ce protocole de thérapie était de trois heures par semaine et le dosage de 15 heures. Chaque séance d'une heure de thérapie permettant de travailler l'ensemble de 20 mots sur la Liste A en révisant les composantes phonologiques suivant la procédure indiquée ci-dessous de trois à cinq cycles, dépendamment de la performance et de

l'état de fatigue de chaque participant·e. La thérapie ACP a initialement été administrée en modalité présentielle avec un support informatisé, puis a été convertie en téléintervention pendant la pandémie COVID. Les thérapies se déroulaient le plus souvent au domicile du·de la participant·e ou dans un local attribué dans une association partenaire du RAPAQ.

#### 2.4.3.2 Procédure d'intervention

La thérapie ACP suit la même procédure que la thérapie PCA développée par Leonard et al. (2008). À chaque séance d'intervention, à l'aide d'un logiciel Python codé avec l'aide de Pierre Berroir, les 20 stimuli de la liste 1 (décrite dans la section 2.4.1.2) ont été présentés et traités dans un ordre aléatoire. Le logiciel permettait de noter les bonnes réponses ainsi que les indices générés de façon autonome. Les stimuli étaient présentés dans un ordre aléatoire à chacune des thérapies.

Tout d'abord, l'image apparaissait au centre de l'écran. Si l'image était nommée correctement, la réponse était renforcée sans renommer l'image (par exemple, "oui, c'est exact"). Même si le·la participant·e nommait correctement l'image, il lui était demandé de produire les composantes phonologiques demandées. Les composantes étaient généralement générées dans l'ordre suivant : premier son, dernier son, nombre de syllabes, premier son associé, et rime. Il convient de noter que l'image cible restait à l'écran pendant tout le processus de génération des composantes, tandis que les composantes données étaient progressivement affichées à leurs emplacements respectifs sur l'écran au fur et à mesure qu'elles étaient générées.

## Figure 9

Exemple de tableau d'intervention ACP

Premier son

cl

Dernier son

ure



Autre mot qui commence par

clou

Syllabe

2

Rime

bouture

Après la tentative initiale de nommer le stimulus, les participant·e·s disposaient d'environ 10 secondes pour générer eux-mêmes une réponse pour chaque composante, où une seule réponse était requise par caractéristique avant de passer à la caractéristique suivante du tableau. À noter que lors de la normalisation de la thérapie ACP, des possibilités étaient déterminées, mais toutes bonnes réponses étaient acceptées pendant les thérapies. Les participant·e·s étaient encouragé·e·s à générer des réponses différentes à chacune des séances, mais, si un·e participant·e insistait sur le fait que la répétition était sa réponse préférée, elle était acceptée. Si le·la participant·e n'était pas en mesure de produire une réponse ou produisait une réponse incorrecte (par exemple [r] est le premier son au lit) à la composante en question, la bonne réponse était fournie pour la composante *premier son*, *dernier son* et *nombre de syllabes*. Pour les composantes de *premier son associé* et *rimes*, un choix de trois bonnes réponses issues de la normalisation était offert au·à la participant·e.

#### 2.4.3.3 Ajustements dans le contexte de la pandémie COVID-19

Le 12 mars 2020, la Direction de l'enseignement et de la recherche (DEUR) du CIUSSS-CSMTL a différé tout projet de recherche au sein du CIUSSS. Trois participant·e·s ont débuté le protocole de recherche entre le novembre 2019 et janvier 2020. Iels ont terminé la phase d'intervention, mais les suivis à 3 et 6 mois n'ont pas été possibles puisque les rencontres avec les participant·e·s n'étaient pas permises.

En juillet et octobre 2020, un changement au certificat d'éthique permettait les téléinterventions avec ce protocole. Deux participant·e·s ont été admis au projet pour recevoir les interventions en téléintervention. Malheureusement, iels n'étaient pas disponibles pour les évaluations de suivis. L'une est devenue bénévole pour aider dans la situation pandémique et l'autre s'est vu institutionnalisé et n'était pas autonome pour se connecter au Zoom.

## 2.5 Plan d'analyses

Les méthodes d'analyse des données comportementales et neurofonctionnelles sont présentées dans chaque étude soumise dans le cadre de ce travail doctoral et sont décrites dans les chapitres suivants.

## Chapitre 3 – Premier article

### **Phonological Component Analysis therapy in French improves communication abilities in participants with chronic aphasia, but do personal factors influence this effect?**

***En révision à Brain and Language, 2023***

Michèle Masson-Trottier<sup>a,b\*</sup>, Karine Marcotte<sup>a,c</sup> Elizabeth Rochon<sup>d,e,f,g</sup>, Carol Leonard<sup>d,f,h</sup> and Ana Inés Ansaldo<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>École d'orthophonie et d'audiologie, Université de Montréal, Montréal, Canada;

<sup>b</sup>Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal, Montréal, Canada;

<sup>c</sup>Centre de recherche du Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Nord-de-l'île-de-Montréal, Montréal, Canada;

<sup>d</sup> Department of Speech-Language Pathology, Temerty Faculty of Medicine, University of Toronto, Toronto, Canada

<sup>e</sup> Kite Research Institute, Toronto Rehabilitation Institute, University Health Network, Toronto, Canada

<sup>f</sup> Heart and Stroke Foundation, Canadian Partnership for Stroke Recovery, Ontario, Canada

<sup>g</sup> Rehabilitation Sciences Institute, University of Toronto

<sup>h</sup> School of Rehabilitation Sciences, University of Ottawa

\*corresponding author: 4545 chemin Queen Mary, Montréal, Québec, Canada H3W 1W4



## **Highlights**

- Phonological Component Analysis is effective in French.
- Reduced therapy gains with age, initial anomia severity, and severe apraxia of speech.
- Written phonological cues may play an important role in therapy effectiveness.

## **Acknowledgements**

The authors would like to thank all the participants and their caregivers for their time and commitment.

## **Funding**

This work was supported by the Canadian Institutes of Health Research [grant number MOP 137031]. M.M.T. received a Ph.D. scholarship from the Canadian Institutes of Health Research [grant number GSD 164193].

## **Abstract**

Over 50% of people with aphasia face ongoing word-finding issues. Studies found phonologically-oriented therapy helpful for English speakers, but not yet studied in French.

This paper evaluates the effectiveness of French Phonological Component Analysis (Fr-PCA) on communication skills of chronic aphasia patients and the impact of individual factors on treatment success.

18 chronic individuals with aphasia received 15 hours of Fr-PCA therapy over 5 weeks. Naming accuracy for treated and untreated words was measured therapy before and after.

Fr-PCA led to improved accuracy for treated and untreated words, with gains maintained at 6 months and generalized to functional communication. Age, apraxia of speech, and initial anomia severity impacted therapy gains.

Though more research is needed, results suggest Fr-PCA benefits French aphasia patients. The use of orthographical cues within Fr-PCA might explain in part the success of this therapy.

**Keywords:** aphasia rehabilitation; French Phonological Component Analysis; anomia therapy; phonological cues

*The authors report there are no competing interests to declare.*



## **1. Introduction**

Aphasia – an acquired language disorder following a brain injury – occurs in every three (~30%) to four (~25%) hospitalized stroke patients (De Cock et al., 2020; Dickey et al., 2010; Gronberg et al., 2022). Aphasia is characterized by a wide range of communication impairments involving both language comprehension and expression, ranging from minor difficulties to a complete loss of linguistic skills, thus leading to significant detrimental effects on quality of life (Lam & Wodchis, 2010). A conservative estimation of the incidence of aphasia in Canada indicates that the number of Canadians living with aphasia exceeds 150,000 (Borsatto et al., 2021; Simmons-Mackie, 2017). These figures support the scientific, clinical and social relevance of research on speech and language therapy efficacy in aphasia.

Amongst the most frequent and pervasive aphasia symptoms, anomia – the difficulty to access or retrieve known words – has been the focus of theoretical (Goodglass & Wingfield, 1997), clinical (Kay & Ellis, 1987; Laine & Martin, 2013) and neurofunctional (Perani et al., 2003) studies. Theoretical models of word production have been developed firstly to understand the complexity of the word-finding and naming process, and furthermore to analyse its breakdown in cases of anomia (Dell et al., 1997; Levelt, 1999). A theoretical construct, common to all oral word-processing models concerns the representation and access to the target meaning, and the corresponding sounds of the target word. Accordingly, speech and language therapies targeting anomia have been developed targeting these two processing stages, and shown to have beneficial effects on the recovery from anomia (Brady et al., 2016).

### **1.1 Phonological Component Analysis – a model-based manualised therapy**

Among anomia therapies, phonological component analysis (PCA) has proven promising. Specifically, PCA was developed to target anomia. This manualised intervention uses several phonologically driven strategies to enforce phonological processing, with the purpose of facilitating word retrieval (Leonard et al., 2008). PCA was developed as the phonological equivalent of Semantic Feature Analysis, which aims to improve word retrieval by means of semantically based strategies (SFA; Boyle, 2010; Boyle & Coelho, 1995; Coelho et al., 2000).

Like SFA, PCA is a theoretically driven therapy grounded in the Spreading Activation Theory (Collins & Loftus, 1975) according to which the activation of a memory unit triggers the activation of other related units. The spreading of activation continues until it reaches a threshold level that allows the memory to be retrieved and the information to be brought to conscious awareness. Spreading Activation Theory has influenced word retrieval theoretical accounts, including the Restricted Interaction Account (RIA) of spoken words, proposing that the activation of one unit does not necessarily spread to all other related units, but rather to only a subset of them (Goldrick & Rapp, 2002). According to the RIA, activation of semantic features (upon seeing a picture to be named for example) spreads to the lexeme level, to the syntactic level, and to the phoneme level in such a way that phonologically based processing can influence the selection of the lexeme (Goldrick & Rapp, 2002). Within the PCA protocol, the intention is to enhance phonological activation within the lexical system (Goldrick & Rapp, 2002). Still, naming therapies generally use pictures or drawings of real objects, tapping into the semantic system, and have the person attempt to say the target word, also tapping in the phonological system. Indeed, as stated by Nickels (2002), even when a therapy aims at strengthening a specific component of the naming process, the distinction between phonological and semantic therapies is less clear than was once believed.

The PCA procedure is clearly outlined for the person with aphasia and the task is transparent, although complex. The person living with aphasia is actively involved in producing or choosing phonological cues related to the target; active participation is thought to enhance the effectiveness of therapy and one that is often missing in phonologically based therapies (Hickin et al., 2002). Specifically, the PCA procedure is as follows: the person with aphasia is presented with a picture of the target word and asked to name the picture. Independently of whether the target word is correctly named, the person is next asked to generate five target-related phonological components: the first sound, the last sound, the number of syllables, another word that starts with the same sound, and a word that rhymes with the target. If the person is unable to generate a specific cue, a set of possible answers is presented and the person living with aphasia must choose an answer. The cues are then written on a therapy board, and once all cues have been listed, the clinician will pass through each

of the cues, after which the person is asked to name the target word once more, before moving on to the next item. In the PCA protocol, target words are not written down, while therapy cues are always written on the therapy board.

Previous studies link PCA with improvements on picture-naming for treated-items (hereinafter referred to as acquisition <sup>4</sup>), with some level of maintenance and within-level generalization (Bose, 2013; Bose et al., 2019; Haentjens & Auclair-Ouellet, 2020; Hashimoto, 2014; Kristensson & Saldert, 2018; Leonard et al., 2008; Marcotte et al., 2018; Neumann, 2018; Rochon et al., 2010; Sadeghi et al., 2017; Simic, Bitan, et al., 2019; Simic et al., 2020; Simic et al., 2021; Simic, Rochon, et al., 2019; van Hees et al., 2013). In these studies, PCA was applied in a variety of aphasia profiles, and at different levels of severity. Most studies were conducted in English, except for Sadeghi et al. (2017) who studied PCA in four Persian speaking participants, and Kristinsson et al. (2021) who studied PCA with two Swedish-speaking participants. Please refer to Table 1 for a summary of the results of previous studies.

---

<sup>4</sup> Please see Webster, J., Whitworth, A., & Morris, J. (2015) for a complete discussion on acquisition, within- and across-level generalization.

**Tableau 1***Summary of published papers studying the effectiveness of PCA*

Title	Year	Authors	N of participants receiving PCA	Design type	Therapy schedule	Acquisition	Generalization	Maintenance
1 Treating naming impairments in aphasia: Findings from a phonological components analysis treatment	2008	C. Leonard, E. Rochon & L. Laird	10	Cas uniques multiples	3 séance d'1 heure par semaine, total X sessions	6/10 (+1 on 2 of 3 lists)	3/7 (measured with the PNT)	6/7
2 Neural changes after phonological treatment for anomia: An fMRI study	2010	E. Rochon, C. Leonard, H. Burianova, L. Laird, P. Soros, S. Graham & C. Grady	2*	Cas uniques multiples	3 séance d'1 heure par semaine, total X sessions	2/2	2/2	2/2
3 The use of semantic- and phonological-based feature approaches to treat naming deficits in aphasia	2012	N. Hashimoto	2	Cas uniques multiples; interventions alternées	2 1-hour sessions per day (1 SFA, 1 PCA) 2 days per week, total 29 (KJ) and 51(FP) sessions	2/2	2/2 (measured with PALPA Spoken Naming, WAB AQ) 1/2 (measured with BNT)	2/2
4 Phonological therapy in jargon aphasia: Effects on naming and neologisms	2013	A. Bose	1	SS	3 séance d'1 heure par semaine, total 32 sessions	1/1	0/1 (measured with the PNT)	1/1 (slight decrease but not return to baseline)
5 A comparison of semantic feature analysis and phonological components analysis for the treatment of naming impairments in aphasia	2013	S. van Hees, A. Angwin, K. McMahon & D. Copland	8	Cas uniques multiples; interventions alternées	3 séance d'1 heure par semaine, total 12 sessions (half SFA, half PCA)	7/8 on PCA-trained items 4/8 on SFA trained items	1/8 (measured with the BNT)	6/7 on PCA-trained items 3/4 on SFA trained items
6 Comparative Effectiveness of Semantic Feature Analysis (SFA) and Phonological Components Analysis (PCA) for Anomia Treatment in Persian Speaking Patients With Aphasia	2017	Z. Sadeghi, N. Baharloe, A. Moddarras Zadeh & L. Ghasisin	4	ABCB Cas uniques multiples; cross-over	7 45-minute sessions over two weeks per phase	4/4 following PCA 4/4 following SFA	3/4 following PCA 4/4 following SFA	N.R.
7 Therapy-induced neuroplasticity in chronic aphasia after phonological component analysis: A matter of intensity	2018	K. Marcotte, L Laird, T. Bitan, J. A. Meltzer, S. J. Graham, C. Leonard, & E. Rochon	2	Case reports	<b>Intensive</b> (10 x 3-hour sessions over 2.5 weeks) <b>VS Standard</b> (3 séance d'1 heure par semaine for 10 weeks)	1/2 (both improved, but only 1 reach statistically significant change)	0/2 (measured with personalized untrained items)	N.R.
8 Naming of objects and actions after treatment with phonological components analysis in aphasia †	2018	J. Kristensson & C. Saldert	2	Case reports	5 séance d'1 heure par semaine; total 17 sessions (P1) & 20 sessions (P2)	P1 2 of 3 sets P2 1 of 3 sets	0/2 (measured with personalized untrained items) 1/2 (measured by %CUI) 1/2 (measured by functional communication questionnaire)	2/2 (slight decrease but not return to baseline)
9 A case series comparison of semantically focused vs. phonologically focused cued naming treatment in aphasia	2018	Y. Neumann	4	Cas uniques multiples; cross-over	2-3 2-hour sessions per week for 10-12 sessions	4/4 following PCA (4 weak)	4/4 following PCA (3 weak, 1 moderate)	3/4 following PCA (2 moderate, 1 weak)

10	Deciphering the mechanisms of phonological therapy in jargon aphasia	2019	A. Bose, F. Höbner & D. Saddy	3**	SS	3 1-hour sessions week for 10 weeks (10 sessions / list)	3/4 following SFA (2 moderate, 1 weak) 1/1 2 of 3 sets	3/4 following SFA (2 moderate, 1 weak) 0/1 (measured with personalized untrained items)	2/4 following SFA (2 strong) 0/1
11	The role of executive control in post-stroke aphasia treatment	2019	T. Simic, T. Bitan, G. Turner & C. Chambers	10	Group study	2 sessions per day, 3 days per week for 5 weeks	N.R. see study 9	N.R. see study 9	N.R. see study 9
12	Mechanisms underlying anomia treatment outcomes	2020	T. Simic, C. Chambers, T. Bitan, S. Stewart, D. Goldberg, L. Laird, C. Leonard & E. Rochon	10***	Cas uniques multiples + group study	2 sessions per day, 3 days per week for 5 weeks	8/10	Group improved measured with PNT	5/10 at 4-weeks 6/10 at eight-weeks
13	The effects of intensity on a phonological treatment for anomia in post-stroke aphasia	2021	T. Simic, C. Leonard, L. Laird, S. Stewart & E. Rochon	16****	Group study	<b>Intensive</b> (10 x 3-hour sessions over 2.5 weeks) <b>VS Standard</b> (3 séance d'1 heure par semaine for 10 weeks)	Group improved	Group improved	Group maintained
14	Naming gains and within-intervention progression following semantic feature analysis (SFA) and phonological components analysis (PCA) in adults with chronic post-stroke aphasia	2020	K. Haentjens & N. Auclair-Ouellet	4	Cas uniques multiples; interventions alternées	2 séance d'1 heure par semaine for 6 weeks (1h of PCA and 1h of SFA)	2/4 on PCA-trained items 2/4 on SFA-trained items	0/4	1/4

*Note.* † Study conducted in Swedish; \*2 participants reported in Leonard et al. (2008); \*\* 1 participant previously reported in Leonard et al. (2008) and 1 participant previously reported in Bose (2013); \*\*\* same sample as in (Simic, Bitan, et al., 2019; Simic et al., 2020); \*\*\*\* 2 participants previously reported in (Marcotte et al., 2018), and 2 participants previously reported in Marcotte et al. (2018).

SS: single subject, N.R.: Not reported, SFA: Semantic feature analysis; PCA: Phonological component analysis; PNT: Philadelphia Naming Test; BNT: Boston Naming Test

## 1.2 French particularities within a phonologically based therapy

This study focuses on the efficacy of a French version of PCA, specifically Laurentian French<sup>5</sup>. The relevance of the present study relies upon the differences between French and English at several levels, including word structure, pronunciation, morphology, and orthography, all of which argue for the pertinence of testing the efficacy of a French version of the PCA. Moreover, there is a considerable number of French speakers in Canada. There are over 7 million Canadians (Statistic Canada, 2022) across several Canadian provinces, including Québec, Ontario, Manitoba, Saskatchewan, and Alberta (Côté, 2012).

Looking at the two languages, French has different word structures compared to English, more words that contain multiple syllables, a different stress pattern, and sounds that are either held longer or deleted depending on the context (Adda-Decker et al., 2005; Côté, 2012). Furthermore, morphology has a strong influence on the phonological makeup of the lexicon in French, as prefixes and suffixes are very productive means to finding and producing new words. There are over 170 affixes in French in comparison to less than 50 in English (Duncan et al., 2009), contributing to increased word length (Lindsay & Aronoff, 2013). Finally, French proves to be an inconsistent language when mapping phonology onto spelling. Only approximately 20% of its words are spelled as they sound (Ziegler et al., 1996), compared to 25% in English (Stone et al., 1997) – a same sound can be spelled up to eight different ways, and there are countless silent letters, both at the beginning of words and at the end of words (Jaffré & Fayol, 2013; Véronis, 1986; Ziegler et al., 1996). See the Appendix 1 for examples of inconsistencies in French. Within the PCA protocol, these linguistic characteristics have several impacts. The increased number of syllables and the variation of the phonology could affect the effectiveness of the phonological strategies. Furthermore, upon searching words starting with the same sound as the target and words rhyming with the target, the actual phonological weight of these strategies could be reduced due to the importance of morphology in French. Finally, the orthographical inconsistencies could influence therapy effectiveness when writing the phonological cues on the therapy board – thus converting these cues to their

---

<sup>5</sup> Laurentian French is also known as Canadian French, but to differentiate it from Acadian French, the terminology Laurentian is more suitable.

orthographical equivalent. Especially considering that the inconsistencies in French tend to be on the final sound of a word compared to English where the inconsistency tends to concern the middle vowel (Borleffs et al., 2017). Indeed, a certain mental flexibility is required from the person living with aphasia as they must focus on the spoken form of the word (phonology) to remain in the PCA protocol mindset. It is thus necessary to study the PCA protocol in French, to confirm that persons living with aphasia can benefit from the phonologically oriented cues.

### **1.3 Individual factors and therapy-response variability**

The aphasiology literature, reports considerable variability in individual responses to the same therapy protocol (Brady et al., 2016; Charidimou et al., 2014; Tippett & Hillis, 2017). One of the possible reasons for such variability is that research on aphasia therapy efficacy is largely composed of single-subject, and small group design studies, a factor that prevents generalization of therapy effects within or across specific populations. Also, it is difficult to pool data from different studies, because parameters of interest (e.g., intensity, number and frequency of cues, presentation modality, etc.) frequently vary between studies.

It is also important to note that individual factors potentially influencing recovery (such as, but not limited to, age, sex, handedness, education, time post-onset (TPO), aphasia type, aphasia severity, anomia severity, presence and severity of apraxia) are often not considered in the statistical analyses. Although these intrinsic factors have been identified as potential predictors of recovery (Kiran & Thompson, 2019; Kristinsson, 2021), there is limited agreement across studies as to which factors are the most important predictors (Lazar & Antonello, 2008). In a recent meta-analysis, authors looked at patterns of interaction between language outcomes and extrinsic factors such as speech language therapy (SLT) frequency, intensity, and dosage, and contrasting among sub-groups according to personal factors such as age, sex, aphasia chronicity and severity sub-groups. They found that there were some differences in how these factors affected language outcomes between different groups of people, namely age, sex, severity of aphasia (Release Collaborators et al., 2022). It remains a challenge in modern day aphasia rehabilitation to select the most effective therapy for a given individual.

## 1.4 Purpose of the study

The aim of this study is to investigate the efficacy of Fr-PCA, a novel French version of the established anglophone PCA therapy protocol designed to improve naming. The acquisition following Fr-PCA will be measure on trained items, the generalisation of therapy effects will be measure on untrained items. The maintenance of gains will be measured over time at 3- and 6-months post-intervention. Furthermore, the efficacy of Fr-PCA on clinical measures such as standardised tests, and a communication effectiveness scale filled by a caregiver will be as well examined. More specifically, we aim at examining Fr-PCA effects at the group level on the aforementioned measures. Finally, the potential influence of individual factors such as age, gender, years of education, TPO, initial anomia severity and apraxia severity on language and communication recovery following Fr-PCA will also be considered.

In line with previous literature (Bose, 2013; Bose et al., 2019; Haentjens & Auclair-Ouellet, 2020; Hashimoto, 2014; Kristensson & Saldert, 2018; Leonard et al., 2008; Marcotte et al., 2018; Neumann, 2018; Rochon et al., 2010; Sadeghi et al., 2017; Simic, Bitan, et al., 2019; Simic et al., 2020; Simic et al., 2021; van Hees et al., 2013), it is expected that following Fr-PCA, participants will show improvement on treated items. Furthermore, it is expected that some degree of maintenance of gains will be observed at the follow-up time points of 3 and 6 months. All the while, some degree of generalisation of Fr-PCA effects will be observed both within-level (i.e. on a same task, but with different stimuli; on the list of untreated items and standardised naming task), and across-levels (i.e. on tasks other than naming, such as verbal fluency, repetition, and functional communication)<sup>6</sup>. Finally, no influence of the individual factors of age, gender, education and TPO on the efficacy of Fr-PCA is expected. However, a significant influence of the initial anomia severity and the severity of apraxia of speech on the recovery is expected.

## 2. Materials and Methods

The study was approved by the *Comité mixte d'éthique de la recherche du Regroupement Neuroimagerie/Québec* (ethic approval CMER-RNQ 15-16-02). This

---

<sup>6</sup> Please see Webster, J., Whitworth, A., & Morris, J. (2015) for a complete discussion on within- and across-level generalization



study is a phase II prospective, pre-post group design with follow-up measures at 3- and 6-month post-therapy (Robey, 2004). The first author (M.M.-T.) collected the data and administered therapy. This study follows a well-established methodology in our research lab (Durand et al., 2018; Durand et al., 2021; Marcotte et al., 2012; Marcotte & Ansaldo, 2010; Marcotte et al., 2013; Masson-Trottier et al., 2022; Masson-Trottier et al., 2021). Communication skills were examined through a comprehensive battery of language tests. Participants completed a baseline assessment before therapy (T0), followed by five weeks of Fr-PCA therapy given by a trained speech-language pathologist (SLP; M.M.-T.). A second language assessment (T1) was performed within a week of the end of therapy. Furthermore, follow-up assessments were performed at three (T2) and six (T3) months post-therapy.

## **2.1 Participants**

Eighteen persons living with aphasia following stroke (13 M: 5 F) participated in this study. Participants were francophones recruited in Quebec through local patient associations (N=10), by referral following discharge from rehabilitation centres in the area (N=3) and by self-referral following a public promotional video (N=5). Recruitment spanned a period of three years. An experienced SLP (M.M.-T.) determined aphasia severity and typology. Demographic data are presented in Table 2. Inclusion criteria were (1) a single left hemisphere ischaemic stroke, (2) a diagnosis of aphasia according to the Montreal–Toulouse aphasia battery (Béland & Lecours, 1990), (3) the presence of anomia according to a standardised naming task (Test de Dénomination de Québec 60 images; TDQ-60; Macoir et al., 2017), or complaint of anomia in everyday life, and (4) being right-handed before the stroke (Oldfield, 1971). Exclusion criteria were (1) the presence of a neurological or psychiatric diagnosis other than stroke or (2) a diagnosis of mild cognitive impairment or dementia before stroke (Nasreddine et al., 2005).

A total of 36 potential participants were initially identified. Of these, three (3) participants were excluded for having two or more strokes, five (5) were excluded for having mild anomia both in connected speech and on standardised tests, four (4) were excluded for having severe apraxia preventing voluntary oral productions, two (2) were excluded for having primary progressive aphasia, two (2) stopped returning calls, one

(1) lived overseas and one (1) was recruited in March 2020, just before the shutdown caused by the COVID-19 pandemic, and was not comfortable receiving tele-rehabilitation.

All included participants (N=18) completed the pre-post therapy protocol. Due to the COVID-19 pandemic restrictions, only 12 participants completed the 3-month follow-up assessment, and 9 completed the 6-month follow-up assessment. One (1) participant died before the follow-up 1 assessment due to a second massive stroke. All other dropouts are due to the COVID-19 pandemic shut down; no participant withdrew from the research project. The last 2 participants were included in the study following the COVID-19 outbreak; these participants were treated virtually. All study procedures were maintained as closely as possible, and all primary outcome measures were administered according to protocol. Due to assessment reliability guidelines and participants' needs in terms of technological assistance, a less extensive baseline assessment protocol was used.

**Tableau 2**

*Sociodemographic and clinical information for the 18 participants included in the study*

<b>Participant</b>	<b>Age</b>	<b>Sex</b>	<b>Years of Education</b>	<b>Time post-onset (months)</b>	<b>Aphasia type</b>	<b>Aphasia severity (BDAE scale)</b>	<b>Apraxia severity (ABA-2 scale)</b>
PA02	58	M	12	57	Broca	2	3
PA05*†	73	M	8	36	Transcortical motor	4	1
PA08*	82	M	15	24	Transcortical mixed	2	0
PA11*†	48	M	15	22	Transcortical motor	3	1
PA12*†	70	F	15	41	Global	1	3
PA13	75	M	15	284	Conduction	4	1
PA15*†	60	M	12	172	Anomic	4	0
PA16	69	M	12	268	Transcortical mixed	2	3
PA17*†	72	F	12	47	Broca	2	1
PA19*†	65	M	15	57	Anomic	2	0
PA20	73	M	20	74	Anomic	4	0
PA22*†	63	F	18	11	Broca	2	2
PA25*	79	M	20	12	Global	1	2

PA26	48	F	15	12	Transcortical mixed	3	0
PA27*†	77	M	17	11	Anomic	3	1
PA28	70	M	13	56	Anomic	4	2
PA29	46	F	15	38	Anomic	4	1
PA30	82	M	15	34	Transcortical mixed	3	2
Average	67.22		14.67	69.78			
St. dev.	11.35		2.97	83.63			

BDAE: Boston Diagnostic Aphasia Examination, ABA-2: Apraxia Battery for Adults – second edition, St. dev: Standard deviation; Aphasia severity: 1 indicates severe aphasia, 5 indicates very slight impairment; Apraxia: 0 indicates no apraxia, 3 indicates severe apraxia  
\* Participants were included in Masson-Trottier et al. (2021);  
† Participants were included in Masson-Trottier et al. (2022)

## 2.2 Therapy Protocol: Fr-PCA

Therapy was adapted and delivered in French (Masson-Trottier et al., 2022; Masson-Trottier et al., 2021) following the protocol developed by Leonard et al. (2008). PCA therapy incorporates cues based on the phonological components of target words. Previous work validated a stimuli bank of 270 items from the Bank of Standardized Stimuli (BOSS; Brodeur et al., 2011) among healthy elderly francophones for elicited naming and phonological cues the SLP could provide during therapy (Masson-Trottier et al., 2016). The stimuli bank included various categories such as fruits, vegetables, clothes, animals, body parts, furniture, and other objects.

Specifically, the phonological components included in the therapy protocol are the first sound of the target (Question: “What sound does it start with?”), the final sound (“What sound does it end with?”), the number of syllables (“How many beats does the word have?”), providing a first sound associate (“What other word starts with the same sound?”) and a rhyme to the target (“What does this rhyme with?”). The participant living with aphasia was asked to generate each cue regardless of whether or not they initially were able to name the target word; if this was not possible, they were asked to choose between three validated options to promote active participation (Hickin et al., 2002).

Participants received Phonological Component Analysis in French (Fr-PCA) on the items from a therapy list or List 1 (described below), for a total of 15 one-hour sessions, with

a frequency of three sessions per week for a total of five weeks starting immediately after the assessment. All items on the therapy list were repeated 1 to 4 times each session, according to the participant's pace and tolerance. Fr-PCA was presented on a laptop, and coded into a python program. This allowed automatic randomisation of items from session to session, and online scoring by the SLP for correct answers, phonological components generated autonomously by the participant living with aphasia and response time. The examiner controlled the laptop presentation – writing the cues on the screen, moving on to the next stimuli and giving appropriate feedback during the therapy such as cue choices, and encouragements.

### **2.3 Baseline and Outcome Assessments: Communication Skills in Chronic Aphasia Participants**

Participants completed a comprehensive battery of language tests at all assessment times, including the *Test de denomination de Québec – 60 images* (TDQ60; Macoir et al., 2017) for picture-naming, the *Test de dénomination de verbes lexicaux en images – 38* (DVL38; Webster et al., 2015) for verb naming, oral comprehension, repetition, and verbal fluency tests with semantic criteria sub-tasks from the Beta-86 Montreal-Toulouse aphasia battery (Nespoulous et al., 1986). Also, a frequent communication partner completed the Communication Effectiveness Index (CETI; Lomas et al., 1989) at each assessment time. Individual pre-therapy standardised scores on selected language and cognitive assessment tests are presented in Table 3.

The examiner administered the tests and divided them into three balanced 2.5-hour assessment sessions. Picture-naming abilities at baseline were measured. The task consisted of the 270 items from the Fr-PCA stimuli bank and was repeated for all three assessment sessions. The baseline picture-naming task served to generate two independent lists balanced for frequency (freqlemfilms2 from the Lexique 3.83 database), number of phonemes (nbphons from the Lexique 3.83 database), and number of syllables (nbsyll from the Lexique 3.83 database) (New & Pallier, 2004). List 1 was composed of 20 items chosen with the participant living with aphasia to be treated in therapy, and list 2 was composed of 40 items not treated in therapy (i.e., to measure generalisation). Items that served as candidates for selection for lists 1 and 2

were those that were named incorrectly, or with a response time greater than 10 seconds, on at least 2 of the 3 baselines.

**Tableau 3**

*Individual pre-therapy scores on selected language and cognitive assessment tests*

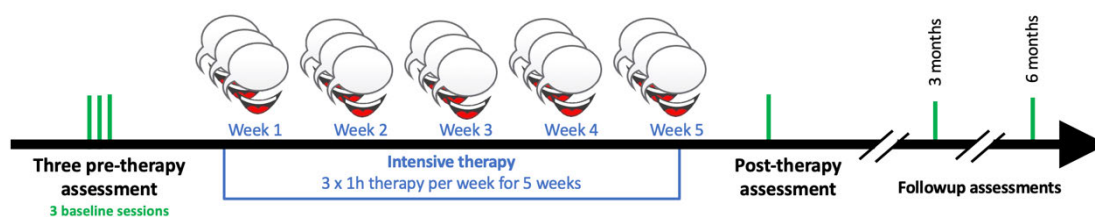
Participant	Baseline naming	MoCA	TDQ60	DVL38	Oral Comp.	Repetition	Verbal Fluency
PA02	0.420	13	-14.552	NA.	-8.515	-9.802	-3.982
PA05	0.386	16	-11.934	0.367	-4.601	1.154	-3.834
PA08	0.237	NA.	-19.095	-5.792	-5.297	1.233	-3.681
PA11	0.627	21	-12.488	-0.043	-4.541	0.697	-4.517
PA12	0.313	NA.	-25.851	-5.679	-9.863	-27.893	-4.231
PA13	0.927	26	-2.428	-0.695	-3.470	-10.417	-2.213
PA15	0.983	28	1.032	0.046	-3.564	1.009	-0.434
PA16	0.443	7	-8.982	-5.792	-11.485	-26.018	-3.015
PA17	0.163	20	-14.148	-8.338	-10.776	-2.650	-3.864
PA19	0.887	23	-0.626	-1.066	-3.564	1.009	-2.208
PA20	0.890	NA.	-0.626	-0.324	-3.470	1.233	-2.396
PA22	0.959	26	-0.626	0.209	-5.050	-0.793	-1.724
PA25	0.117	NA.	-22.248	-6.627	-9.863	-27.893	-2.947
PA26	0.735	22	-12.488	-32.873	-12.649	-0.818	-1.920
PA27	0.669	20	-10.086	-0.695	-3.927	1.233	-2.213
PA28	0.869	22	-1.527	-0.046	-3.014	0.262	-2.029
PA29	0.865	24	-0.626	0.336	-4.000	0.697	1.110
PA30	0.672	NA.	-6.032	-4.310	-10.776	-16.243	-2.396

MoCA : Montreal Cognitive Assessment (Nasreddine et al., 2005); TDQ60 : Test de dénomination de Québec 60 images (Macoir et al., 2017); DVL38 : Dénomination de verbes lexicaux en images (Hammelrath, 2005); Oral Comp. = Oral comprehension task from the MT86 battery (Nespoulous et al., 1986), NA. = not available. Repetition task from the MT86 battery (Nespoulous et al., 1986), Verbal Fluency task from the MT86 battery (Nespoulous et al., 1986). Baseline naming score is the average accuracy rate of the three picture-naming baseline task scores. MoCA, TDQ60, DVL38, Oral Comp., Repetition and Verbal Fluency tasks were scored according to the administration manual.

All three baseline assessments were completed on non-consecutive days and over a maximum period of 10 days (average  $8.12 \pm 2.57$  days). Figure 1 illustrates the study procedure. Participants demonstrated stable performance over the assessments on the picture-naming task as demonstrated by a repeated measure one factor ANOVA test ( $F(1.398, 23.758) = 1.194, p = 0.305$ ). This verification is made to ensure that changes are due to therapy (Gierut et al., 2015).

**Figure 1**

*Protocol procedure*



**2.3.1 Main outcome measure**

In this study, to answer the research questions, the main outcome measure was accuracy rates on list 1 to measure acquisition (improvement on treated items) and list 2 to measure within-level generalisation (improvement on untreated items) following Fr-PCA. To be scored as a correct answer, participants had to name the picture correctly within 10 seconds (Evans et al., 2020). The first answer was the answer that was scored. Self-corrections were scored as correct, paraphasias of all types were scored as incorrect, as were naming attempts after the ten second time period.

**2.3.2 Secondary outcome measures**

Secondary outcomes measures were the scores on standardised tests measuring within-level generalisation (TDQ60, DVL38) and across-level generalisation (Oral comprehension task, Repetition task, Verbal fluency task, and CETI scale). All tests were scored as per the manual.

**2.4 Data collection and analysis**

For lists 1 and 2 (respectively treated and untreated items), naming scores were converted to accuracy rates (accuracy rate =  $\frac{\text{correct items}}{\text{total items}}$ ). Because no minimal clinically important difference in naming accuracy has been established for English-speaking persons living with aphasia, much less for French-speaking persons living with aphasia, improvements above 15% will be considered clinically significant, between 5% and 14% will be considered some improvement, between -5% and 4 % will be considered no change and a decrease of more that 5% will be considered a clinically significant decrease. For standardised tests, scores were converted to standardised scores according to manual instructions. Further, we generated

improvement scores at each time of assessment compared to pre-therapy performance for all repeated measures ( $improvement_{post} = score_{post} - score_{pre}$ ;  $improvement_{FU3} = score_{FU3} - score_{pre}$ ; etc.).

Data were analysed using R (v4.2.1(2022-06-23); R Core Team, 2022). Significance threshold for reported results was set at  $p < 0.05$ .

#### **2.4.1 Primary Analysis**

First, we used a generalised linear mixed-effect model (GLMM run with lme4 package; Bates et al., 2014) to verify improvement for naming accuracy on treated and untreated items at all assessment times. Accuracy served as the dependent variable (binomial link function), with the model's output being the log chances of producing a correct response. The model included random intercepts for participants and items within each participant, and it was fitted with an unstructured covariance structure. The residuals of each effect variable were visually inspected for normal distribution using histograms and normality plots. For the main analyses, the model contained the fixed effects of condition (treated and untreated) and time (pre-, post, 3-months FU and 6-month FU). Pre-treatment assessment served as the reference category. Following the GLMM, six post-hoc pairwise contrasts were performed, namely accuracy rate at the different assessment times, and for each condition compared to the pre-therapy accuracy rate in the same condition.

The potential impact of individual factors such as sex, age, years of education, TPO, severity of apraxia of speech, and pre-therapy naming impairment on therapy-induced improvement was also examined. The model was repeated still using the glmer function within the lme4 package (Bates et al., 2014), adding individually the variables specified above as additional fixed effects. Each adjusted model was then compared to the initial model using an ANOVA test. Models with additional fixed effects to test for best fit of therapy-improvement, and likelihood ratio tests comparing model fits are detailed in the results section.

#### **2.4.2 Secondary Analysis**

As a secondary analysis, a linear mixed model (LMM run with lmerTest package; Kuznetsova et al., 2017) was used to verify improvement on the standardised tests

performed at all assessment times (TDQ60, DVL38, Oral comprehension, Repetition, Verbal fluency) and on the CETI scale. The model included random intercepts for participants, and was fitted with an unstructured covariance structure. The residuals of each effect variable were visually inspected for normal distribution using histograms and normality plots. The model contained the fixed effect of time (pre-, post, 3-months FU, and 6-month FU).

### 3. Results

Table 4 reports the distribution of participants according to the variation of accuracy rate on lists 1 and 2 (treated and untreated items). Immediately after the 15 sessions of Fr-PCA, the naming accuracy of all participants improved when attempting to name treated items, with a majority showing a clinically significant improvement (83% improved by at least 15%). At the 6-month follow-up period, 50% of the sample demonstrated at least 15% improvement compared to pre-therapy accuracy and an additional 40% of participants maintained some degree of improvement (between 6% and 15%).

Looking at within-level generalisation as measured by accuracy on untreated items, immediately following therapy, 67% show improved accuracy on List 2 when compared to pre-therapy naming accuracy. At the 6-month follow-up assessment, 70% of participants still showed at least some improvement on untreated items. Table A1 in Appendix 2 documents individual accuracy scores and response times at each time point.

#### Tableau 4

*Distribution of participants according to score variation on treated items and untreated items at each assessment point. Both absolute number and percentage of the group are shown.*

	Treated items			Untreated items		
	Post	FU 3 months	FU 6 months	Post	FU 3 months	FU 6 months
Decrease	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	5 (42%)	2 (20%)
No change	0 (0%)	1 (8%)	1 (10%)	6 (33%)	2 (17%)	1 (10%)
Slight improvement	3 (17%)	4 (33%)	4 (40%)	3 (17%)	4 (33%)	4 (40%)
Improvement	15 (83%)	7 (58%)	5 (50%)	9 (50%)	1 (8%)	3 (30%)



Any score variation below -5% is considered a decrease, a score variation between -5% and 5% is considered no change, a score variation between 6% and 15% is considered slight improvement and a score variation greater than 15% is considered improvement

Table 5 documents the distribution of participants according to the variation of scores on standardised tests. In terms of within-level generalisation, following 5 weeks of receiving Fr-PCA, 61% of participants improved at least 1 SD on the TDQ60 object naming test, and 39% maintained this improvement at the 6-month follow-up assessment. On the verb naming test, 47% of participants improved on the DVL38 immediately post- therapy; 27% maintained this improvement at 6-months post-therapy. In terms of across-level generalisation, Fr-PCA did not induce change on the oral comprehension task, 61% of participants post-therapy and 75% at 6-month follow-up were within 1 SD of their pre-therapy score. With respect to the repetition task, Fr-PCA resulted in improvements in 6 out of the 7 participants that were not within 1 standard deviation from the norm (considered clinical normal limits). Table A2 in Appendix 2 documents individual standardized scores at each time point for the standardized tests and the CETI scale.

**Tableau 5**

*Distribution of participants according to score variation on standardised tests at each assessment point. Both absolute number and percentage of the group are shown.*

	TDQ60			DVL38			Oral Comp			Repetition		
	Post	FU 3 months	FU 6 months	Post	FU 3 months	FU 6 months	Post	FU 3 months	FU 6 months	Post	FU 3 months	FU 6 months
Decrease	1 (6%)	1 (8%)	4 (31%)	1 (6%)	1 (9%)	0 (0%)	3 (17%)	2 (17%)	1 (8%)	1 (6%)	0 (0%)	0 (0%)
No change	6 (33%)	5 (42%)	4 (31%)	8 (47%)	6 (55%)	8 (73%)	11 (61%)	6 (50%)	9 (75%)	11 (61%)	6 (50%)	7 (58%)
Slight improvement	3 (17%)	0 (0%)	1 (8%)	2 (12%)	2 (18%)	1 (9%)	2 (11%)	2 (17%)	1 (8%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Improvement	8 (44%)	6 (50%)	4 (31%)	6 (35%)	2 (18%)	2 (18%)	2 (11%)	2 (17%)	1 (8%)	6 (33%)	6 (50%)	5 (42%)

Any score variation below -1 SD is considered a decrease, a score variation between -1 SD and 1 SD is considered no change, a score variation between 1 SD and 1.5 SD is considered slight improvement and a score variation greater than 1.5 SD is considered improvement

### 3.1 Efficacy, within-level generalisation, and maintenance of Fr-PCA effects overtime

The primary analysis for this paper examined the change in accuracy rate following 5 weeks of Fr-PCA using a GLMM. There was significant improvement between all assessment times when compared to pre-therapy accuracy. The fixed effects'

interaction significantly improved the model fit over the null model (vs. random effects only; LogLik = -1653.3,  $\chi^2(7) = 357.18$ ,  $p < 0.0001$ ). No transformations to the data were performed. The model met GLMM assumptions of linearity, homogeneity of variance and normality of residuals. Table 6 reports the results of the analysis and Figure 2 provides a visual representation of the model. Table 7 reports the post-hoc analyses done for each condition separately.

**Tableau 6**

*Results from the GLMM analysis of treatment effects.*

	coefficient	std. error	z	p>  z	95% CI	
<b>assessment time</b>						
Post	1.4287	0.1523	9.3830	0.0000	1.1336	1.7310
FU1	0.6101	0.1750	3.4870	0.0005	0.2681	0.9545
FU2	0.7036	0.1794	3.9230	0.0001	0.3530	1.0566
Condition	-1.3451	0.2202	-6.1100	0.0000	-1.7845	-0.9202
<b>assessment time * condition</b>						
Post	2.1016	0.2785	7.5460	0.0000	1.5626	2.6554
FU1	1.5851	0.3094	5.1220	0.0000	0.9833	2.1975
FU2	1.6134	0.3150	5.1220	0.0000	1.0008	2.2366
Intercept	-1.2698	0.4260	-2.9810	0.0029	-2.1535	-0.3974
Variance among participants	3.0060	1.7340			1.2721	2.5259
Variance among items within participants	1.0480	1.0240			0.8494	1.2045

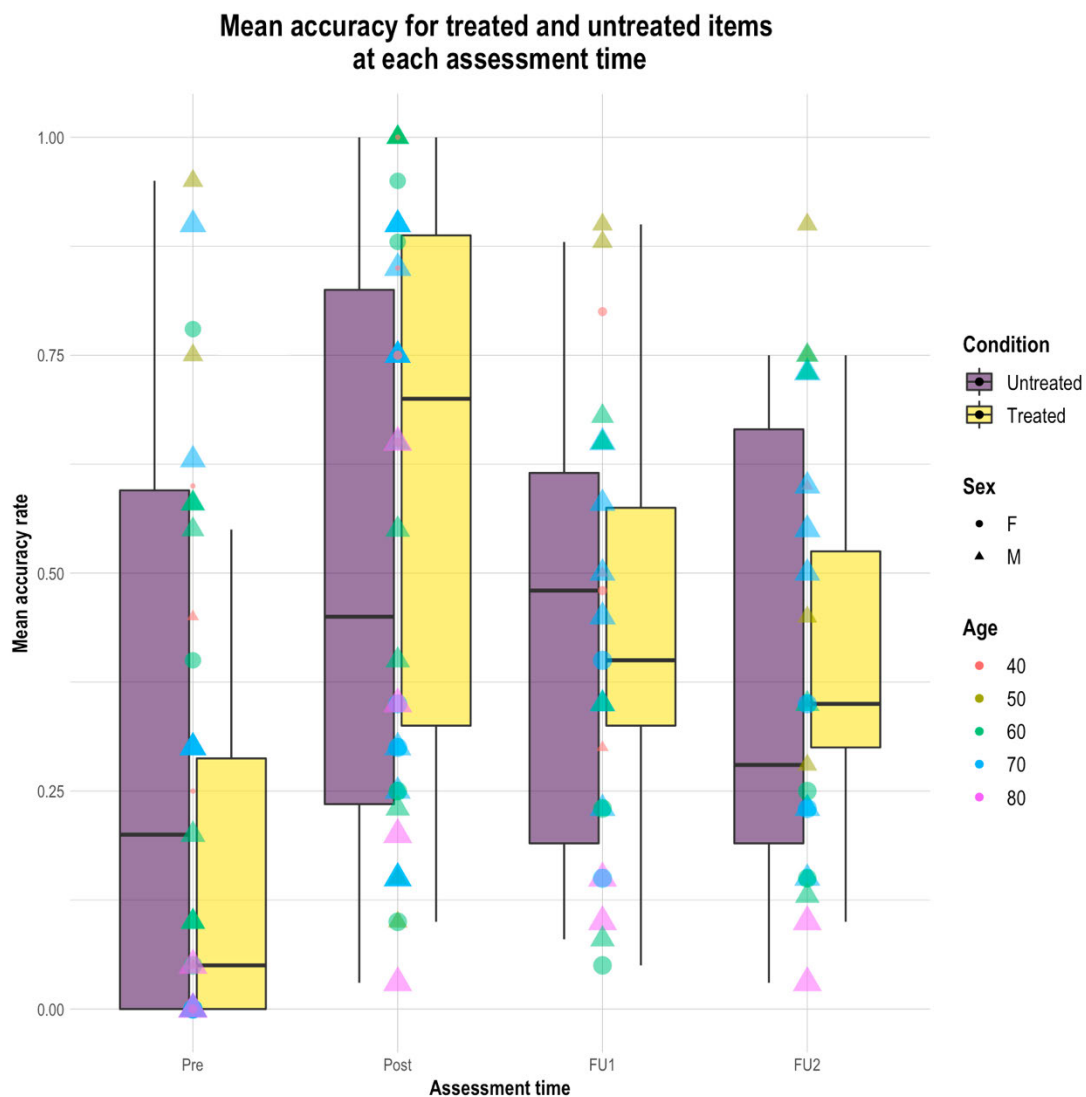
Log likelihood= -1653.3, Wald  $\chi^2(7) = 357.18$ ,  $p < 0.0001$ .

Notes: Number of observations= 3480; Trial, 60; Participant, 18. p-values for fixed effects calculated using Laplace Approximation. Reference categories are pre-treatment assessment (time), and untreated words (condition).

Model equation: Performance ~ Condition \* time + (1 | Participant) + (1 | Trial:Participant)

**Figure 2**

Mean accuracy for treated and untreated items at each assessment time.



**Tableau 7**

Post-hoc analysis for mixed model interaction

Condition	Comparison	Mean Difference	Std. Error	z ratio	Sig. adjusted	95% Confidence Interval for Difference	
						Lower Bound	Upper Bound
Treated items	Post - Pre	3.530	0.250	14.104	0.0001	2.870	4.19
	FU 3-m - Pre	2.195	0.266	8.253	0.0001	1.493	2.90
	FU 6-m - Pre	2.317	0.271	8.541	0.0001	1.601	3.03
Untreated items	Post - Pre	1.429	0.152	9.383	0.0001	1.027	1.83
	FU 3-m - Pre	0.610	0.175	3.487	0.0029	0.149	1.07
	FU 6-m - Pre	0.704	0.179	3.923	0.0005	0.230	1.18

Results are given on the log odds ratio (not the response) scale. Df is infinite for all comparisons.  
p-value adjustment: Bonferroni method for 6 tests

### **3.1.1 Individual factors influencing improvement**

To investigate the potential effect of individual factors on therapy-induced improvement, the GLMM model reported above in Table 6 was repeated, adding the following individual biographical factors (age, sex, time post onset (TPO), years of formal education) and aphasia-related factors (pre-therapy anomia severity and severity of apraxia of speech). All *new* models (models in which each factor was individually added as a fixed effect) were compared to the Condition x Time Model, both with an ANOVA analysis and the Akaike information criterion (AIC). The results are reported in Table 8. The factors sex, TPO and education were not significant when added in the GLMM nor did they significantly influence the fitting of the model (vs. Condition x Time Model).

**Tableau 8**

*Model building steps to verify the influence of clinical data on the model robustness.*

Sampling Units		N total obs = 3480 N Subjects = 18; N Trial:Participant= 1080								
Model specification	Model name	Nested / simpler Model	Fixed Effects added	Random Effects		Model fit			LRT Test against nested	
				Subjects	Items	AIC	BIC	LL	df	$\chi^2$
RE only	Null	-	-	intercepts	intercepts	3669.7	3688.2	-1831.8		
FE main effects	Main effects	Null	Condition + Time	intercepts	intercepts	3386.2	3429.3	-1686.1	4	291.52***
FE two-way interaction	Condition x Time	Main effects	Condition * Time	"	"	3326.5	3388.1	-1653.3	3	65.66 ***
FE interaction + clinical 1	Interaction + Age	Condition x Time	Condition * Time + Age	intercepts	intercepts	3323.9	3391.6	-1651.0	1	4.5947 *
FE interaction + clinical 2	Interaction + Sex	Condition x Time	Condition * Time + Sex	"	"	3328.3	3396.0	-1653.2	1	0.1865
FE interaction + clinical 3	Interaction + Education	Condition x Time	Condition * Time + Education	"	"	3328.3	3396.0	-1653.2	1	0.1726
FE interaction + clinical 4	Interaction + TPO	Condition x Time	Condition * Time + TPO	"	"	3327.4	3395.1	-1652.7	1	1.1595
FE interaction + clinical 5	Interaction + Apraxia severity	Condition x Time	Condition * Time + Apraxia	"	"	3328.2	3408.2	-1651.1	3	4.336
FE interaction + clinical 6	Interaction + anomia severity	Condition x Time	Condition * Time + TDQpre			3302.8	3370.5	-1640.4	1	25.701 ***
FE interaction + clinical 7	Interaction + Age + Apraxia + Initial severity	Condition x Time	Condition * Time + Age + Apraxia + Initial severity	intercepts	intercepts	3300.9	3393.3	-1635.5	5	35.57 ***
		Interaction + anomia severity							4	9.8687*
FE interaction + clinical 8	Interaction + Age + Initial severity	Condition x Time	Condition * Time + Age + Initial severity	"	"	3297.2	3371.1	-1636.6	2	33.288***
		Interaction + anomia severity							1	7.587 **
		Interaction + Age + Apraxia + Initial severity							3	2.2817

Notes: Significance codes for the  $\chi^2$  results: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 '' 1.

The factor of age had a significant effect within the Interaction + Age Model ( $\beta = -2.4402$ , std. error = 0.03304,  $z = -2.284$ ,  $p > |z| = 0.0224$ ). Furthermore, adding age as a factor significantly improved the model when compared to the Condition x Time model ( $\chi^2(1) = 4.595$ ,  $p > \chi^2 = 0.0321$ ).

The factor of severity of apraxia (coded as a categorical variable; 0: no apraxia, 1: mild apraxia, 2: moderate apraxia, 3: severe apraxia) was partially significant within the Interaction + apraxia severity Model. Indeed, only the estimate for severe apraxia significantly influenced the model ( $\beta = -0.0755$ , std. error = 1.1337,  $z = -2.1520$ ,  $p > |z| = 0.0313$ ). However, adding the apraxia severity as a fixed effect did not improve the model when compared to the Condition x Time Model ( $\chi^2(3) = 4.336$ ,  $p > \chi^2 = 0.2274$ ).

The factor of pretherapy anomia severity measured by the TDQ60 standardised score also had a significant effect within the Interaction + anomia severity Model ( $\beta = 0.19252$ , std. error = 0.02625,  $z = 7.334$ ,  $p > |z| = 0.00001$ ) and significantly improved the model fitting (vs. the Condition x Time model;  $\chi^2(1) = 25.701$ ,  $p > \chi^2 = 0.00001$ ).

The three factors that significantly improved the model were then put together in another model – the Interaction + Age + Apraxia + Initial severity Model. Although this new model did significantly improve the fitting compared to the Condition x Time Model ( $\chi^2(4) = 9.868$ ,  $p > \chi^2 = 0.0427$ ), the apraxia severity estimate was no longer significant within this complex model. A second complex model in which apraxia severity was removed – the Interaction + Age + Initial severity Model was produced. In this model, all fixed effects significantly influenced the model (see Table A3 in Appendix 2 for the details about this model). This model further improved the Condition x Time Model ( $\chi^2(1) = 7.5972$ ,  $p > \chi^2 = 0.0058$ ) and proved to be the best fit. Second-level analysis

Remaining within the secondary analysis noted above, a *second-level* analysis was also performed for all the standardized tests using a linear mixed model approach. For the TDQ60 scores, we found a significant effect of time ( $F(3, 38.275) = 4.017$ ,  $p = 0.014$ ,  $\eta^2 = 0.24$ ). Post-hoc analyses revealed a significant difference between pre-therapy and post-therapy scores ( $\text{post}_{\text{TDQ}} > \text{pre}_{\text{TDQ}}$ :  $\beta = 2.871$ , std. error = 0.918,  $df=38$ ,  $t$  ratio = 3.127,  $p = 0.0203$ ). No other

comparisons with respect to this test were significantly different. Concerning the DVL38 scores, a significant effect of time was also found ( $F(3, 34.945) = 3.516, p = 0.025, \eta^2 = 0.23$ ). Post-hoc analyses revealed a significant difference between pre-therapy and post-therapy ( $\text{post}_{\text{DVL}} > \text{pre}_{\text{DVL}}$ :  $\beta = 1.055, \text{std. error} = 0.326, \text{df}=35, t \text{ ratio} = 3.239, p = 0.0158$ ). For the oral comprehension task, the repetition task, and the verbal fluency task, there were no significant effects of time in the model. For the CETI scale, once again we found a significant effect of time ( $F(3, 31.370) = 14.546, p < 0.0000, \eta^2 = 0.58$ ). Post hoc analyses revealed a significant increase in communication effectiveness between pre-therapy and all other assessment times ( $\text{post}_{\text{CETI}} > \text{pre}_{\text{CETI}}$ :  $\beta = 12.96, \text{std. error} = 3.30, \text{df}=31, t \text{ ratio} = 3.925, p = 0.0009$ ;  $\text{FU1}_{\text{CETI}} > \text{pre}_{\text{CETI}}$ :  $\beta = 21.47, \text{std. error} = 3.95, \text{df}=31.4, t \text{ ratio} = 5.435, p = <.0001$ ;  $\text{FU2}_{\text{CETI}} > \text{pre}_{\text{CETI}}$ :  $\beta = 23.38, \text{std. error} = 4.30, \text{df}=31.5, t \text{ ratio} = 5.435, p = <.0001$ ) and between post-therapy and both follow-up assessments ( $\text{FU1}_{\text{CETI}} > \text{post}_{\text{CETI}}$ :  $\beta = 8.51, \text{std. error} = 3.95, \text{df}=31.4, t \text{ ratio} = 2.155, p = 0.0467$ ;  $\text{FU2}_{\text{CETI}} > \text{post}_{\text{CETI}}$ :  $\beta = 10.42, \text{std. error} = 4.30, \text{df}=31.5, t \text{ ratio} = 2.422, p = 0.0320$ ).

### Tableau 9

Results from the LMM analysis of treatment effects on standardised tests.

	coefficient	std. error	df	t value	p>  z	95% CI	
<b>TDQ60</b> [59 observations]							
Post	2.8706	0.9179	37.9815	3.127	<b>0.00338</b>	1.0970	4.6441
FU1	2.5761	1.0730	38.4343	2.401	<b>0.02130</b>	0.4988	4.6455
FU2	0.8200	1.1078	38.4603	0.909	0.41718	-1.2365	3.0446
Intercept	-9.0750	1.8396	20.0805	-4.933	0.0001	-12.7432	-5.4068
Variance among participants	53.3330	7.3030				5.1801	10.3675
<b>DVL38</b> [56 observations]							
Post	1.0553	0.3258	34.9243	3.239	<b>0.00263</b>	0.4266	1.6830
FU1	0.4969	0.3867	34.9412	1.285	0.20723	-0.2492	1.2432
FU2	0.5944	0.4005	34.9669	1.484	0.14678	-0.1766	1.3698
Intercept	-1.5075	3.2243	17.0444	-0.468	0.64602	4.9786	-7.9878
Variance among participants	186.1136	13.6423				9.8590	19.1470
<b>Oral Comp</b> [59 observations]							
Post	0.2744	0.3290	37.9708	0.834	0.4090	-0.3613	0.9102
FU1	0.1270	0.3851	38.2619	0.330	0.7430	-0.6174	0.8704
FU2	0.0674	0.3975	38.2780	0.170	0.8660	-0.7002	0.8359
Intercept	-6.5789	0.8153	18.9215	-8.070	0.0000	-8.2093	-4.9485
Variance among participants	10.9897	3.3150				2.3694	4.6849
<b>Repetition</b> [59 observations]							

Post	1.271	1.239	37.937	1.026	0.3113	-1.1226	3.6648
FU1	3.133	1.447	38.534	2.165	<b>0.0366</b>	0.3389	5.9286
FU2	2.794	1.493	38.569	1.871	0.0690	-0.0921	5.6780
Intercept	-6.333	2.182	21.078	-2.902	0.0085	-10.6743	-1.9924
Variance among participants	71.900	8.479				5.9661	12.0934
<b>Verbal Fluency</b> [57 observations]							
Post	0.3353	0.1454	36.2068	2.306	<b>0.0270</b>	0.0545	0.6160
FU1	0.3659	0.1717	36.4892	2.132	<b>0.0398</b>	0.0327	0.6961
FU2	0.3194	0.1717	36.4892	1.861	0.0709	-0.0144	0.6494
Intercept	-2.5822	0.3091	19.4388	-8.353	0.0000	-3.1995	-1.9650
Variance among participants	1.5399	1.2409				0.8824	1.7590
<b>CETI</b> [50 observations]							
Post	12.959	3.302	31.044	3.925	<b>0.0004</b>	6.5999	19.3185
FU1	21.473	3.946	31.476	5.442	<b>0.0000</b>	13.8576	29.0558
FU2	23.379	4.295	31.543	5.443	<b>0.0000</b>	15.0664	31.6212
Intercept	98.151	6.162	18.180	15.928	0.0000	85.8572	110.4453
Variance among participants	520.380	22.812				15.7794	33.1773

For all models: Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method [`lmerModLmerTest`]. 18 participants for all models.  
Formula = [TDQ/DVL/OralComp/Repetition/VerbalFluency/CETI] ~ time + (1 | Participant)  
REML criterion for TDQ60 model: 331.3, for the DVL model: 261.0, for the Oral Comp model: 226.1, for the repetition model: 359.4, for the fluency model: 125.5, for the CETI model: 389.8.

## 4. Discussion

The growing population of persons living with chronic aphasia increases the need to identify effective therapies to improve communication skills and to improve our understanding of individual factors that influence therapy outcomes. The aim of this study was to investigate the efficacy and potential generalization effects of a French version of PCA therapy (Leonard et al., 2008) which aims to improve naming ability in persons living with aphasia. The PCA therapy in English has been shown to lead to acquisition on treated items, some generalization on untreated items and maintenance following therapy withdraw (Bose, 2013; Bose et al., 2019; Haentjens & Auclair-Ouellet, 2020; Hashimoto, 2014; Kristensson & Saldert, 2018; Leonard et al., 2008; Marcotte et al., 2018; Neumann, 2018; Sadeghi et al., 2017; Simic, Bitan, et al., 2019; Simic et al., 2020; Simic et al., 2021; van Hees et al., 2013). The results of this work show that PCA delivered in French improves naming abilities in persons living with chronic aphasia, thus supporting the main hypothesis of this study. Indeed, there was a significant improvement on treated items, thus demonstrating acquisition, together with within-level generalisation of



therapy effects to untreated items, as measured by a control list, and standardised object and verb naming tests. Between-level generalisation, as measured by a functional communication questionnaire was also found. The hypothesis concerning maintenance of therapy gains was partially confirmed. Indeed, gains made in the acquisition of treated items, the within-level generalisation of treatment effects measured with the control list, as well as gains in functional communication were maintained for, respectively, 81%, 64% and 88% of participants at 6 months post-therapy. Treatment gains in other areas were not maintained post-therapy.

Within the Fr-PCA therapy protocol, the therapist writes down the orthographical equivalent of the phonological component that was either spontaneously provided by the participant or actively chosen among three potential options. Sze et al. (2020) completed a meta-analysis aiming to identify which active components in word-finding therapies were the most effective. They found that the use of orthographic cues (including, but not limited to, the entire word) was a consistent factor in predicting gains for treated and untreated items, both in the short- and long- term (Sze et al., 2020). Interestingly, in a language with an opaque mapping of phonology onto spelling such as French, this type of cues also lead to short- and long- term improvements for both treated and untreated items. The written cues could have encouraged greater reflection and processing of the material, facilitating the internalization of the strategies (Sze et al., 2020). With respect to this finding, as with the original English version of PCA therapy, in the Fr-PCA therapy, the target word is never written on the therapy board; however the phonological components relating to the target word that are identified by the patient are, supporting the importance of orthographic cueing noted by Sze et al. (2020). It is possible that the focus on phonologically oriented cues and the use of the orthographical equivalent in an opaque language such as French could have contributed to strengthening the phonological processing all while contributing to metaphonological abilities (Laganaro et al., 2003). Moreover, the orthographical cues provide a visual representation of the sound structure of language, which can be particularly helpful to increase understanding and awareness of the sound structure of language, including how words are pronounced, and how sounds are combined to form words. Written forms can also help to increase attention and facilitate recall

of information in individuals with aphasia. Further research is needed to more fully understand the mechanisms by which the written form can facilitate therapeutic outcomes.

Of note, the individual factors of age, severity of apraxia of speech, and initial anomia severity proved to influence improvement in naming, while the factors of sex, TPO and years of education did not significantly influence improvement. Age has been investigated as a potential predictor of recovery for many years (Kertesz & McCabe, 1977; Laska et al., 2001). Although evidence suggests that age does not specifically change neural networks supporting core language processes (Shafto & Tyler, 2014), the hypothesis regarding the potential of age limiting recovery stems from the fact that brain plasticity decreases with age (Kiran & Thompson, 2019; Nguyen et al., 2019), although the brain is still capable of change and adaptation even in older age (McDonough et al., 2022; Spreng & Turner, 2019). Aging is associated with a decline in various cognitive functions, including memory and processing speed, which may result in part from a decrease in neuroplasticity (Murman, 2015). Furthermore, a general decrease in frontal activations may limit the ability of elderly persons with aphasia to benefit fully from intensive speech and language therapy. Fr-PCA has previously been characterized as a cognitively loaded therapy (Masson-Trottier et al., 2022) and the influence of age on recovery could reflect reduced cognitive control with age (Dash & Joannette, 2016).

The initial severity of anomia also proved to significantly influence therapy outcomes, whereby participants showing the most severe anomia benefitted less than those with milder forms. This result mirrors previous aphasia-recovery literature (Lambon Ralph et al., 2010; Wisenburn & Mahoney, 2009). The exact nature of this finding has yet to be explained. In previous work with a sub-group of the participants in this study (Masson-Trottier et al., 2021), the initial severity of aphasia influenced the resting-state functional connectivity changes observed. It could be hypothesised that different processes are put into action to support recovery. However, neuroimaging data are not available for all participants in this study.

Finally, the severity of apraxia of speech also significantly influenced the model of therapy-recovery. Indeed, participants with severe apraxia of speech improved less than the other participants. Unfortunately, it is not possible to compare this result with previous results as in

many studies on aphasia therapy (Braley et al., 2021; Elsner et al., 2019; Rose et al., 2022), including previous studies on PCA (Leonard et al., 2008), severe apraxia is an exclusionary criterion. In this study, when participants had severe apraxia, therapy recovery was significantly reduced in terms of gains. In this therapy protocol, all participants received the same dosage of therapy (15-hours total). The intensity (3 hours per week) and the frequency (3 days per week) of the Fr-PCA did correspond to parameters proven to be sufficient for interventions targeting apraxia of speech (Wambaugh et al., 2020). Previous research on interventions targeting apraxia of speech seem to indicate that at least 20 hours of intervention are required to attain significant improvement (Wambaugh et al., 2020). Anecdotally, these participants tended to start showing improvements following the second week or during the third week of therapy. The impact of severe apraxia of speech on therapy response could possibly indicate a delay in the appropriation of the phonological strategy, in cases of apraxia of speech, and thus of acquisition. It could be interesting to repeat Fr-PCA with participants with severe apraxia of speech at a higher dosage. In treatment for apraxia of speech, therapists often work on improving the motor planning and execution of speech sounds, while also drawing on the individual's preserved metaphonological knowledge to help them produce speech accurately and consistently. With the Fr-PCA protocol, the phonologically oriented cues along with the use of visual representation could be indicated for persons living with aphasia and apraxia of speech. Future studies could explore this, as apraxia of speech can have an impact on speech production, but individuals with apraxia of speech may have a preserved phonological system and metaphonological knowledge that can be utilized in treatment to improve their speech production abilities.

This study is not without limitations. To gain external validity, there are times when internal validity needs to be sacrificed. In this group study, there is a great variability of symptomatology and severity, which is representative of what is observed in the clinical world but complicates generalisations in research. Men are overrepresented in this sample. Furthermore, the size of the sample, even if it is considerable in this field, remains small for statistical analysis. Because of the sanitary situation, two participants received therapy through telerehabilitation. However, in previous work, PCA had been deemed as usable in telerehabilitation (Simic et al., 2016).

In summary, this study has implications for both clinicians as well as policies. The results show that persons living with chronic aphasia can benefit from the Fr-PCA, therapy gains generalize to both untreated words and functional communication. The Fr-PCA improvements are maintained up to 6 months post-therapy. Individual factors such as age, initial anomia severity and severity of apraxia of speech modulate gains following Fr-PCA. In the context of the ageing population, considering the increased incidence of aphasia and its significant impact on quality of life, it is crucial to determine what therapies are effective and increase the understanding of influencing factors. These results indicate that persons living with aphasia and severe apraxia might require longer interventions periods.

**CRedit roles:** Michèle Masson-Trottier: Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Investigation; Methodology; Project administration; Writing - original draft; review & editing; Karine Marcotte: Conceptualization; Methodology; Funding acquisition, Writing - review & editing; Carol Leonard: Conceptualization; Methodology; Funding acquisition, Writing - review & editing; Elizabeth Rochon: Conceptualization; Methodology; Funding acquisition, Writing - review & editing; Ana Inés Ansaldo: Conceptualization; Methodology; Funding acquisition; Supervision; Resources; Writing - review & editing

## References

- Adda-Decker, M., Boula de Mareüil, P., Adda, G., & Lamel, L. (2005). Investigating syllabic structures and their variation in spontaneous French. *Speech Communication, 46*(2), 119-139. <https://doi.org/10.1016/j.specom.2005.03.006>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2014). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *arXiv preprint arXiv:1406.5823*.
- Béland, R., & Lecours, A. R. (1990). The mt-86  $\beta$  aphasia battery: A subset of normative data in relation to age and level of school education. *Aphasiology, 4*(5), 439-462. <https://doi.org/10.1080/02687039008248786>
- Borleffs, E., Maassen, B. A. M., Lyytinen, H., & Zwarts, F. (2017). Measuring orthographic transparency and morphological-syllabic complexity in alphabetic orthographies: a narrative review. *Read Writ, 30*(8), 1617-1638. <https://doi.org/10.1007/s11145-017-9741-5>
- Borsatto, J., Buchanan, L., & Pineault, L. (2021). Aphasia friendly Canada: The aphasia friendly business campaign. *Aphasiology, 36*(2), 198-217. <https://doi.org/10.1080/02687038.2020.1856328>
- Bose, A. (2013). Phonological therapy in jargon aphasia: effects on naming and neologisms. *Int J Lang Commun Disord, 48*(5), 582-595. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12038>
- Bose, A., Hobler, F., & Saddy, D. (2019). Deciphering the mechanisms of phonological therapy in jargon aphasia. *Int J Lang Commun Disord, 54*(1), 123-142. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12437>
- Boyle, M. (2010). Semantic feature analysis treatment for aphasic word retrieval impairments: what's in a name? *Top Stroke Rehabil, 17*(6), 411-422. <https://doi.org/10.1310/tsr1706-411>
- Boyle, M., & Coelho, C. A. (1995). Application of Semantic Feature Analysis as a Treatment for Aphasic Dysnomia. *American Journal of Speech-Language Pathology, 4*(4), 94-98. <https://doi.org/10.1044/1058-0360.0404.94>
- Brady, M. C., Kelly, H., Godwin, J., Enderby, P., & Campbell, P. (2016). Speech and language therapy for aphasia following stroke. *Cochrane Database Syst Rev*(6), CD000425. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD000425.pub4>
- Braley, M., Pierce, J. S., Saxena, S., De Oliveira, E., Taraboanta, L., Anantha, V., Lakhan, S. E., & Kiran, S. (2021). A Virtual, Randomized, Control Trial of a Digital Therapeutic for

Speech, Language, and Cognitive Intervention in Post-stroke Persons With Aphasia. *Front Neurol*, 12, 626780. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.626780>

- Brodeur, M., Dion-Lessard, G., Chauret, M., Dionne-Dostie, E., Montreuil, T., & Lepage, M. (2011). The Bank of Standardized Stimuli (BOSS): a new normative dataset of 480 visual stimuli to be used in visual cognition research. *Journal of Vision*, 11(11), 825-825.
- Charidimou, A., Kasselimis, D., Varkanitsa, M., Selai, C., Potagas, C., & Evdokimidis, I. (2014). Why is it difficult to predict language impairment and outcome in patients with aphasia after stroke? *J Clin Neurol*, 10(2), 75-83. <https://doi.org/10.3988/jcn.2014.10.2.75>
- Coelho, C. A., McHugh, R. E., & Boyle, M. (2000). Semantic feature analysis as a treatment for aphasic dysnomia: A replication. *Aphasiology*, 14(2), 133-142. <https://doi.org/10.1080/026870300401513>
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407-428. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.82.6.407>
- Côté, M.-H. (2012). Laurentian French (Quebec) Extra vowels, missing schwas and surprising liaison consonants. In R. Gess, C. Lyche, & T. Meisenburg (Eds.), *Phonological Variation in French: Illustrations from three continents* (pp. 235-275). John Benjamins Publishing Company. <https://books.google.ca/books?id=BNV4FTvq4JUC>
- Dash, T., & Joannette, Y. (2016). Neurocognitive markers in aging. *Encyclopedia of geropsychology*, 1-10.
- De Cock, E., Batens, K., Hemelsoet, D., Boon, P., Oostra, K., & De Herdt, V. (2020). Dysphagia, dysarthria and aphasia following a first acute ischaemic stroke: incidence and associated factors. *Eur J Neurol*, 27(10), 2014-2021. <https://doi.org/10.1111/ene.14385>
- Dell, G. S., Schwartz, M. F., Martin, N., Saffran, E. M., & Gagnon, D. A. (1997). Lexical access in aphasic and nonaphasic speakers. *Psychol Rev*, 104(4), 801-838. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.104.4.801>
- Dickey, L., Kagan, A., Lindsay, M. P., Fang, J., Rowland, A., & Black, S. (2010). Incidence and profile of inpatient stroke-induced aphasia in Ontario, Canada. *Arch Phys Med Rehabil*, 91(2), 196-202. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2009.09.020>
- Duncan, L. G., Casalis, S., & ColÉ, P. (2009). Early metalinguistic awareness of derivational morphology: Observations from a comparison of English and French. *Applied Psycholinguistics*, 30(3), 405-440. <https://doi.org/10.1017/s0142716409090213>
- Durand, E., Berroir, P., & Ansaldo, A. I. (2018). The Neural and Behavioral Correlates of Anomia Recovery following Personalized Observation, Execution, and Mental Imagery Therapy:

A Proof of Concept. *Neural Plast*, 2018, 5943759.  
<https://doi.org/10.1155/2018/5943759>

- Durand, E., Masson-Trottier, M., Sontheimer, A., & Ansaldo, A. I. (2021). Increased links between language and motor areas: A proof-of-concept study on resting-state functional connectivity following Personalized Observation, Execution and Mental imagery therapy in chronic aphasia. *Brain Cogn*, 148, 105659.  
<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2020.105659>
- Elsner, B., Kugler, J., Pohl, M., & Mehrholz, J. (2019). Transcranial direct current stimulation (tDCS) for improving aphasia in adults with aphasia after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*, 5(5), CD009760. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009760.pub4>
- Evans, W. S., Hula, W. D., Quique, Y., & Starns, J. J. (2020). How Much Time Do People With Aphasia Need to Respond During Picture Naming? Estimating Optimal Response Time Cutoffs Using a Multinomial Ex-Gaussian Approach. *J Speech Lang Hear Res*, 63(2), 599-614. [https://doi.org/10.1044/2019\\_JSLHR-19-00255](https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-19-00255)
- Gierut, J. A., Morrisette, M. L., & Dickinson, S. L. (2015). Effect Size for Single-Subject Design in Phonological Treatment. *J Speech Lang Hear Res*, 58(5), 1464-1481.  
[https://doi.org/10.1044/2015\\_JSLHR-S-14-0299](https://doi.org/10.1044/2015_JSLHR-S-14-0299)
- Goldrick, M., & Rapp, B. (2002). A restricted interaction account (RIA) of spoken word production: The best of both worlds. *Aphasiology*, 16(1-2), 20-55. <https://doi.org/10.1080/02687040143000203>
- Goodglass, H., & Wingfield, A. (1997). *Anomia: Neuroanatomical and Cognitive Correlates*. Elsevier Science. <https://books.google.ca/books?id=CV6llekGPLgC>
- Gronberg, A., Henriksson, I., Stenman, M., & Lindgren, A. G. (2022). Incidence of Aphasia in Ischemic Stroke. *Neuroepidemiology*, 56(3), 174-182.  
<https://doi.org/10.1159/000524206>
- Haentjens, K., & Auclair-Ouellet, N. (2020). Naming gains and within-intervention progression following semantic feature analysis (SFA) and phonological components analysis (PCA) in adults with chronic post-stroke aphasia. *Aphasiology*, 35(8), 1024-1047.  
<https://doi.org/10.1080/02687038.2020.1763908>
- Hammelrath, C. (2005). Dénomination de verbes lexicaux en images: DVL 38. In: Isbergues: Ortho-Édition.
- Hashimoto, N. (2014). *Impact of Remnant Versus Pictographic Communication Books on Communicative Interactions for An Individual with Aphasia* University of Wisconsin-River Falls].

- Hickin, J., Best, W., Herbert, R., Howard, D., & Osborne, F. (2002). Phonological therapy for word-finding difficulties: A re-evaluation. *Aphasiology*, *16*(10-11), 981-999. <https://doi.org/10.1080/02687030244000509>
- Jaffré, J.-P., & Fayol, M. (2013). Orthography and literacy in French. In *Handbook of orthography and literacy* (pp. 95-118). Routledge.
- Kay, J., & Ellis, A. (1987). A Cognitive Neuropsychological Case Study Of Anomia: Implications For Psychological Models Of Word Retrieval. *Brain*, *110*(3), 613-629. <https://doi.org/10.1093/brain/110.3.613>
- Kertesz, A., & McCabe, P. (1977). Recovery patterns and prognosis in aphasia. *Brain : a journal of neurology*, *100 Pt 1*, 1-18. <https://doi.org/10.1093/brain/100.1.1>
- Kiran, S., & Thompson, C. K. (2019). Neuroplasticity of Language Networks in Aphasia: Advances, Updates, and Future Challenges. *Front Neurol*, *10*, 295. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00295>
- Kristensson, J., & Saldert, C. (2018). Naming of Objects and Actions after Treatment with Phonological Components Analysis in Aphasia. *Clinical Archives of Communication Disorders*, *3*(2), 137-150. <https://doi.org/10.21849/cacd.2018.00367>
- Kristinsson, S. (2021). *Towards Understanding Therapy Response In Chronic Aphasia* (Publication Number 28645463) [Doctoral, University of South Carolina].
- Kristinsson, S., Basilakos, A., Elm, J., Spell, L. A., Bonilha, L., Rorden, C., den Ouden, D. B., Cassarly, C., Sen, S., Hillis, A., Hickok, G., & Fridriksson, J. (2021). Individualized response to semantic versus phonological aphasia therapies in stroke. *Brain Commun*, *3*(3), fcab174. <https://doi.org/10.1093/braincomms/fcab174>
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, *82*(13). <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>
- Laganaro, M., Di Pietro, M., & Schnider, A. (2003). Computerised treatment of anomia in chronic and acute aphasia: An exploratory study. *Aphasiology*, *17*(8), 709-721. <https://doi.org/10.1080/02687030344000193>
- Laine, M., & Martin, N. (2013). *Anomia: Theoretical and clinical aspects*. Psychology Press.
- Lam, J. M., & Wodchis, W. P. (2010). The relationship of 60 disease diagnoses and 15 conditions to preference-based health-related quality of life in Ontario hospital-based long-term care residents. *Med Care*, *48*(4), 380-387. <https://doi.org/10.1097/MLR.0b013e3181ca2647>



- Lambon Ralph, M. A., Snell, C., Fillingham, J. K., Conroy, P., & Sage, K. (2010). Predicting the outcome of anomia therapy for people with aphasia post CVA: both language and cognitive status are key predictors. *Neuropsychol Rehabil*, *20*(2), 289-305. <https://doi.org/10.1080/09602010903237875>
- Laska, A. C., Hellblom, A., Murray, V., Kahan, T., & Von Arbin, M. (2001). Aphasia in acute stroke and relation to outcome. *J Intern Med*, *249*(5), 413-422. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2796.2001.00812.x>
- Lazar, R. M., & Antonello, D. (2008). Variability in Recovery from Aphasia. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, *8*, 497–502.
- Leonard, C., Rochon, E., & Laird, L. (2008). Treating naming impairments in aphasia: Findings from a phonological components analysis treatment. *Aphasiology*, *22*(9), 923-947. <https://doi.org/10.1080/02687030701831474>
- Levelt, W. J. (1999). Models of word production. *Trends Cogn Sci*, *3*(6), 223-232. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(99\)01319-4](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(99)01319-4)
- Lindsay, M., & Aronoff, M. (2013). Natural selection in self-organizing morphological systems. *Morphology in Toulouse: Selected Proceedings of Décembrettes*, *7*, 133-153.
- Lomas, J., Pickard, L., Bester, S., Elbard, H., Finlayson, A., & Zoghaib, C. (1989). The communicative effectiveness index: development and psychometric evaluation of a functional communication measure for adult aphasia. *J Speech Hear Disord*, *54*(1), 113-124. <https://doi.org/10.1044/jshd.5401.113>
- Macoir, J., Beaudoin, C., Bluteau, J., Potvin, O., & Wilson, M. A. (2017). TDQ-60—a color picture-naming test for adults and elderly people: validation and normalization data. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 1-14.
- Marcotte, K., Adrover-Roig, D., Damien, B., de Preaumont, M., Genereux, S., Hubert, M., & Ansaldo, A. I. (2012). Therapy-induced neuroplasticity in chronic aphasia. *Neuropsychologia*, *50*(8), 1776-1786. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.04.001>
- Marcotte, K., & Ansaldo, A. I. (2010). The neural correlates of semantic feature analysis in chronic aphasia: discordant patterns according to the etiology. *Semin Speech Lang*, *31*(1), 52-63. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1244953>
- Marcotte, K., Laird, L., Bitan, T., Meltzer, J. A., Graham, S. J., Leonard, C., & Rochon, E. (2018). Therapy-Induced Neuroplasticity in Chronic Aphasia After Phonological Component Analysis: A Matter of Intensity. *Front Neurol*, *9*, 225. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00225>

- Marcotte, K., Perlberg, V., Marrelec, G., Benali, H., & Ansaldo, A. I. (2013). Default-mode network functional connectivity in aphasia: therapy-induced neuroplasticity. *Brain Lang*, *124*(1), 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2012.11.004>
- Masson-Trottier, M., Dash, T., Berroir, P., & Ansaldo, A. I. (2022). French Phonological Component Analysis and aphasia recovery: A bilingual perspective on behavioral and structural data. *Frontiers in Human Neuroscience*, *16*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.752121>
- Masson-Trottier, M., Marcotte, K., Leonard, C., Rochon, E., & Ansaldo, A. I. (2016). *Validation de la version francophone de stimuli et indices nécessaires pour l'administration de la thérapie par Analyse des Composantes Phonologiques* International Conference on Speech-language Pathology and Audiology, November 14th-15th 2016, Montreal, Canada.
- Masson-Trottier, M., Sontheimer, A., Durand, E., & Ansaldo, A. I. (2021). Resting-State Functional Connectivity following Phonological Component Analysis: The Combined Action of Phonology and Visual Orthographic Cues. *Brain Sci*, *11*(11). <https://doi.org/10.3390/brainsci11111458>
- McDonough, I. M., Nolin, S. A., & Visscher, K. M. (2022). 25 years of neurocognitive aging theories: What have we learned? *Front Aging Neurosci*, *14*, 1002096. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2022.1002096>
- Murman, D. L. (2015). The Impact of Age on Cognition. *Semin Hear*, *36*(03), 111-121. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1555115>
- Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bedirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J. L., & Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *J Am Geriatr Soc*, *53*(4), 695-699. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x>
- Nespoulous, J. L., Lecours, A. R., Lafond, D., & Parente, M. (1986). Protocole Montréal-Toulouse MT-86 d'examen linguistique de l'aphasie-version Beta. *Laboratoire Théophile-Alajouanine, Montréal*.
- Neumann, Y. (2018). A case series comparison of semantically focused vs. phonologically focused cued naming treatment in aphasia. *Clin Linguist Phon*, *32*(1), 1-27. <https://doi.org/10.1080/02699206.2017.1326166>
- New, B., & Pallier, C. (2004). *Lexique 2: a new French lexical database* (L. d. P. e. Neurocognition, Ed.). Université Savoie Mont Blanc. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15641440>

- Nguyen, L., Murphy, K., & Andrews, G. (2019). Cognitive and neural plasticity in old age: A systematic review of evidence from executive functions cognitive training. *Ageing Research Reviews*, 53, 100912. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arr.2019.100912>
- Nickels, L. (2002). Therapy for naming disorders: Revisiting, revising, and reviewing. *Aphasiology*, 16(10-11), 935-979. <https://doi.org/10.1080/02687030244000563>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Perani, D., Cappa, S. F., Tettamanti, M., Rosa, M., Scifo, P., Miozzo, A., Basso, A., & Fazio, F. (2003). A fMRI study of word retrieval in aphasia. *Brain Lang*, 85(3), 357-368. [https://doi.org/10.1016/s0093-934x\(02\)00561-8](https://doi.org/10.1016/s0093-934x(02)00561-8)
- R Core Team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. In (Version 4.2.1) R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Release Collaborators, Brady, M. C., Ali, M., VandenBerg, K., Williams, L. J., Williams, L. R., Abo, M., Becker, F., Bowen, A., Brandenburg, C., Breitenstein, C., Bruehl, S., Copland, D. A., Cranfill, T. B., Pietro-Bachmann, M. D., Enderby, P., Fillingham, J., Lucia Galli, F., Gandolfi, M., . . . Harris Wright, H. (2022). Precision rehabilitation for aphasia by patient age, sex, aphasia severity, and time since stroke? A prespecified, systematic review-based, individual participant data, network, subgroup meta-analysis. *Int J Stroke*, 17(10), 1067-1077. <https://doi.org/10.1177/17474930221097477>
- Robey, R. R. (2004). A five-phase model for clinical-outcome research. *J Commun Disord*, 37(5), 401-411. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2004.04.003>
- Rochon, E., Leonard, C., Burianova, H., Laird, L., Soros, P., Graham, S., & Grady, C. (2010). Neural changes after phonological treatment for anomia: An fMRI study. *Brain Lang*, 114(3), 164-179. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2010.05.005>
- Rose, M. L., Nickels, L., Copland, D., Togher, L., Godecke, E., Meinzer, M., Rai, T., Cadilhac, D. A., Kim, J., Hurley, M., Foster, A., Carragher, M., Wilcox, C., Pierce, J. E., & Steel, G. (2022). Results of the COMPARE trial of Constraint-induced or Multimodality Aphasia Therapy compared with usual care in chronic post-stroke aphasia. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 93(6), 573-581. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2021-328422>
- Sadeghi, Z., Baharloei, N., Moddarres Zadeh, A., & Ghasisin, L. (2017). Comparative Effectiveness of Semantic Feature Analysis (SFA) and Phonological Components Analysis (PCA) for Anomia Treatment in Persian Speaking Patients With Aphasia [Original Research Articles]. *Iranian Rehabilitation Journal*, 15(3), 259-268. <https://doi.org/10.29252/nrip.irj.15.3.259>

- Shafto, M. A., & Tyler, L. K. (2014). Language in the aging brain: The network dynamics of cognitive decline and preservation. *Science*, *346*(6209), 583-587. <https://doi.org/doi:10.1126/science.1254404>
- Simic, T., Bitan, T., Turner, G., Chambers, C., Goldberg, D., Leonard, C., & Rochon, E. (2019). The role of executive control in post-stroke aphasia treatment. *Neuropsychol Rehabil*, *30*(10), 1853-1892. <https://doi.org/10.1080/09602011.2019.1611607>
- Simic, T., Chambers, C., Bitan, T., Stewart, S., Goldberg, D., Laird, L., Leonard, C., & Rochon, E. (2020). Mechanisms underlying anomia treatment outcomes. *J Commun Disord*, *88*, 106048. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2020.106048>
- Simic, T., Leonard, C., Laird, L., Cupit, J., Hobler, F., & Rochon, E. (2016). A Usability Study of Internet-Based Therapy for Naming Deficits in Aphasia. *Am J Speech Lang Pathol*, *25*(4), 642-653. [https://doi.org/10.1044/2016\\_AJSLP-15-0030](https://doi.org/10.1044/2016_AJSLP-15-0030)
- Simic, T., Leonard, C., Laird, L., Stewart, S., & Rochon, E. (2021). The effects of intensity on a phonological treatment for anomia in post-stroke aphasia. *J Commun Disord*, *93*, 106125. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2021.106125>
- Simic, T., Rochon, E., Greco, E., & Martino, R. (2019). Baseline executive control ability and its relationship to language therapy improvements in post-stroke aphasia: a systematic review. *Neuropsychol Rehabil*, *29*(3), 395-439. <https://doi.org/10.1080/09602011.2017.1307768>
- Simmons-Mackie, N. (2017). *Aphasia in North America* (Aphasia Access, Issue. <https://www.aphasiaaccess.org/white-paper>
- Spreng, R. N., & Turner, G. R. (2019). The Shifting Architecture of Cognition and Brain Function in Older Adulthood. *Perspectives on Psychological Science*, *14*(4), 523-542. <https://doi.org/10.1177/1745691619827511>
- Statistic Canada. (2022). *While English and French are still the main languages spoken in Canada, the country's linguistic diversity continues to grow* (The Daily, Issue. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/220817/dq220817a-eng.htm>
- Stone, G. O., Vanhoy, M., & Orden, G. C. V. (1997). Perception Is a Two-Way Street: Feedforward and Feedback Phonology in Visual Word Recognition. *Journal of Memory and Language*, *36*(3), 337-359. <https://doi.org/10.1006/jmla.1996.2487>
- Sze, W. P., Hameau, S., Warren, J., & Best, W. (2020). Identifying the components of a successful spoken naming therapy: a meta-analysis of word-finding interventions for adults with aphasia. *Aphasiology*, *35*(1), 33-72. <https://doi.org/10.1080/02687038.2020.1781419>

- Tippett, D. C., & Hillis, A. E. (2017). Where are aphasia theory and management "headed"? *F1000Res*, 6. <https://doi.org/10.12688/f1000research.11122.1>
- van Hees, S., Angwin, A., McMahon, K., & Copland, D. (2013). A comparison of semantic feature analysis and phonological components analysis for the treatment of naming impairments in aphasia. *Neuropsychol Rehabil*, 23(1), 102-132. <https://doi.org/10.1080/09602011.2012.726201>
- Véronis, J. (1986). Etude quantitative sur le système graphique et phono-graphique du français. *Cahiers de psychologie cognitive*, 6(5), 501-531. <https://doi.org/10.3406/lfr.1973.5652>
- Wambaugh, J. L., Wright, S., Nessler, C., Mauszycki, S. C., Bunker, L., Boss, E., Zhang, Y., Hula, W. D., & Doyle, P. J. (2020). Further Study of the Effects of Treatment Intensity on Outcomes of Sound Production Treatment for Acquired Apraxia of Speech: Does Dose Frequency Matter? *Am J Speech Lang Pathol*, 29(1), 263-285. [https://doi.org/10.1044/2019\\_AJSLP-19-00005](https://doi.org/10.1044/2019_AJSLP-19-00005)
- Webster, J., Whitworth, A., & Morris, J. (2015). Is it time to stop "fishing"? A review of generalisation following aphasia intervention. *Aphasiology*, 29(11), 1240-1264. <https://doi.org/10.1080/02687038.2015.1027169>
- Wisenburn, B., & Mahoney, K. (2009). A meta-analysis of word-finding treatments for aphasia. *Aphasiology*, 23(11), [https://doi.org/Pii 915031269](https://doi.org/Pii%20915031269)
- 10.1080/02687030902732745
- Ziegler, J. C., Jacobs, A. M., & Stone, G. O. (1996). Statistical analysis of the bidirectional inconsistency of spelling and sound in French. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 28(4), 504-515. <https://doi.org/10.3758/BF03200539>

## Appendix1 Inconsistencies in writing French words

### Example 1

The sound /ɛ̃/ can be spelled in 8 different ways:

- -in (*cousin* [cousin])
- -im (*timbre* [stamp])
- -ain (*bain* [bath])
- -aim (*faim* [hunger])
- -en (*examen* [exam])
- -ein (*teindre* [strain])
- -yn (*lynx*)
- -ym (*thym* [thyme])

### Example 2

Silent letters at the beginning of word:

- hibou /ibu/ (owl)
- homme /ɔm/ (man)
- 

### Example 3

Silent letters at the end of a word:

- blancç /blɑ̃/ (white)

- attend /atã/ (wait)
- long /lõ/ (long)
- loup /lu/ (wolf)
- beaucoup /boku/ (a lot)
- trop /tro/ (too much)
- choux /ʃu/ (cabbages)
- choix /ʃwa/ (choice)
- voeux /vø/ (wishes)
- riz /ri/

## Appendix 2

**Table A1:**

*Raw accuracy scores and response times for treated and untreated items at all assessment points*

Participant		Treated				Untreated			
		Pre	Post	Follow-up 1	Follow-up 2	Pre	Post	Follow-up 1	Follow-up 2
PA02	Accuracy	0	0.10	0.45		0.00	0.15	0.10	
	RT	na	na	na		na	na	na	
PA05	Accuracy	0	0.75	0.35	0.15	0.00	0.25	0.13	0.23
	RT	na	na	na	na	na	na	na	na
PA08	Accuracy	0	0.20	0.10	0.15	0.00	0.03	0.08	0.08
	RT	na	na	na	9.05	na	na	na	14.99
PA11	Accuracy	0.12	0.75	0.35	0.50	0.50	0.75	0.30	0.65
	RT	11.38	11.70	5.08	7.91	5.68	na	20.33	4.38
PA12	Accuracy	0	0.25	0.35	0.35	0.00	0.05	0.18	0.28
	RT	0	30.82	17.02	9.14	10.66	na	10.59	11.06
PA13	Accuracy	0.52	0.95	0.55	0.70	0.91	0.93	0.30	0.73
	RT	7.90	3.55	4.44	6.32	5.71	3.04	4.03	2.78
PA15	Accuracy	0.85	1	0.95	0.90	0.98	1	0.40	0.80
	RT	6.93	1.18	4.13	2.85	5.06	1.73	3.54	4.73
PA16	Accuracy	0.10	0.70	0.60	0.50	0.08	0.30	0.03	0.18
	RT	7.43	12.89	10.25	8.51	6.00	6.53	10.81	5.18
PA17	Accuracy	0	0.58	0.60	0.45	0	0.35	0.10	0.33
	RT	0	na	8.50	18.19	0	na	9.52	7.26
PA19	Accuracy	0.65	1	0.80	0.80	0.83	1	0.35	0.90
	RT	5.21	1.51	7.57	4.16	8.39	1.60	6.41	5.38
PA20	Accuracy	0.52	0.80	0.65	0.70	0.65	0.80	0.35	0.68
	RT	8.63	2.76	8.71	6.70	6.41	4.25	6.61	5.33
PA22	Accuracy	0.80	0.95			0.95	1.00		
	RT	10.37	3.19			7.80	5.62		
PA25	Accuracy	0	0.30			0	0.28		
	RT	0	10.64			0	9.24		
PA26	Accuracy	0.15	0.65	0.80		0.25	0.75	0.23	
	RT	9.15	2.39	2.33		5.19	2.70	4.28	
PA27	Accuracy	0.15	0.95			0.16	0.43		
	RT	13.38	5.75			7.94	6.38		
PA28	Accuracy	0.18	0.80			0.65	0.68		



	RT	20.96	5.28		4.97	5.68	
PA29	Accuracy	0.37	1		0.63	0.88	
	RT	10.89	2.23		5.86	3.35	
PA30	Accuracy	0.17	0.70		0.22	0.35	
	RT	9.03	5.26		10.79	6.55	

**Table A2:**

*Individual standardized scores on the standardized tests at all assessment points*

Participant		TDQ	DVL	Oral Comp	Repetition	Fluency	CETI
PA02	Pre	-14.55		-8.51	-9.8	-3.98	87.1
	Post	-16.5		-7.03	-26.02	-2.85	104
	FU3	-11.31		-10	-1.69		
	FU6	-22.99	0.45	-9.5	-5.3	-3.18	103.4
PA05	Pre	-11.93	0.37	-4.6	1.15	-3.83	125.33
	Post	-5.29	0.45	-3.32	1.15	-2.21	121.83
	FU3	-5.29	1.45	-3.32	1.15	-2.41	114.44
	FU6	-9.35	0.12	-3.32	1.15	-2.82	
PA08	Pre	-19.09	-5.79	-5.3	1.23	-3.68	
	Post	-16.39	-4.68	-7.58	1.23	-3.13	
	FU3	-18.64	-5.89	-7.58	1.23	-3.31	
	FU6	-20.45	-5.05	-5.3	1.23	-3.5	
PA11	Pre	-12.49	-0.04	-4.54	0.7	-4.52	99.8
	Post	-7.84	0.1	-5.08	0.7	-4.52	114
	FU3	-6.29	-1.04	-4	0.7	-4.08	123.9
	FU6	-3.96	-0.47	-5.08	0.7	-4.3	123.9
PA12	Pre	-25.85	-5.68	-9.86	-27.89	-4.23	85
	Post	-18.19	-3.02	-8.95	-24.98	-3.5	102.19
	FU3	-15.04	-5.2	-8.49	-20.13	-3.86	124.38
	FU6	-15.94	-3.3	-10.32	-20.13	-3.13	118.75
PA13	Pre	-2.43	-0.7	-3.47	-10.42	-2.21	97.92
	Post	0.27	-0.42	-3.93	-5.56	-1.85	113.96
	FU3	-0.63	0.97	-3.93	-5.56	-1.48	113.96
	FU6	-1.08	0.05	-3.47	-6.53	-0.38	113.96
PA15	Pre	1.03	0.05	-3.56	1.01	-0.43	125.9
	Post	1.03	0.6	-3.56	1.01	-0.27	138.8
	FU3	1.03	0.51	-3.56	1.01	-0.76	143.9
	FU6	1.03	0.7	-3.56	1.01	-0.6	146.9
PA16	Pre	-8.98	-5.79	-11.49	-26.02	-3.01	65.21

	Post	-8.61	-4.03	-12.97	-10.7	-2.69	65.21
	FU3	-10.46	-5.79	-11.98	-14.31	-3.01	65.21
	FU6	-8.98	-6.53	-13.96	-14.31	-3.18	67.71
PA17	Pre	-14.15	-8.34	-10.78	-2.65	-3.86	59.9
	Post	-6.03	-6.63	-7.12	-0.71	-3.5	80.94
	FU3	-14.15	-5.39	-8.04	-0.71	-3.86	101.67
	FU6	-17.47	-7.01	-6.67	-0.71	-3.86	120.52
PA19	Pre	-0.63	-1.07	-3.56	1.01	-2.21	147.92
	Post	-0.18	0.32	-4.06	1.01	-1.4	155.73
	FU3	-0.18	0.23	-3.56	1.01	-0.76	155.73
	FU6	0.27	0.97	-4.06	1.01	-1.56	
PA20	Pre	-0.63	-0.32	-3.47	1.23	-2.4	71.43
	Post	-0.63	0.05	-3.01	1.23	-2.58	84.29
	FU3	-1.08	-0.42	-3.47	0.26	-2.76	111.43
	FU6	-0.63	-0.7	-3.47	0.26	-3.13	113.78
PA22	Pre	-0.63	0.21	-5.05	-0.79	-1.72	92.84
	Post	0.73	0.21	-4.06	0.11	-0.92	110.42
	FU3						
	FU6						
PA25	Pre	-22.25	-6.63	-9.86	-27.89	-2.95	68.38
	Post	-21.8	-4.68	-10.32	-17.21	-2.95	72.98
	FU3						
	FU6						
PA26	Pre	-12.49	-32.87	-12.65	-0.82	-1.92	131.04
	Post	-1.64	-29.51	-9.41	0.7	-2.35	137.81
	FU3	-4.74	-33.25	-11.03	0.7	-1.49	
	FU6						
PA27	Pre	-10.09	-0.7	-3.93	1.23	-2.21	102.62
	Post	-5.13	-0.05	-3.01	1.23	-2.03	135.73
	FU3						
	FU6						
PA28	Pre	-1.53	-0.05	-3.01	0.26	-2.03	100.9
	Post	-0.18	0.23	-3.01	1.23	-1.85	117.6
	FU3						125.9
	FU6						
PA29	Pre	-0.63	0.34	-4	0.7	1.11	109.14
	Post	0.73	-1.9	-4	0.7	0.24	122.29
	FU3						
	FU6						
PA30	Pre	-6.03	-4.31	-10.78	-16.24	-2.4	

Post	-6.03	-0.42	-13.06	-16.24
FU3				
FU6				

**Table A3:**

*Results from the complex GLMM analysis of treatment effects Model Interaction + Age + Initial severity.*

	coefficient	std. error	z	p>  z	95% CI
<b>assessment time</b>					
Post	1.4311	0.1524	9.3920	0.0000	1.1336
FU1	0.6289	0.1745	3.605	0.0003	0.2681
FU2	0.7169	0.1785	4.016	0.0000	0.3530
Condition	-1.3435	0.2202	-6.102	0.0000	-1.7845
TDQ60 pretherapy score	0.1791	0.0219	8.165	0.0000	
Age	-0.0470	0.0153	-3.069	0.002	
<b>assessment time * condition</b>					
Post	2.10422	0.2785	7.5460	0.0000	1.5626
FU1	1.58398	0.3094	5.1220	0.0000	0.9833
FU2	1.61179	0.3150	5.1220	0.0000	1.0008
Intercept	3.50456	1.02352	3.424	0.0006	-2.1535
Variance among participants	0.4222	0.6497			1.2721
Variance among items within participants	1.0663	1.0326			0.8494

Log likelihood= -1653.3, Wald  $\chi^2(7) = 357.18$ ,  $p < 0.0001$ .

Notes: Number of observations= 3480; Trial, 60; Participant, 18. p-values for fixed effects calculated using Laplace Approximation. Reference categories are pre-treatment assessment (time), and untreated words (condition).

Model equation: Performance ~ Condition \* Time + TDQ\_Pre + Age + (1 | Participant) + (1 | Trial:Participant)

## Chapitre 4 – Deuxième article

### **Resting-State Functional Connectivity Following Phonological Component Analysis: the Combined Action of Phonology and Visual Orthographic Cues.**

***Brain sciences, 2021***

Michèle Masson-Trottier <sup>1</sup>, Anna Sontheimer <sup>2</sup>, Edith Durand <sup>3</sup> and Ana Inés Ansaldo <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal, Faculté de Médecine, Université de Montréal; [REDACTED] (M.M.-T.)

[REDACTED] (A.I.A)

<sup>2</sup>Institut Pascal, Université Clermont Auvergne, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut National Polytechnique-Clermont, Centre Hospitalier Universitaire de Clermont-Ferrand, F-63000 Clermont-Ferrand, France; [REDACTED]

<sup>3</sup>U.F.R. Lettres, Cultures et Sciences Humaines, Université Clermont Auvergne, France ;

\*Correspondence: [REDACTED]

## Abstract

Anomia is the most frequent and pervasive symptom for people with aphasia (PWA). Phonological component analysis (PCA) is a therapy incorporating phonological cues to treat anomia. Investigations of neural correlates supporting improvements following PCA remain scarce. Resting-state functional connectivity (rsFC) as a marker of therapy-induced neuroplasticity has been reported by our team. The present study explores the efficacy of PCA in French and associated therapy-induced neuroplasticity using whole-brain rsFC analysis. Ten PWA participated in a pre-/post-PCA fMRI study with cognitive-linguistic assessments. PCA was delivered in French following the standard procedure. PCA led to significant improvement with **trained** and **untrained** items. PCA also led to changes in rsFC between distributed ROIs in the semantic network, visual network, and sub-cortical areas. Changes in rsFC can be interpreted within the frame of the visual-phonological nature of PCA. Behavioral and rsFC data changes associated with PCA in French highlight its efficacy and point to the importance of phonological-orthographic cues to consolidate the word-retrieval strategy, contributing to generalization to **untrained** words. (210 mots)

**Keywords:** aphasia; anomia; therapy; resting-state fMRI; French

## 1. Introduction

Aphasia is an acquired language disorder following brain injury occurring in over a third of hospitalized stroke patients; an estimated 165 000 to 380 000 Canadians are affected with chronic aphasia [1]. Typically, aphasia results from damage in the left fronto-temporo-parietal brain regions. Among the range of symptoms, anomia – a difficulty to find words – is the most common, persistent, and debilitating symptom. Aphasia leads to reduced quality of life [2] and increased risk of depression [3]. Current knowledge shows that speech-language therapy effectively improves communication abilities (see Brady, et al. [4] for a review), with outcome variability following treatment observed between persons with aphasia. Studies show that factors such as initial severity or size of lesion, known as an intrinsic variable, may impact recovery following stroke [5-7]. However, results have been inconsistent, and the recovery mechanisms remain poorly understood [8]. To better understand this variability in recovery, researchers have turned to neuroimaging and aim to uncover the neurophysiological changes induced by extrinsic variables such as therapy.

It is now well accepted that going beyond investigating the cerebral areas damaged by the stroke is necessary to comprehend language deficits and recovery in persons with aphasia following stroke. Language functions, **namely** word naming, are sustained by a dual-stream network, **mainly lateralized in the left hemisphere (LH)**, including a ventral stream mapping sound to meaning (lexical representations) involving the superior temporal gyrus (STG), middle temporal gyrus (MTG), and inferior temporal gyrus (ITG) and a dorsal stream mapping sound to articulatory-based representations involving the STG, inferior frontal gyrus (IFG), middle frontal gyrus (MFG), angular gyrus (AG), supramarginal gyrus (SMG), and the supplementary motor area (SMA) [9-13]. These areas work as a distributed and complex network [11], along with domain-general networks [8]. In the event of a stroke, damage to the integrity of the dual-stream language network causes language difficulties such as anomia. **However, after the stroke, the brain has the capacity to reorganize, namely through functional processes, following principles facilitating neuroplasticity such as specificity, salience, repetition and intensity, generalization, and complexity [7].** Early on,

the brain will recruit right hemisphere (RH) homolog areas to execute the language tasks. This process has been both described as successful compensation and as maladaptive – leading to less recovery. In the chronic phase, it remains unknown if the RH recruitment is beneficial or not [8,14-16].

Speech-language therapies developed to improve naming abilities with people with aphasia are numerous. Therapies aiming to reduce anomia are generally based on semantic strategies, such as Semantic Feature Analysis [17,18], or phonological strategies such as Phonological Component Analysis [PCA; 19,20-23]. In phonological therapies, the aim is to facilitate lexical retrieval by increasing the activation of the phonological representation of words [24]. The well-known PCA treatment protocol, developed by Leonard, et al. [20], is well described and allows for reproducibility of results. Previous behavioral studies with PCA have established the treatment's efficacy for trained items [19,20,23,25-28] and untrained items [20,23,25]. Neuroimaging studies have also demonstrated that the PCA protocol induces neuroplasticity in persons with aphasia [22,29,30]. However, PCA has never been studied in French, and the effect of PCA on whole-brain functional connectivity remains unknown.

Functional connectivity (FC) is a recent tool available to researchers to investigate the language network's functional reorganization and, more specifically, the therapy-induced neuroplasticity. Traditionally, to study language networks, research paradigms employ task-based fMRI. However, performance during scan has been repeatedly mentioned as an important confounding factor with persons with aphasia [31,32]. More recently, resting-state functional magnetic resonance imaging (rs-fMRI) has been used to study language networks in persons with aphasia (see Klingbeil, *et al.* [33] for review) and, more specifically, to explore therapy-induced neuroplasticity [34-38]. rs-fMRI has the advantage of creating a less stressful acquisition for the person with aphasia, being more easily reproduced in the clinical setting and not requiring the person with aphasia to accomplish a task during the acquisition [33,39]. To the best of our knowledge, only 3 previous studies report neuroimaging data following PCA therapy [20,27,36]. Marcotte, et al. [22] compared FC

changes after intensive PCA versus standard protocol administered to 2 participants. The improvements after intensive PCA were associated with decreased activations (right posterior cingulate gyrus, left precentral gyrus, left MFG) conjointly with increased activations (right caudate nucleus, left MFG), whereas the standard PCA protocol did not yield significant naming improvements. Rochon, et al. [29] reported behavioral improvements associated with greater LH than RH processing and greater perilesional activity. From a segregative perspective, these findings are informative regarding activation therapy-induced neuroplasticity. However, a more integrative perspective that considers that the language is implemented in widely distributed and functionally integrated large-scale networks and allows identifying post-therapy changes and network reorganization is lacking [31]. To the best of our knowledge, the only study on resting-state functional connectivity (rsFC) changes following PCA is reported by van Hees, et al. [38] using an amplitude of low-frequency fluctuations (ALFF) method. The results showed that ALFF values in the right and left MTG, the right IFG, the left SMG are significantly correlated with PCA improvement. The ALFF method informs of local properties of the BOLD signal, but the neurophysiological basis of this measure remains poorly understood [31].

This study aims to use this well-established specific naming therapy; namely, PCA delivered in French (Fr-PCA), to better understand the brain connectivity changes associated with therapy-induced recovery. Specifically, we investigate the rsFC modifications after Fr-PCA. In this exploratory study, a whole-brain ROI-to-ROI analysis is performed to identify rsFC changes within and beyond the well-known language network. It is hypothesized that participants will improve in naming following Fr-PCA therapy and that the underlying processes for therapy will influence the rsFC. We investigate functional connections between separate brain regions (region of interest (ROI)-to-ROI). It is expected that following therapy, increased rsFC between ROIs within the language network in the dorsal stream, involved in phonological processing, and ROIs employed for semantic processing reflecting the work with words and pictures associated with meaning will be measured.



## 2. Materials and Methods

### 2.1. Participants

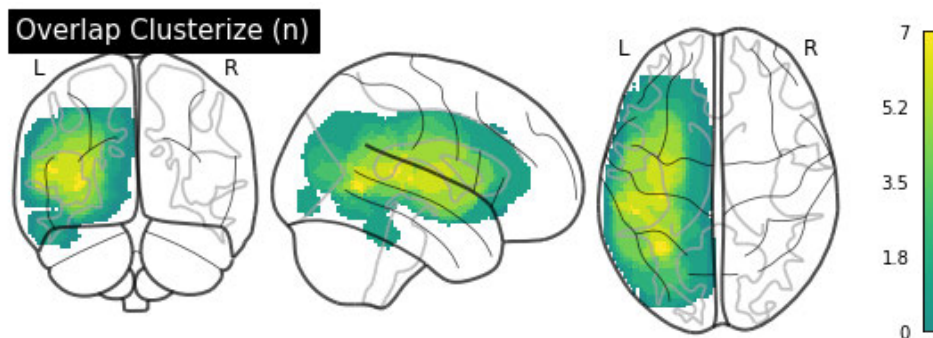
Ten participants with chronic aphasia (3 women, mean age =  $68.9 \pm 10.2$ ) following a single left hemisphere ischemic stroke recruited through local patient association, by referral following discharge from rehabilitation centers in the area and following self-referral are included in this study. Aphasia severity and typology are determined by an experienced speech-language pathologist (SLP; MMT). Inclusion criteria are (1) a single LH ischemic stroke, (2) a diagnosis of aphasia according to the Montreal-Toulouse aphasia battery [40], (3) the presence of anomia according to a standardized naming task [41], or complaint of anomia in everyday life, and (4) being right-handed prior to the stroke [42]. Exclusion criteria are (1) the presence of a neurological or psychiatric diagnosis other than stroke, (2) incompatibility with fMRI testing, or (3) diagnosis of mild cognitive impairment or dementia before stroke [43]. Table 1 contains sociodemographic information of the included participants, and Figure 1 shows their structural magnetic resonance imaging (MRI) results. All participants are francophones and live in the province of Quebec.

**Tableau 1**

*Sociodemographic and clinical data for the participants.*

ID.	Sex	Age	Years of education	Time post-onset (months)	Lesion size (mm <sup>3</sup> )	Aphasia type	Aphasia severity (BDAE scale)	% Noun naming (TDQ60)
PCA1	M	73	8	36	3188	Transcortical motor	4	0.40
PCA2	M	82	15	24	138096	Transcortical mixed	2	0.27
PCA3	M	48	15	22	26833	Transcortical motor	3	0.72
PCA4	W	70	15	41	124217	Global	1	0.02
PCA5	M	60	12	172	223253	Anomic	4	1.00
PCA6	W	72	12	47	95672	Broca	2	0.30
PCA7	M	65	15	57	104924	Anomic	2	0.95
PCA8	W	63	18	11	66573	Broca	2	0.95
PCA9	M	79	20	12	43121	Global	1	0.15
PCA10	M	77	17	11	12874	Anomic	3	0.60

**Figure 1** Participant's lesion distribution in a glass brain. Color coding reflects the number of patients (1–7) with lesion overlap.



## 2.2. Experimental procedure

The experimental protocol is similar to previous studies conducted in our lab [34,44-47]. A baseline evaluation is completed prior to therapy, including a language assessment and an initial fMRI session (T0). Following the baseline evaluation, participants receive 3 one-hour therapy sessions during five weeks from a trained SLP (MMT). A second language evaluation and fMRI session (T1) is performed within a week of the end of therapy. This allows us to identify therapy-induced language changes and neuroplasticity in rsFC.

### 2.2.1. Language assessment

Participants complete a comprehensive battery of language tests before (T0) and after (T1) Fr-PCA therapy (including the *Test de dénomination de Québec-60* (TDQ60) [41] for picture-naming, the *Test de dénomination de verbes lexicaux en images-38* (DVL38) [48] for verb naming, oral comprehension, repetition, and verbal fluency with semantic criteria sub-tasks from the Beta-86 *Montreal-Toulouse* aphasia battery [40], and a narrative discourse sample of the Cinderella story [49,50]).

The tests are administered by an SLP and split into three balanced 2.5-hour assessment sessions allowing to collect three picture-naming baselines. The picture-naming baseline task comprises 270 pictures selected from the Bank of Standardized Stimuli [BOSS; 51] and previously validated among healthy elderly French speakers [52], including various

categories such as fruits, vegetables, clothes, animals, body parts, furniture, and other objects. The baseline picture-naming task, repeated in all three assessment sessions, allows generating two independent lists balanced for frequency, number of phonemes, and syllables [53]. List 1 is composed of 20 items chosen with the participant to be trained in therapy, and list 2 is composed of 40 untrained items (i.e., to measure generalization). Items selected for lists 1 and 2 are named incorrectly (or with a response time greater than 10 seconds) on 2 or 3 baselines.

### 2.2.3. Fr-PCA therapy

Therapy follows the protocol developed by Leonard, et al. [20]; it incorporates cues based on the phonological components of target words. The phonological components **trained** are the *first sound* of the target (Question: "What sound does it start with?"), the *final sound* ("What sound does it end with?"), the *number of syllables* ("How many beats does the word have?"), providing a *first sound associate* ("What other word starts with the same sound?") and a *rhyme* to the target ("What does this rhyme with?"). The PWA is asked to generate the answers to each cue regardless of if the target word is initially found or not; if this is not possible, they can choose between three valid options to promote active participation [54]. Participants received Fr-PCA using the items on list 1 (see above), for a total of 15 one-hour sessions, with a frequency of three sessions per week for a total of five weeks starting immediately after the assessment. According to the participant's pace and tolerance, all items on list 1 are repeated 1 to 4 times during the session. Fr-PCA is presented on a laptop and coded into a python program allowing for automatic randomization of items from session to session and online scoring for correct answers. The SLP controls the therapy display on the laptop and gives appropriate feedback during the therapy.

Fr-PCA follows principles of neuroplasticity induced by experience introduced by Kleim and Jones [55] and adapted to treatment of stroke-induced aphasia by Kiran and Thompson [8], such as specificity of the strategy used (phonological cue generation), salience (by involving

the participants in choosing the words to be trained), repetition and intensity, promoting generalization and using complexity to promote learning.

#### 2.2.4. Outcome measures

The primary outcome measure is the accuracy of confrontation naming on the therapy list (list 1). Picture-naming is recorded pre-, and post-therapy (T0 and T1) without any cues nor feedback. Correct answers are scored (1), and incorrect answers or answer latency superior to 10 seconds [56], were scored 0.

Secondary outcome measures were the accuracy of confrontation naming on the untrained list (list 2) and standardized language tests.

### 2.3. Data Acquisition and Preprocessing

#### 2.3.1. Functional neuroimaging parameters

Images are acquired using a 3 T MRI Siemens Trio scanner updated to Prisma Fit with a standard 32-channel head coil during data collection. The image sequence is a T2\*-weighted pulse sequence (184 volumes; TR = 2200 ms; TE = 30 ms; matrix = 64 × 64 voxels; FOV = 210 mm; flip angle = 90°; slice thickness = 3 mm; acquisition = 36 slides in the axial plane with a distance factor of 25% to scan the whole brain. A high-resolution structural image is obtained using a 3D T1-weighted imaging sequence using an MP-RAGE (TFE) sequence (TR = 2300 ms; TE = 2.98 ms; 192 slices; matrix = 256 × 256mm; voxel size = 1 × 1 × 1 mm; FOV = 256 mm).

#### 2.3.2. Resting-state acquisitions

During the resting-state acquisition that lasted 6:44 minutes, participants lay supine on the MRI scanner bed with their head stabilized. A black screen with a white point is presented. The participants are instructed to look at this point, relax and remain still and awake.

#### 2.3.3. Preprocessing

Data preprocessing is performed using SPM12 (Wellcome Trust Centre for Neuroimaging) implemented in MATLAB (version R2016a, MathWorks, Natick, MA, USA). The first five volumes are discarded as dummy scans. Images are slice-time corrected with reference to the acquisition time of the middle slice and motion-corrected with 12 motion parameters realignment to the first volume. Outliers are detected using ART ([http://www.nitrc.org/projects/artifact\\_detect](http://www.nitrc.org/projects/artifact_detect), accessed on 6 September 2016) and defined as volumes with realignment parameters >2 mm and 2 degrees, or with signal intensity changes >4 times the standard deviations, parameters suggested as liberal settings [57] and used in several recent studies [34,58-60]. The T1 structural volume is co-registered and segmented into gray matter, white matter, and cerebrospinal fluid (CSF). Due to extensive lesions altering anatomical data processing, the spatial normalization into the MNI space is estimated from the functional data using an EPI template, with the SPM12 default values (affine regularization with ICBM/MNI space template; nonlinear frequency cutoff: 25; nonlinear iterations: 16; nonlinear regularization: 1). Images are resampled at  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  using a 4th-degree B-Spline interpolation. The anatomical data are spatially normalized using the same deformation parameters. The normalized volumes are visually checked with the implemented quality assurance tool, based on slices display with MNI boundaries, to prevent abnormal results (Figure S1). Since the signal of interest is considered to belong to the gray matter, the white matter, CSF, realignment, and scrubbing parameters are used as confounders for nuisance regression, with linear detrending. The lesions are segmented as CSF and regressed out. A band-pass filter (0.008 Hz–0.09 Hz) is applied.

## *2.4. Data analysis*

### *2.4.1. Behavioral responses to therapy*

Statistical analyses are performed using SPSS 26. The effect of Fr-PCA is measured using a Wilcoxon signed-rank test at the group level to compare the accuracy on the trained items (list 1) and the untrained items (list 2) at baseline (T0) and post-therapy (T1). The Wilcoxon signed-rank test is preferred as this non-parametrical test is appropriate for a repeated

measure design. Effect size is calculated with  $r = Z/\sqrt{N}$  [61] where  $\sim 0.1$  is considered a small effect,  $\sim 0.3$  an average effect, and  $\sim 0.5$  a big effect [62].

#### 2.4.2. Functional connectivity analysis

Resting-state functional connectivity analysis is performed using the CONN functional connectivity toolbox (v.18.b, <http://www.nitrc.org/projects/conn>, accessed on January 29<sup>th</sup> 2021, [63]). A ROI-to-ROI analysis is conducted by computing the Fisher-transformed bivariate correlation coefficients between the time-series of each pair of ROIs. The bivariate correlation is preferred to facilitate comparing results throughout studies in the field in the future [34,60]. The whole brain is parcellated into 132 structurally homogenous ROIs, per the FSL Harvard-Oxford atlas for the gray matter and subcortical regions. One-hundred-and-six ROIs are selected in the CONN atlas (91 cortical and 15 subcortical ROIs from Harvard-Oxford Atlas) and used to conduct a ROI-to-ROI analysis, creating a  $106 \times 106$  FC matrix. ROIs from cortical and subcortical atlases were included in the analysis as core areas in the language processing network are located in these regions. Without minimizing the involvement of the cerebellum in language processing, and more specifically phonological processing, the methodological decision to focus the analysis on cortical and subcortical areas was made. Functional connectivity is assessed, considering significant connection values for  $p$ -FDR corrected  $< 0.05$ . In the second-level analysis performed in CONN, a paired  $t$ -test is completed between pre-therapy and post-therapy connectivity matrices (post  $>$  pre,  $p$ -FDR corrected  $< 0.05$ ). To assess the effect of initial aphasia severity on therapy-induced rsFC changes, a linear regression analysis is conducted with the initial BDAE aphasia severity score as regressor, where 1 is very severe aphasia, and 5 is mild aphasia.

Furthermore, to investigate the link between rsFC changes and naming improvements after therapy, a Spearman's correlation analyses between ROI-to-ROI (R2R) rsFC changes (found significant in the main analyses), and the improvements on trained and untrained items.

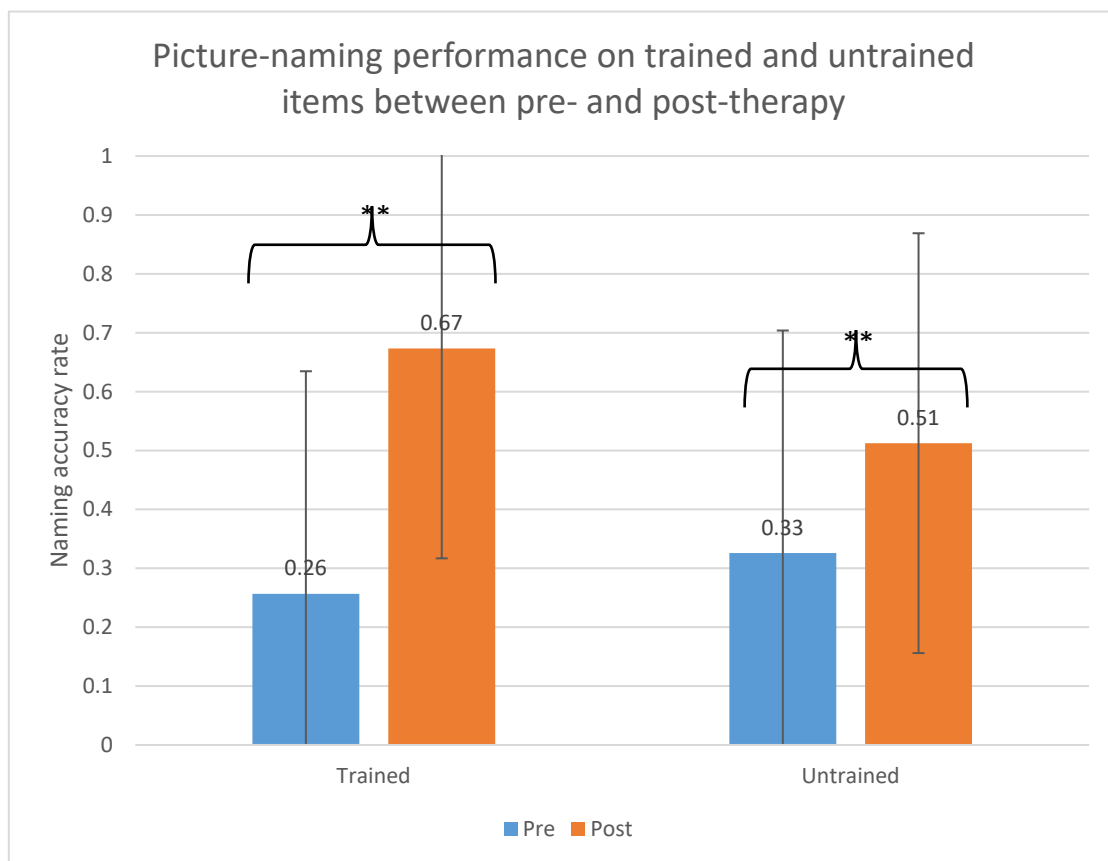
### 3. Results

#### 3.1. Behavioural results

At the group level, Fr-PCA leads to significant improvement on trained items ( $W(10) = 55.0$ ,  $Z = 2.805$ ,  $p = 0.005$ ,  $r = 0.89$ ) and untrained ( $W(10) = 55.0$ ,  $Z = 2.807$ ,  $p = 0.005$ ,  $r = 0.89$ ). As shown in Figure 2, the mean improvement is  $42\% \pm 25$  for the trained items and  $19\% \pm 15$  for the untrained items. Table A1 in the appendix shows the performance for each participant on the language tests.

**Figure 2**

*Picture-naming performance on trained and untrained items pre-therapy and post-therapy.*



#### 3.2. Functional connectivity results

##### 3.2.1. Therapy-induced rsFC changes

Following Fr-PCA therapy, significant changes in rsFC are observed, statistical values are shown in Table 2. Namely, the anterior division of the left temporal fusiform cortex is more

functionally connected to the supracalcarine (SCC) cortex bilaterally. Furthermore, the left SCC cortex is more functionally connected with the anterior division of the left inferior temporal gyrus. Finally, the lingual gyrus is less functionally connected with the superior frontal gyrus in the RH.

**Tableau 2**

*Functional connectivity changes following Fr-PCA therapy.*

Region A	Region B	T(9)	p-FDR
ant. Temporal Fusiform Cortex L	Supracalcarine Cortex L	7.20	0.0053
	Supracalcarine Cortex R	4.83	0.0488
Supracalcarine Cortex L	ant. Inferior Temporal Gyrus L	5.07	0.0443
Lingual Gyrus R	Superior Frontal Gyrus R	-5.73	0.0298

An effect of the initial aphasia severity on Fr-PCA therapy-induced rsFC changes is observed between the posterior division of the left temporal fusiform cortex and both the anterior division of the right superior temporal gyrus and the right insular cortex: the milder the aphasia, the greater the increase of functional connectivity between these regions. There is also an effect on the functional connectivity between the right frontal operculum cortex and the right pallidum. Statistical values are shown in Table 3.

**Tableau 3**

*Functional connectivity changes following Fr-PCA therapy with initial aphasia severity as a regressor.*

Region A	Region B	T(8)	p-FDR	R <sup>2</sup>
post. Temporal Fusiform Cortex L	ant. Superior temporal gyrus R	10.82	0.0005	0.94
	Insular cortex R	5.23	0.0413	0.77
Frontal operculum cortex R	Pallidum R	9.24	0.0016	0.91

**3.3 Correlations between rsFC changes and naming improvements following therapy**

A Spearman's correlation was performed between individual beta values for the significant rsFC changes identified and the improvements for trained and untrained items. Within the group of 10 participants with aphasia, no significant correlation is found between the rsFC changes and the main language outcome measures.



## 4. Discussion

The purpose of this study was to investigate therapy-induced naming improvement following Fr-PCA in persons with chronic aphasia while examining rsFC modifications. This is the first study to measure the efficacy of PCA in French, together with related rsFC changes. Ten participants with aphasia participated in this study; all of them were in the chronic phase and presented post-stroke aphasia characterized by anomia.

In line with previous literature on PCA in English [19,20,22,25-30], the results of this study show a significant improvement on trained items and a generalization of therapy effects to untrained items in French. Changes were also observed at the neurofunctional level. More specifically, there was an increased rsFC measured between ROIs known to support language processing and visual processing. Furthermore, a decrease in FC was observed between ROIs in the RH, particularly in the visual network and homolog areas to the language network. As participants are in the chronic stage of aphasia, spontaneous cerebral reorganization is unexpected. It is to be noted that there was no statistically significant correlation between the rsFC changes and behavioral improvements on the trained and untrained items. Nonetheless, these results support using rsFC to measure therapy-induced neuroplasticity in participants with aphasia and will be discussed in detail below.

All the participants in the present study benefitted from Fr-PCA, a specific therapy protocol targeting naming recovery in aphasia by explicitly training the generation of phonological cues using picture stimuli and written supports. The goal following Fr-PCA is to strengthen the links between the semantic concepts and their phonological representations and enable the persons with aphasia to self-cue themselves. Previous studies have also shown that phonological cues are more beneficial to improve naming in persons with aphasia presenting variable anomia breakdown locus, i.e., showing either more semantic or phonological errors, when compared to semantic cues [28,64]. For the ten participants in this study, it could contribute to explain why, even if they presented variable anomia breakdown loci, they all benefitted from FR-PCA. Also, as per previous work in our lab [34,44-

47] and following the original protocol [20], frequency and dosage (3 times per week for 5 weeks total, approximately 60 min sessions) ensure the feasibility of Fr-PCA in the clinical practice in Quebec. Moreover, these therapy variables correspond to optimal variable ranges in terms of minutes per session [65,66], the number of sessions weekly [65,66] and cumulative dosage [66] reported in previous studies on naming therapies that improve naming performance in persons with aphasia.

Furthermore, in the Fr-PCA therapy protocol, when participants are unable to generate the cues themselves, three valid options are given to them so they can choose one, which contributes to active participation and engagement in the therapy process, two factors previously demonstrated to promote recovery effectively [67]. Another interesting feature of the Fr-PCA is the meaningfulness of words included in the training list for the person with aphasia. Indeed, among the words incorrectly named pre-therapy, the person chooses the most significant ones to be included in the therapy. This is in line with the principles of neuroplasticity adapted to the treatment of stroke-induced aphasia [8,55] which encourage clinicians to use salient therapy material. The results of this study indicate that the Fr-PCA protocol is a reproducible therapy protocol and opens a window into the study of mechanisms of neuroplasticity induced by Fr-PCA.

As mentioned previously, to the best of our knowledge, only 3 previous studies report neuroimaging data following PCA therapy [20,27,36]. Regarding the FC changes found in Marcotte, et al. [22] and Rochon, et al. [29], no common changes were found in our study. However, it could be related to the fact that the perspective is different (segregative versus integrative), making it difficult to reconcile the different results obtained. Furthermore, our results differ from van Hees, et al. [38]. This may be due to the method used. van Hees, et al. [38] performed an ALFF analysis within a mask of LH language-related regions and their RH homologs. In contrast, analyses in the present study were performed with a whole-brain ROI-to-ROI method allowing to identify rsFC changes within and beyond the well-known language network.

Specifically, following Fr-PCA, functional connectivity changes between ROIs in the visual and language processing networks are observed. Increased rsFC is found between the anterior division of the left temporal fusiform cortex (BA20) and the SCC (BA17) bilaterally. Also, there is increased connectivity between the left SCC and the anterior division of the left ITG (BA20). BA20 has been previously linked to lexico-semantic processing for written words [68], to language production [69] and described as a potential language association area by Ardila, *et al.* [70]. The written phonological cues, as well as the use of pictures in the Fr-PCA, may have contributed to the increased FC between these networks.

Enhanced functional connectivity in the LH was expected following therapy. Thus, it is well accepted that undamaged LH ROIs are key components of the network engaged in language recovery [7]. Although Fr-PCA promotes phonological strategies, no changes in functional connectivity between ROIs in the dorsal stream of the language network are observed. This observation is in line with a recent meta-analysis on treatment-related brain changes in aphasia; Schevenels, *et al.* [71] discuss how phonological therapies induce neurofunctional changes beyond regions typically associated with phonological processing such as the SCC. Also, the location of treatment-related changes does not clearly depend on the type of language processing targeted [71]. Furthermore, it has previously been pointed out that picture-stimuli are used in the PCA protocol, thus incorporating a semantic component [20]. Therefore, there is a possibility that this semantic factor, along with the fact that the protocol requires that all generated cues be written on the therapy board, may have induced increased connectivity between semantic and visual networks allowing them to work in a more efficient matter.

Furthermore, going in the same direction as theories regarding maladaptive effects of RH recruitment on language function following aphasia [8,14-16], the results of this work show that naming recovery following Fr-PCA happened concomitantly with a decreased RH functional connectivity between visual (lingual gyrus, BA18) and semantic (SFG, BA8-9) networks [7]. Given the role of these ROIs in phonological processing, this finding might reflect the contribution of Fr-PCA in changing the language processing networks [7], with

enhanced connectivity shifting back to the LH, concurrently with behavioral improvements measured. Specifically, the lingual gyrus – known as the secondary visual cortex - is activated following PCA, and particularly during a phonological judgment task [29], while the SFG supports phonological processing [72], and is considered a domain-general area recruited in support to the damaged network [7].

Interestingly, when looking at the effect of the initial severity of aphasia on the changes in rsFC following Fr-PCA, interhemispheric and RH increases in rsFC are observed with milder pre-therapy aphasia. In line with previous research, it could have been expected that milder aphasia would have recruited more ROIs in the spared LH [73]. However, more recently, Kiran and Thompson [8] identified an extended language processing network containing bilateral regions included in the traditional language network and domain-general areas. Hence, the increased connectivity found in milder aphasia between the spared LH language network (posterior division of the left temporal fusiform cortex, BA20) and contralateral ROIs involved in language processing (anterior division of the right STG (BA22) and the salience network (right insular cortex, BA13) is in line with previous works showing the role of the insula in phonological therapy efficacy [74]. Further studies could compare these results with healthy elderly controls, as this could represent a normalization of a more distributed language network. Increased functional connectivity was also observed between the right frontal operculum (BA45) – associated with speech, intonation, and music production [75] – and the right pallidum. Furthermore, the right frontal operculum sustains proper performance of multiple receptive and expressive auditory abilities, which are also put into play in the context of Fr-PCA [74]. Finally, these findings are in line with a recent meta-analysis on treatment-related brain changes in aphasia showing that language recovery is not only associated with traditional language-related areas (in the left and right hemisphere) but also with more medial and subcortical areas [71]. In particular, the basal ganglia have also been reported to sustain recovery following phonological therapy [71]. Although the investigation of the potential role of lesion load on the post-therapy functional connectivity changes is beyond the scope of this paper, it is likely that lesion load can

potentially account for some of the effects of aphasia severity on the changes of functional connectivity.

It is important to recognize that no correlation between the changes in rsFC and the improvements on naming trained and untrained items emerged from the results. Upon observing the data more closely, the lack of significant correlation seems to emerge from variable aphasia profiles, despite an effort to have a homogeneous group. Still, considering that over 5 weeks, healthy elderly controls demonstrated stable rsFC [34] and that in chronic persons with aphasia, without interventions, brain activity remains stable [76], it is reasonable to believe that the changes observed in these results could be the result of the Fr-PCA intervention. Further research is needed, however, to confirm this presumption.

This is the first study investigating functional connectivity changes following Fr-PCA using a set of validated stimuli in French, and applying Fr-PCA in participants with chronic aphasia. Although a group of 10 participants could be considered as a small, it represents the biggest number of participants compared to previous studies investigating the effect of PCA [19,20,22,30] (equal to [23]) and more or equal than 25 out of the 32 studies included in the meta-analysis studying therapy-induced brain changes [71]. Moreover, the absence of a control group is acknowledged by the authors. In a previous publication, it was shown with a group of healthy elderly controls that after a period of 5 weeks, there were no spontaneous rsFC changes [34]. However, considering that the reported changes are concomitant with positive therapy effects, we are confident that these changes reflect Fr-PCA induced neuroplasticity in rsFC because all ten participants were in chronic phase, receiving no other therapy, language or other, than Fr-PCA and none of them changed any of their habits during the study. Indeed, it has been previously shown that persons with chronic aphasia show stable cortical activity in repeated fMRI sessions without therapy, which was not the case in this study [76]. Future studies will provide further indications for a better understanding of rsFC changes induced by specific therapy aiming to improve language and communication in aphasia. Semi partial correlations should be investigated in further studies with larger groups.

Employing rsFC within a clinical population such as persons with aphasia is not without its challenges. In this paper, the authors wish to disclose two limitations from the rs-fMRI data preprocessing. First, regarding the outlier detection, although the parameters used are commonly applied in the clinical studies [34,58-60], using liberal settings leads to higher frame-wise displacement values, which can have an impact on the results. Second, the lesion was segmented and regressed out as CSF. Previous studies have outlined that additional preprocessing steps might be necessary to remove potential artifacts from the lesion during rsFC analysis [77]. In this case, however, the impact on the results seems minimal as the areas involved in significant changes in rsFC are far from the lesion location. Furthermore, as this study is a pre-, post-therapy design with participants in the chronic stage, it is fair to believe that the signal would not change at both acquisition times within the necrotic tissue. Thus, because the participants are compared with themselves, this would not vary and limit the effect on analysis.

**Author Contributions:** Conceptualization, MMT, and AIA; methodology, MMT and AIA; formal analysis, MMT, AS; investigation, MMT; data curation, MMT; writing—original draft preparation, MMT; writing—review and editing, ED, AS, and AIA; supervision, AIA; funding acquisition, AIA. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research was funded by the Canadian Institutes of Health Research, grant number MOP 137031. MMT received a Ph.D. scholarship from the Canadian Institutes of Health Research, grant number GSD 164193.

**Institutional Review Board Statement:** The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the Ethics Committee of the Regroupement de Neuroimagerie Québec (CMER-RNQ 15-16-02).

**Informed Consent Statement:** Informed consent was obtained from all subjects involved in the study. Written informed consent has been obtained from the patient(s) to publish this paper.

**Data Availability Statement:** The data presented in this study are available on request from the corresponding author. The data are not publicly available due to legal issues.

**Acknowledgments:** The authors would like to thank the participants for their time, effort and motivation in participating in this study.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

**Tableau 4**

Appendix A. Standardized language test scores at T0 and T1 for all participants

	PCA1		PCA2		PCA3		PCA4		PCA5		PCA6		PCA7		PCA8		PCA9		PCA10		
	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post	
<b>TQD60</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>variation</b>	11.93	5.29	19.09	16.39	12.49	7.84	25.85	18.19	0.73	0.73	14.15	6.03	0.63	0.18	0.63	0.73	22.25	21.80	10.09	5.13	
	6.64		2.70		4.65		7.66		0.00		8.12		0.45		1.35		0.45		4.95		
<b>DVL38</b>	0.37	0.45	-5.79	-4.68	-0.04	0.10	-5.68	-3.02	0.05	0.60	-8.34	6.63	1.07	0.32	0.21	0.21	-6.63	-4.68	-0.70	0.05	
<b>variation</b>	0.08		1.11		0.14		2.66		0.56		1.71		1.39		0.00		1.95		0.65		
<b>Oral Comp.</b>	-4.60	3.32	-5.30	-7.58	-4.54	5.08	-9.86	-8.95	3.56	3.56	10.78	7.12	3.56	4.06	5.05	4.06	-9.86	10.32	-3.93	3.01	
<b>Variation</b>	1.28		-2.28		-0.54		0.91		0.00		3.65		-0.50		0.99		-0.46		0.91		
<b>Repetition</b>	1.23	1.23	1.23	1.23	0.70	0.70	27.89	24.98	0.70	0.70	-2.65	0.71	0.70	0.70	2.33	0.82	27.89	17.21	1.23	1.23	
<b>variation</b>	0.00		0.00		0.00		2.91		0.00		1.94		0.00		1.52		10.68		0.00		
<b>Verbal</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>fluency</b>	-3.83	2.21	-3.68	-3.13	-4.52	4.52	-4.23	-3.50	0.43	0.27	-3.86	3.50	2.21	1.40	1.72	0.92	-2.95	-2.95	-2.21	2.03	
<b>variation</b>	1.62		0.55		0.00		0.73		0.16		0.37		0.81		0.81		0.00		0.18		



## References

1. Simmons-Mackie, N. *White paper: Frequency and demographics*; 2017.
2. Lam, J.M.; Wodchis, W.P. The relationship of 60 disease diagnoses and 15 conditions to preference-based health-related quality of life in Ontario hospital-based long-term care residents. *Med Care* **2010**, *48*, 380-387, doi:10.1097/MLR.0b013e3181ca2647.
3. Kauhanen, M.L.; Korpelainen, J.T.; Hiltunen, P.; Määttä, R.; Mononen, H.; Brusin, E.; Sotaniemi, K.A.; Myllylä, V.V. Aphasia, Depression, and Non-Verbal Cognitive Impairment in Ischaemic Stroke. *Cerebrovascular Diseases* **2000**, *10*, 455-461, doi:10.1159/000016107.
4. Brady, M.C.; Kelly, H.; Godwin, J.; Enderby, P.; Campbell, P. Speech and language therapy for aphasia following stroke. *Cochrane Database Syst Rev* **2016**, CD000425, doi:10.1002/14651858.CD000425.pub4.
5. Benghanem, S.; Rosso, C.; Arbizu, C.; Moulton, E.; Dormont, D.; Leger, A.; Pires, C.; Samson, Y. Aphasia outcome: the interactions between initial severity, lesion size and location. *J Neurol* **2019**, *266*, 1303-1309, doi:10.1007/s00415-019-09259-3.
6. Lazar, R.M.; Minzer, B.; Antoniello, D.; Festa, J.R.; Krakauer, J.W.; Marshall, R.S. Improvement in Aphasia Scores After Stroke Is Well Predicted by Initial Severity. *Stroke* **2010**, *41*, 1485-1488, doi:10.1161/strokeaha.109.577338.
7. Kiran, S.; Meier, E.L.; Johnson, J.P. Neuroplasticity in Aphasia: A Proposed Framework of Language Recovery. *J Speech Lang Hear Res* **2019**, *62*, 3973-3985, doi:10.1044/2019\_JSLHR-L-RSNP-19-0054.
8. Kiran, S.; Thompson, C.K. Neuroplasticity of Language Networks in Aphasia: Advances, Updates, and Future Challenges. *Front Neurol* **2019**, *10*, 295, doi:10.3389/fneur.2019.00295.
9. Kiran, S. What is the nature of poststroke language recovery and reorganization? *ISRN Neurol* **2012**, *2012*, 786872, doi:10.5402/2012/786872.
10. Hickok, G.; Poeppel, D. The cortical organization of speech processing. *Nat Rev Neurosci* **2007**, *8*, 393-402, doi:10.1038/nrn2113.
11. Saur, D.; Kreher, B.W.; Schnell, S.; Kummerer, D.; Kellmeyer, P.; Vry, M.S.; Umarova, R.; Musso, M.; Glauche, V.; Abel, S.; et al. Ventral and dorsal pathways for language. *Proc Natl Acad Sci U S A* **2008**, *105*, 18035-18040, doi:10.1073/pnas.0805234105.
12. Friederici, A.D. White-matter pathways for speech and language processing. *Handb Clin Neurol* **2015**, *129*, 177-186, doi:10.1016/B978-0-444-62630-1.00010-X.
13. Price, C.J. A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *Neuroimage* **2012**, *62*, 816-847, doi:10.1016/j.neuroimage.2012.04.062.

14. Saur, D.; Lange, R.; Baumgaertner, A.; Schraknepper, V.; Willmes, K.; Rijntjes, M.; Weiller, C. Dynamics of language reorganization after stroke. *Brain* **2006**, *129*, 1371-1384, doi:10.1093/brain/awl090.
15. Anglade, C.; Thiel, A.; Ansaldo, A.I. The complementary role of the cerebral hemispheres in recovery from aphasia after stroke: a critical review of literature. *Brain Inj* **2014**, *28*, 138-145, doi:10.3109/02699052.2013.859734.
16. Watila, M.M.; Balarabe, S.A. Factors predicting post-stroke aphasia recovery. *J Neurol Sci* **2015**, *352*, 12-18, doi:10.1016/j.jns.2015.03.020.
17. Boyle, M. Semantic feature analysis treatment for anomia in two fluent aphasia syndromes. *American Journal of Speech-Language Pathology* **2004**, *13*, 236-249, doi:10.1044/1058-0360(2004/025).
18. Boyle, M.; Coelho, C.A. Application of Semantic Feature Analysis as a Treatment for Aphasic Dysnomia. *American Journal of Speech-Language Pathology* **1995**, *4*, 94-98, doi:10.1044/1058-0360.0404.94.
19. Kristensson, J.; Saldert, C. Naming of Objects and Actions after Treatment with Phonological Components Analysis in Aphasia. *Clinical Archives of Communication Disorders* **2018**, *3*, 137-150, doi:10.21849/cacd.2018.00367.
20. Leonard, C.; Rochon, E.; Laird, L. Treating naming impairments in aphasia: Findings from a phonological components analysis treatment. *Aphasiology* **2008**, *22*, 923-947, doi:doi.org/10.1080/02687030701831474.
21. Madden, E.; Robinson, R.; Kendall, D. Phonological Treatment Approaches for Spoken Word Production in Aphasia. *Semin Speech Lang* **2017**, *38*, 62-74, doi:10.1055/s-0036-1597258.
22. Marcotte, K.; Laird, L.; Bitan, T.; Meltzer, J.A.; Graham, S.J.; Leonard, C.; Rochon, E. Therapy-Induced Neuroplasticity in Chronic Aphasia After Phonological Component Analysis: A Matter of Intensity. *Front Neurol* **2018**, *9*, 225, doi:10.3389/fneur.2018.00225.
23. Simic, T.; Leonard, C.; Laird, L.; Stewart, S.; Rochon, E. The effects of intensity on a phonological treatment for anomia in post-stroke aphasia. *J Commun Disord* **2021**, *93*, 106125, doi:10.1016/j.jcomdis.2021.106125.
24. Goldrick, M.; Rapp, B. A restricted interaction account (RIA) of spoken word production: The best of both worlds. *Aphasiology* **2002**, *16*, 20-55, doi:10.1080/02687040143000203.
25. Simic, T.; Chambers, C.; Bitan, T.; Stewart, S.; Goldberg, D.; Laird, L.; Leonard, C.; Rochon, E. Mechanisms underlying anomia treatment outcomes. *J Commun Disord* **2020**, *88*, 106048, doi:10.1016/j.jcomdis.2020.106048.
26. Bose, A. Phonological therapy in jargon aphasia: Effects on naming and neologisms. *International Journal of Language & Communication Disorders* **2013**, *48*, 582-595, doi:10.1111/1460-6984.12038.

27. Haentjens, K.; Auclair-Ouellet, N. Naming gains and within-intervention progression following semantic feature analysis (SFA) and phonological components analysis (PCA) in adults with chronic post-stroke aphasia. *Aphasiology* **2020**, 1-24, doi:10.1080/02687038.2020.1763908.
28. van Hees, S.; Angwin, A.; McMahon, K.; Copland, D. A comparison of semantic feature analysis and phonological components analysis for the treatment of naming impairments in aphasia. *Neuropsychological rehabilitation* **2013**, 23, 102-132, doi:10.1080/09602011.2012.726201.
29. Rochon, E.; Leonard, C.; Burianova, H.; Laird, L.; Soros, P.; Graham, S.; Grady, C. Neural changes after phonological treatment for anomia: An fMRI study. *Brain and language* **2010**, 114, 164-179.
30. Van Hees, S.; McMahon, K.; Angwin, A.; De Zubicaray, G.; Copland, D.A. Neural activity associated with semantic versus phonological anomia treatments in aphasia. **2014**, 129, 47-57, doi:10.1016/j.bandl.2013.12.004.
31. Wilson, S.M.; Schneck, S.M. Neuroplasticity in post-stroke aphasia: A systematic review and meta-analysis of functional imaging studies of reorganization of language processing. *Neurobiol Lang (Camb)* **2021**, 2, 22-82, doi:10.1162/nol\_a\_00025.
32. Geranmayeh, F.; Brownsett, S.L.; Wise, R.J. Task-induced brain activity in aphasic stroke patients: what is driving recovery? *Brain* **2014**, 137, 2632-2648.
33. Klingbeil, J.; Wawrzyniak, M.; Stockert, A.; Saur, D. Resting-state functional connectivity: An emerging method for the study of language networks in post-stroke aphasia. *Brain and Cognition* **2019**, doi:10.1016/j.bandc.2017.08.005.
34. Durand, E.; Masson-Trottier, M.; Sontheimer, A.; Ansaldo, A.I. Increased links between language and motor areas: A proof-of-concept study on resting-state functional connectivity following Personalized Observation, Execution and Mental imagery therapy in chronic aphasia. *Brain and Cognition* **2021**, 148, 105659, doi:10.1016/j.bandc.2020.105659.
35. Duncan, E.S.; Small, S.L. Changes in dynamic resting state network connectivity following aphasia therapy. *Brain Imaging Behav* **2018**, 12, 1141-1149, doi:10.1007/s11682-017-9771-2.
36. Gili, T.; Fiori, V.; De Pasquale, G.; Sabatini, U.; Caltagirone, C.; Marangolo, P. Right sensory-motor functional networks subserve action observation therapy in aphasia. *Brain Imaging Behav* **2017**, 11, 1397-1411, doi:10.1007/s11682-016-9635-1.
37. Marangolo, P.; Fiori, V.; Sabatini, U.; De Pasquale, G.; Razzano, C.; Caltagirone, C.; Gili, T. Bilateral Transcranial Direct Current Stimulation Language Treatment Enhances Functional Connectivity in the Left Hemisphere: Preliminary Data from Aphasia. *J Cogn Neurosci* **2016**, 28, 724-738, doi:10.1162/jocn\_a\_00927.
38. van Hees, S.; McMahon, K.; Angwin, A.; de Zubicaray, G.; Read, S.; Copland, D.A. A functional MRI study of the relationship between naming treatment outcomes and resting state

functional connectivity in post-stroke aphasia. *Human Brain Mapping* **2014**, *35*, 3919-3931, doi:10.1002/hbm.22448.

39. Durand, E. Développement d'une nouvelle thérapie ciblant l'anomie des verbes d'action Validation comportementale et exploration des corrélats neurofonctionnels de ses effets dans les cas d'aphasie. Thesis, Université de Montréal, 2019.

40. Nespoulous, J.L.; Lecours, A.R.; Lafond, D.; Parente, M. Protocole Montréal-Toulouse MT-86 d'examen linguistique de l'aphasie-version Beta. *Laboratoire Théophile-Alajouanine, Montréal* **1986**.

41. Macoir, J.; Beaudoin, C.; Bluteau, J.; Potvin, O.; Wilson, M.A. TDQ-60—a color picture-naming test for adults and elderly people: validation and normalization data. *Aging, Neuropsychology, and Cognition* **2017**, 1-14.

42. Oldfield, R.C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* **1971**, *9*, 97-113.

43. Nasreddine, Z.S.; Phillips, N.A.; Bedirian, V.; Charbonneau, S.; Whitehead, V.; Collin, I.; Cummings, J.L.; Chertkow, H. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *J Am Geriatr Soc* **2005**, *53*, 695-699, doi:10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x.

44. Durand, E.; Berroir, P.; Ansaldo, A.I. The Neural and Behavioral Correlates of Anomia Recovery following Personalized Observation, Execution, and Mental Imagery Therapy: A Proof of Concept. *Neural Plast* **2018**, *2018*, 5943759, doi:10.1155/2018/5943759.

45. Marcotte, K.; Adrover-Roig, D.; Damien, B.; de Preaumont, M.; Genereux, S.; Hubert, M.; Ansaldo, A.I. Therapy-induced neuroplasticity in chronic aphasia. *Neuropsychologia* **2012**, *50*, 1776-1786, doi:10.1016/j.neuropsychologia.2012.04.001.

46. Marcotte, K.; Ansaldo, A.I. The neural correlates of semantic feature analysis in chronic aphasia: discordant patterns according to the etiology. *Semin Speech Lang* **2010**, *31*, 52-63, doi:10.1055/s-0029-1244953.

47. Marcotte, K.; Perlberg, V.; Marrelec, G.; Benali, H.; Ansaldo, A.I. Default-mode network functional connectivity in aphasia: therapy-induced neuroplasticity. *Brain Lang* **2013**, *124*, 45-55, doi:10.1016/j.bandl.2012.11.004.

48. Webster, J.; Whitworth, A.; Morris, J. Is it time to stop "fishing"? A review of generalisation following aphasia intervention. *Aphasiology* **2015**, *29*, 1240-1264, doi:10.1080/02687038.2015.1027169.

49. Richardson, J.D.; Dalton, S.G. Main concepts for three different discourse tasks in a large non-clinical sample. *Aphasiology* **2016**, *30*, 45-73, doi:10.1080/02687038.2015.1057891.

50. Dalton, S.G.; Richardson, J.D. Core-lexicon and main-concept production during picture-sequence description in adults without brain damage and adults with aphasia. *American journal of speech-language pathology* **2015**, *24*, S923-S938.

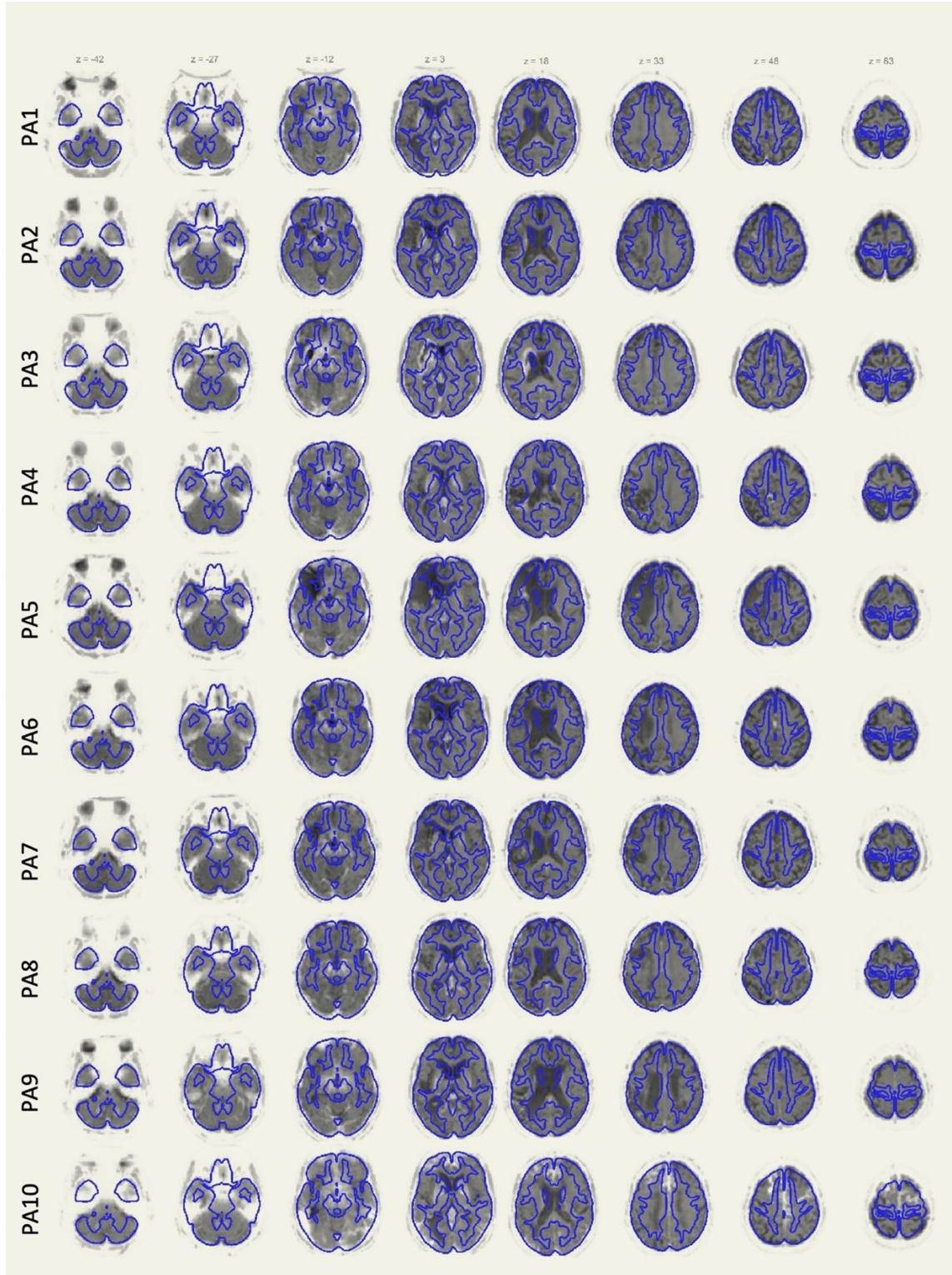
51. Brodeur, M.; Dion-Lessard, G.; Chauret, M.; Dionne-Dostie, E.; Montreuil, T.; Lepage, M. The Bank of Standardized Stimuli (BOSS): a new normative dataset of 480 visual stimuli to be used in visual cognition research. *Journal of Vision* **2011**, *11*, 825-825.
52. Masson-Trottier, M.; Marcotte, K.; Leonard, C.; Rochon, E.; Ansaldo, A.I. Validation de la version francophone de stimuli et indices nécessaires pour l'administration de la thérapie par Analyse des Composantes Phonologiques. In Proceedings of the International Conference on Speech-language Pathology and Audiology, November 14th-15th 2016, Montreal, Canada, November 2016, 2016.
53. New, B.; Pallier, C.; Brysbaert, M.; Ferrand, L. Manuel de Lexique 3. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* **2004**, *36*, 516-524, doi:10.3758/bf03195598
54. Hickin, J.; Best, W.; Herbert, R.; Howard, D.; Osborne, F. Phonological therapy for word-finding difficulties: A re-evaluation. *Aphasiology* **2002**, *16*, 981-999, doi:10.1080/02687030244000509.
55. Kleim, J.A.; Jones, T.A. Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage. *Journal of speech, language, and hearing research* **2008**, *51*, S225-S239, doi:10.1044/1092-4388(2008/018).
56. Evans, W.S.; Hula, W.D.; Quique, Y.; Starns, J.J. How Much Time Do People With Aphasia Need to Respond During Picture Naming? Estimating Optimal Response Time Cutoffs Using a Multinomial Ex-Gaussian Approach. *J Speech Lang Hear Res* **2020**, *63*, 599-614, doi:10.1044/2019\_JSLHR-19-00255.
57. Nieto-Castanon, A. *Handbook of functional connectivity Magnetic Resonance Imaging methods in CONN*; Hilbert Press: 2020.
58. Porcu, M.; Cocco, L.; Puig, J.; Mannelli, L.; Yang, Q.; Suri, J.S.; Defazio, G.; Saba, L. Global Fractional Anisotropy: Effect on Resting-state Neural Activity and Brain Networking in Healthy Participants. *Neuroscience* **2021**, *472*, 103-115, doi:10.1016/j.neuroscience.2021.07.021.
59. Sontheimer, A.; Pontier, B.; Claise, B.; Chassain, C.; Coste, J.; Lemaire, J.-J. Disrupted Pallido-Thalamo-Cortical Functional Connectivity in Chronic Disorders of Consciousness. *Brain Sciences* **2021**, *11*, 356, doi:10.3390/brainsci11030356.
60. Martinez-Molina, N.; Siponkoski, S.T.; Kuusela, L.; Laitinen, S.; Holma, M.; Ahlfors, M.; Jordan-Kilkkki, P.; Ala-Kauhala, K.; Melkas, S.; Pekkola, J.; et al. Resting-State Network Plasticity Induced by Music Therapy after Traumatic Brain Injury. *Neural Plast* **2021**, *2021*, 6682471, doi:10.1155/2021/6682471.
61. Rosenthal, R.; Cooper, H.; Hedges, L. Parametric measures of effect size. *The handbook of research synthesis* **1994**, *621*, 231-244.
62. Fritz, C.O.; Morris, P.E.; Richler, J.J. Effect size estimates: current use, calculations, and interpretation. *J Exp Psychol Gen* **2012**, *141*, 2-18, doi:10.1037/a0024338.

63. Whitfield-Gabrieli, S.; Nieto-Castanon, A. Conn: A Functional Connectivity Toolbox for Correlated and Anticorrelated Brain Networks. *Brain Connectivity* **2012**, *2*, 125-141, doi:10.1089/brain.2012.0073.
64. Meteyard, L.; Bose, A. What Does a Cue Do? Comparing Phonological and Semantic Cues for Picture Naming in Aphasia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* **2018**, *61*, 658-674, doi:10.1044/2017\_JSLHR-L-17-0214.
65. Sze, W.P.; Hameau, S.; Warren, J.; Best, W. Identifying the components of a successful spoken naming therapy: a meta-analysis of word-finding interventions for adults with aphasia. *Aphasiology* **2020**, *35*, 33-72, doi:10.1080/02687038.2020.1781419.
66. Thomas, L.; Lander, L.; Cox, N.; Romani, C. Speech and language therapy for aphasia: parameters and outcomes. *Aphasiology* **2020**, *34*, 603-642, doi:10.1080/02687038.2020.1712588.
67. Leonard, C.; Laird, L.; Burianová, H.; Graham, S.; Grady, C.; Simic, T.; Rochon, E. Behavioural and neural changes after a "choice" therapy for naming deficits in aphasia: preliminary findings. *Aphasiology* **2015**, *29*, 506-525, doi:10.1080/02687038.2014.971099.
68. Ischebeck, A.; Indefrey, P.; Usui, N.; Nose, I.; Hellwig, F.; Taira, M. Reading in a regular orthography: an fMRI study investigating the role of visual familiarity. *J Cogn Neurosci* **2004**, *16*, 727-741, doi:10.1162/089892904970708.
69. Papathanassiou, D.; Etard, O.; Mellet, E.; Zago, L.; Mazoyer, B.; Tzourio-Mazoyer, N. A common language network for comprehension and production: a contribution to the definition of language epicenters with PET. *Neuroimage* **2000**, *11*, 347-357, doi:10.1006/nimg.2000.0546.
70. Ardila, A.; Bernal, B.; Rosselli, M. How Extended Is Wernicke's Area? Meta-Analytic Connectivity Study of BA20 and Integrative Proposal. *Neurosci J* **2016**, *2016*, 4962562, doi:10.1155/2016/4962562.
71. Schevenels, K.; Price, C.J.; Zink, I.; De Smedt, B.; Vandermosten, M. A Review on Treatment-Related Brain Changes in Aphasia. *Neurobiology of Language* **2020**, *1*, 402-433, doi:10.1162/nol\_a\_00019.
72. Salo, E.; Rinne, T.; Salonen, O.; Alho, K. Brain activity during auditory and visual phonological, spatial and simple discrimination tasks. *Brain Res* **2013**, *1496*, 55-69, doi:10.1016/j.brainres.2012.12.013.
73. Heiss, W.D.; Thiel, A. A proposed regional hierarchy in recovery of post-stroke aphasia. *Brain Lang* **2006**, *98*, 118-123, doi:10.1016/j.bandl.2006.02.002.
74. Meyer, M.; Jancke, L. Involvement of the left and right frontal operculum in speech and nonspeech perception and production. *Broca's Region*. **2006**, 218-241, doi:10.1093/acprof:oso/9780195177640.001.0001.

75. Meyer, M.; Steinhauer, K.; Alter, K.; Friederici, A.D.; von Cramon, D.Y. Brain activity varies with modulation of dynamic pitch variance in sentence melody. *Brain and Language* **2004**, *89*, 277-289, doi:10.1016/s0093-934x(03)00350-x.
76. Fridriksson, J.; Morrow-Odom, L.; Moser, D.; Fridriksson, A.; Baylis, G. Neural recruitment associated with anomia treatment in aphasia. *Neuroimage* **2006**, *32*, 1403-1412, doi:10.1016/j.neuroimage.2006.04.194.
77. Yourganov, G.; Fridriksson, J.; Stark, B.; Rorden, C. Removal of artifacts from resting-state fMRI data in stroke. *Neuroimage Clin* **2018**, *17*, 297-305, doi:10.1016/j.nicl.2017.10.027.

**Figure 3**

*Supplementary material. Registration quality comparison for each subject showing co-registered image overlapped to EPI template*





## **Chapitre 5 – Troisième article**

**French Phonological Component Analysis and aphasia recovery: a bilingual perspective on behavioural and structural data.**

***Frontiers in Human Neuroscience, 2022***

Michele Masson-Trottier, Tanya Dash, Pierre Berroir and Ana Inès Ansaldo

Centre de Recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal (CRIUGM),

École d'Orthophonie, Faculté de Médecine, Université de Montréal, Montreal, QC, Canada

## **Abstract**

Studies show bilingualism entails an advantage in cognitive control tasks. There is evidence of a bilingual advantage in the context of aphasia, resulting in better cognitive outcomes and recovery in bilingual persons with aphasia compared to monolingual peers. This bilingual advantage also results in structural changes in the right hemisphere grey matter. Very few studies have examined the so-called bilingual advantage by reference to specific anomia therapy efficacy. This study aims to compare the effect of French-Phonological Component Analysis (Fr-PCA) in monolinguals and bilingual persons with aphasia, both at the linguistic and cognitive control level, and to examine the structural impact of left hemisphere lesion location and right hemisphere structural data. Eight participants with chronic aphasia received FR-PCA for a total of 15 hours over five weeks. The results showed improved accuracy for treated words and generalization to untreated items and discourse in both groups, and improved Flanker task performance for some participants. Bilingual participants improved more than monolinguals for picture-naming tasks and narrative discourse. Damage to the left postcentral gyrus and the middle frontal gyrus was associated with less therapy-induced improvement. Additionally, left hemisphere damage to the inferior parietal gyrus and postcentral gyrus was associated with reduced cognitive control pre-therapy. Undamaged right hemisphere cortical thicknesses were significantly different between groups; the inferior frontal gyrus and the middle frontal gyrus were greater for the bilingual participants and correlated with cognitive control skills. These results suggest a bilingual advantage in anomia recovery following Fr-PCA, potentially resulting from enhanced cognitive control abilities that could be supported by right hemisphere neural reserve.

## **Manuscript Contribution to the Field**

This study investigates the effect of Phonological Component Analysis delivered in French (Fr-PCA) on the linguistic and cognitive profiles of French monolingual and French-English bilingual persons with aphasia (PWA). It also considers individuals' cognitive and linguistic profiles, lesion locations, and cortical thickness in the undamaged hemisphere. Following Fr-PCA, participants demonstrated therapy-induced improvement in treated, untreated, and standardized tests, bPWA showing more improvement in some areas. Furthermore, bPWA performed the cognitive control task more accurately than their monolingual peers in post-therapy assessment. The amount of damage in ROIs in the left hemisphere was related to pre-therapy performance on linguistic and cognitive tasks and therapy outcomes. Finally, cortical thickness in the right hemisphere was higher in bPWA when compared to mPWA in various regions in the frontal lobe. It was also related to the pre-therapy cognitive performance. The structural data in this study allows us to examine the role of damaged and undamaged brain areas in therapy outcomes and its relationship to bilingualism. This study contributes to the literature by showing the impact of bilingualism – pre-morbidly, as structural differences in right hemisphere cortical thickness – and post-morbidly, as bilinguals are more equipped to take advantage of a cognitively loaded therapy (i.e., PCA).

## 1. Introduction

Aphasia is an acquired language disorder following brain injury occurring in over  $\frac{1}{3}$  of hospitalized stroke patients; an estimated 165 000 to 380 000 Canadians are affected with chronic aphasia (Simmons-Mackie, 2017). Aphasia can lead to various degrees of difficulty in speaking, understanding, reading, or writing. Among the plethora of symptoms, the most common, persistent, and debilitating symptom is anomia – a difficulty in finding words. Speech and language therapy (SLT) effectively improves anomia (see Brady et al. (2016) for a meta-analysis), but there is little consensus on which anomia therapies are most effective and efficient.

Over half the world's population is considered bilingual (Grosjean, 2015), and in Canada, 19.4% of the population speaks two or more languages at home (Statistic Canada, 2017). The increasing bilingual population also leads to a higher incidence of bilingual persons with aphasia (Ansaldo and Saidi, 2014). Research shows that knowing more than one language entails a cognitive advantage at the executive function level (Bialystok et al., 2004; Abutalebi and Green, 2007; Ansaldo et al., 2015; Zhou and Krott, 2016; Dash et al., 2019; DeLuca et al., 2019), which induces neuroplasticity and structural adaptations (Abutalebi and Green, 2016). Studies on neurologically intact bilingual adults report better cognitive control<sup>1</sup> than monolinguals, referred to as the bilingual advantage (Bialystok et al., 2004; Bialystok, 2009; Costa et al., 2009; Ansaldo et al., 2015; Berroir et al., 2017). In addition, more studies are pointing toward anatomical differences between bilingual and monolingual adults in cortical and subcortical grey matter structures (Mechelli et al., 2004; Li et al., 2014; Abutalebi and Green, 2016; Olulade et al., 2016; Marin-Marín et al., 2022). According to these results, bilingualism is comparable to other life-long experiences that significantly alter the structural makeup of the brain when learning and maintaining a new skill (Marin-Marín et al., 2022). This advantage is also present in grey matter structures in both left and right hemispheres (Li et al., 2014; Abutalebi and Green, 2016). Studies using structural magnetic resonance imaging (MRI) found a difference in the

---

<sup>1</sup> Cognitive control will be the term used throughout this paper; it refers to cognitive mechanisms underlying the capacity to adapt and demonstrate flexibility regarding behaviors in a new condition and can be used synonymously with executive control and executive function (Dash & Ansaldo, 2017).

cortical morphology of the bilateral anterior cingulate cortex, the left anterior temporal lobe, bilateral cerebellum, the left caudate nucleus, the left Heschl's gyrus, the left inferior frontal gyrus (IFG) and the left inferior parietal lobe when comparing bilingual and monolingual participants (Li et al., 2014). Olulade et al. (2016) found greater grey matter volume for the IFG and middle frontal gyrus (MFG) in the right hemisphere (among others) in neurologically intact bilinguals when compared to monolinguals. The increased structural density in critical areas related to language processing and cognitive control, along with the correlations between structural density and behavioural performances such as naming and grammatical processing in a second language (Abutalebi et al., 2014; Pliatsikas et al., 2014), and other measures of bilingualism such as the age of acquisition and proficiency (Mechelli et al., 2004), provide substantial evidence for the bilingual cognitive advantage hypothesis.

Over the years, many studies have discussed predictors of aphasia recovery (Watila and Balarabe, 2015; Doogan et al., 2018) – aphasia-related, such as initial severity and aphasia type (Lazar et al., 2010), lesion-related (Sims et al., 2016; Benghanem et al., 2019; Sul et al., 2019), and, more recently, bilingualism-related (Lahiri et al., 2020). Another aphasia-related factor recently discussed is the level of cognitive control skills in persons with aphasia (PWA; Villard and Kiran, 2018; Simic et al., 2019). In a systematic review, Simic et al. (2019) found that PWA's baseline executive control and linguistic skills appear to predict therapy success. Cognitive control is critical in showing consistent attention necessary to benefit from therapy (Villard and Kiran, 2018). Initial impairment severity has also been linked to the therapy outcome, where the more severe the aphasia, the less likely the PWA is expected to improve a lot. Furthermore, studies looking at lesion size and location have reported that bigger lesions lead to more severe deficits (Watila and Balarabe, 2015), and lesions in the left IFG (Sims et al., 2016; Daria et al., 2019), the middle temporal gyrus (MTG; Sims et al., 2016; Daria et al., 2019), the superior temporal gyrus (STG; Daria et al., 2019) and angular gyrus (AnG)/supramarginal gyrus (SMG; Sims et al., 2016) lead to more severe aphasia. Interestingly, studies have also shown changes in grey matter structures of posterior dorsal stream language homologs in the right hemisphere (RH), resulting in better language production abilities in chronic aphasia (Xing et al., 2016). The role of RH is often discussed with respect to stroke-induced aphasia recovery. The recruitment

of homotopic areas in the RH is one of the effective methods of post-stroke reorganization leading to recovery. It is commonly hypothesized that RH recruitment and overall lesion size in the left hemisphere may be related (Heiss et al., 1999; Anglade et al., 2014). Moreover, studies looking at treatment-induced brain plasticity in chronic aphasia provide additional evidence for RH recruitment to assist language recovery, revealing higher RH activity linked with treatment gains (Fridriksson et al., 2006; Fridriksson et al., 2007; Meinzer et al., 2007; Kiran et al., 2015).

To this day, there remains little consensus in the literature, much less in the bilingual literature, on the predictive value of variables such as lesion size, lesion location, and role of the RH. Recent studies on bilingual persons with aphasia (bPWA) report a bilingual advantage in cognitive performances in stroke survivors (Dash and Kar, 2014; Alladi et al., 2016; Paplikar et al., 2018; Dekhtyar et al., 2020; Lahiri et al., 2020; Penalzoza et al., 2020; Mooijman et al., 2021). Concerning aphasia symptom severity, bPWA have milder language deficits in their mother tongue (Paplikar et al., 2018; Ardila and Lahiri, 2020). These results suggest that bPWA show better cognitive control, less severe aphasia, and more recovery. However, the relationship between cognitive control, word retrieval, and bilingualism remains unclear based on the recent findings from Faroqi-Shah et al. (2018), which showed a lack of association between Stroop performance and both category fluency and picture-naming in PWA. The interplay between such bilingual advantage and the potential benefits of specific therapy approaches remains to be understood, especially knowing that cognitive control could be a significant predictor of recovery (Simic et al., 2019).

In impairment-based therapies targeting anomia, phonological therapies, such as Phonological Component Analysis (PCA; Leonard et al., 2008; Madden et al., 2017; Kristensson and Saldert, 2018; Marcotte et al., 2018), aim to facilitate lexical retrieval by activating the phonological representation of words (Goldrick and Rapp, 2002) and by assimilating the trained cueing strategies. Leonard et al. (2008) developed the PCA protocol as the phonologically oriented version of semantic feature analysis (Boyle and Coelho, 1995; Coelho et al., 2000); it includes a series of five cues based on phonological components of the target word. As per the original therapy protocol, the multiple consecutive phonological cues in PCA are cognitively demanding and require both flexibility and inhibition. Studies have linked therapy gains with PWA's

cognitive control associating it with their ability to benefit from the trained cues (Gilmore et al., 2019; Simic et al., 2019). Moreover, generalization following ortho-phonological cues has been related to inhibition – a subcomponent of cognitive control (Yeung and Law, 2010). Previous case studies with PCA have established the treatment efficacy in terms of acquisition, improvement as measured by treated items (Leonard et al., 2008; Bose, 2013; Kristensson and Saldert, 2018), within-level generalization, improvement as measured by untreated items (Leonard et al., 2008), and across-level generalization, improvement as measured by linguistic tasks other than the one targeted in treatment such as discourse (Kristensson and Saldert, 2018). For a detailed paper on the different levels of generalization, please see Webster et al. (2015).

Studies have been performed using phonological approaches to treat anomia in bilingual PWA and have reported good results, focusing on cross-linguistic therapy effects (Abutalebi et al., 2009; Croft et al., 2011). To this day, there has been little development in specific therapy-induced recovery studies in bPWA. In general, studies in bilingual aphasia recovery have been criticized for lack of methodological rigorousness (Faroqi-Shah et al., 2010; Simic et al., 2019), hence limiting the interpretations from these studies and generalizations possible. The only paper to this date investigating the impact of bilingualism on aphasia recovery found that bPWA improved more than their monolingual counterparts from the acute phase (3-7 days post-stroke) to the sub-acute phase (90-100 days post-stroke) (Lahiri et al., 2020). However, there is limited information on the potential bilingual advantage in aphasia recovery in the chronic phase. Moreover, considering the cognitive control advantage reported in bilinguals, and given the large proportion of bilinguals in the world population, it is important to improve the understanding of the relation between the cognitive control performance and naming therapy outcome in monolingual and bilingual PWA.

This study aims to investigate the effects of Phonological Component Analysis delivered in French (Fr-PCA) with French monolingual (mPWA) and French-English bilingual persons with aphasia (bPWA) on their linguistic and cognitive profiles, in relation to their respective lesion locations, and cortical thickness in the undamaged hemisphere. The specific questions concerning the efficacy of Fr-PCA, the lesion location's impact, and the RH's role addressed in

this paper and their corresponding hypotheses are listed below. For each research question, we are interested in looking at improvement or performance for all participants, and across groups (mPWA vs. bPWA) when possible, allowing us to evaluate the efficacy of Fr-PCA and the potential influence of bilingualism.

**1. Efficacy of Fr-PCA:** Does Fr-PCA lead to improvements in naming accuracy for treated items (acquisition), untreated items and other object naming tasks (within-level generalization), and other linguistic abilities and cognitive tasks (across-level generalization and transfer)? If so, do bPWA show more significant treatment effects (in acquisition, within- and across-level generalization & transfer) when compared to mPWA?

In line with previous research on the English version of PCA (Leonard et al., 2008; Bose, 2013; Kristensson and Saldert, 2018; Marcotte et al., 2018), it is hypothesized that Fr-PCA will improve naming abilities for treated (acquisition) and untreated words (untreated items and TDQ60; within-level generalization), as reflected by higher accuracy scores on picture-naming probes. It is also hypothesized that Fr-PCA will improve standardized language test scores, connected-speech main concept scores (across-level generalization), and cognitive control task performance (transfer). Moreover, in line with recent works and with the load of Fr-PCA on cognitive control, it is expected that improvement will be observed in both groups, with bilinguals showing better improvement levels (Gilmore et al., 2019; Lahiri et al., 2020).

**2. Impact of lesion location:** Does lesion location play a role in pre-therapy cognitive-linguistic abilities and subsequent therapy outcomes?

In line with previous results, we hypothesize that more damage to regions of interest (ROIs) involved in language and cognitive control networks will lead to more severe linguistic and cognitive difficulties (Abutalebi et al., 2008; Luk et al., 2011; Daria et al., 2019). We thus expect significant correlations between pre-therapy cognitive-linguistic test outcomes and lesioned voxels in the ROIs. Furthermore, regarding therapy outcome, it is hypothesized that participants with lesions within the ROIs associated with lexical retrieval and phonological processing would improve less (Fridriksson, 2010).



**3. Role of the right hemisphere:** Does RH cortical thickness vary across monolingual and bilingual PWA, and if so, does it relate to performance in cognitive and language tasks?

Given the role of RH in language processing in PWA (Lukic et al., 2017) and structural differences in bilinguals in key cognitive control regions (Felton et al., 2017), we wanted to assess the differences in RH regions between bPWA and mPWA. In line with work by Li et al. (2014), it is expected that cortical thickness in RH areas known for their role in cognitive control will show higher cortical thickness bPWA as compared to their monolingual peers and that such differences will correlate with scores on cognitive and linguistic tasks.

An exploratory research framework addresses the questions regarding the impact of lesion location (question 2) and the role of the RH (question 3).

## **2. Method**

### 2.1 Design

This is a pre-, post-therapy study with multiple baselines and repeated measures before and after Fr-PCA (3 baseline probes and 1 post-therapy probe) across groups. To answer the specific questions, we use a mixed design with case series analysis accompanied by group analysis. Specific methods are described in section 2.5.1.

### 2.2 Participants

Eight participants with aphasia took part in this study; four monolingual and four bilingual participants with aphasia (mPWA – bPWA), matched for age, education, and time post-aphasia onset (TPO). See Table 1 for demographic information. Groups did not differ significantly in lesion size or baseline linguistic profile (mean baseline picture-naming probes accuracy rate, object naming as measured with the TDQ60 (Macoir et al., 2017), verb naming as measured with the DVL38 (Hammelrath, 2005), oral comprehension measured with the MT86 subtest (Nespoulous et al., 1986), repetition measured with the MT86 subtest, verbal fluency measured with the MT86 subtest, and Cinderella storytelling main concepts score (Dalton and Richardson, 2015; Richardson and Dalton, 2016)). Please see Appendix A for detailed group comparison statistics.

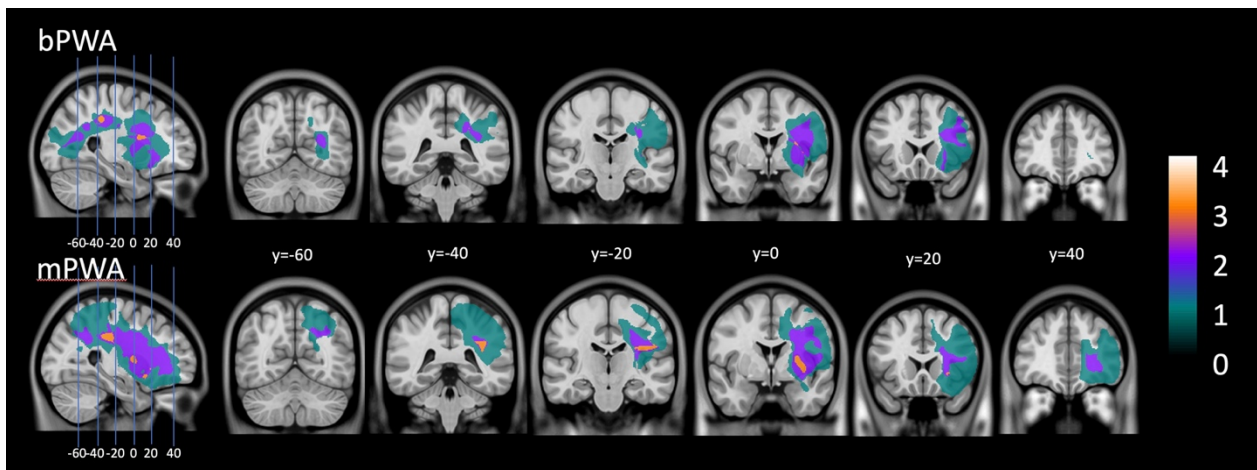
Mother tongue (L1) was French for all participants, and for bPWA, English was the second language (L2). All participants lived in the province of Quebec, a predominantly francophone province within the bilingual English-dominant country of Canada. Table 2 displays LEAP-Q language proficiency details. Figure 1 illustrates lesion overlay for both groups.

Participants were recruited as part of a larger research project studying the efficacy of Fr-PCA through community-based aphasia associations and community advertising. They all presented with chronic aphasia following a single left hemisphere stroke (minimum of 6 months post-onset) and were MRI compatible. Figure 1 illustrates lesion overlay for both groups. Participants did not have premorbid or concomitant neurological conditions (e.g., developmental language disorder, neurodegenerative disorder, TBI, etc.), uncorrected hearing, or vision loss. Throughout the study, they did not receive any other speech-language therapy or therapy of any sort.

The CRIUGM's ageing and neuroimaging research ethics committee (CMER RNQ 15-16-02) approved this project. All participants provided informed written consent to participate in the study.

### Figure 1

*Lesion overlay plot: on the upper section, lesion size for all bilingual participants with aphasia. On the lower section, lesion size averaged for all monolingual participants with aphasia.*



**Tableau 1**

*Demographic information, clinical data, and standardized neuropsychological background test scores of participants with aphasia.*

ID	Gender · Age (years)	Race and ethnicity	Education (years)	Handedness* (post morbid)	TPO (months)	Site of lesion	Size of lesion (mm3)	Type of aphasia and severity	Apraxia severity#	Baseline naming (%)	MoCA	CASP	Depression**
MA1	M · 60	White	12	Left	172	Left sylvian territory with no parietal lesion	143626	Anomic Mild	None	98%	27	36	Normal
MA2	F · 72	White	12	Right	47	Left sylvian territory with fronto-insular parietal, occipital lesion	39848	Broca's Moderate to moderate severe	Mild to moderate	16%	20	24.5	Severe
MA3	M · 73	White	6	Right	36	Left insula and parieto-temporal regions	1933	TMA Moderate to severe	Mild	39%	15	34	Normal
MA4	F · 70	White	15	Right	41	Left sylvian territory with frontoparietal lesion	74868	Global Severe	Moderate to severe	31%	n.a	34.5	Normal
BA1	M · 77	White	17	Right	11	Left temporal regions	10592	Anomic Moderate to severe	Mild	67%	20	34	Normal
BA2	F · 63	White	18	Right	11	Left MCA territory with insular, subinsular and frontal lesion	33455	Broca's Mild to moderate	Mild to moderate	96%	26	33.5	Normal
BA3	M · 65	White	15	Both	57	Left sylvian territory	61021	Anomic Mild to moderate	None	89%	27	31	Normal
BA4	M · 48	White	15	Both	22	Left sylvian territory with fronto-insular parietal occipital lesion	15416	TMA Moderate	Mild	63%	24	35	Normal

Mean	68.75	11.25	74.00	65069	46%	20.67 (6.03)	32.25
(SD)	(5.97)	(3.77)	(65.49)	(60248)	(36%)		(5.24)
mPWA							
Mean	63.25	16.25	25.25	30121	79%	24.25 (3.10)	33.38
(SD)	(11.90)	(1.50)	(21.79)	(22829)	(16%)		(1.70)
bPWA							

Note: Race and ethnicity as observed by the investigator, \* Based on The Edinburgh inventory (Oldfield, 1971); TPO, time post-onset in months; Site of lesion as identified in radiology report; MCA, Middle carotid artery; CVA, Cerebrovascular accident; TMA, Transcortical motor aphasia; #, Based on the Apraxia battery for adults 2 (ABA2, Dabul, 2000); Baseline naming is average accuracy in percentage at baseline assessments on the full 270 item baseline picture-naming probes described in section 2.3.1 ; MoCA, Montreal Cognitive Assessment, scored on 30, cut-off at 26; CASP, Cognitive Assessment scale for Stroke Patients, scored on 36, alert point at 35; \*\*, Based on Geriatric Depression Scale (GDS; Yesavage, 1982);

## Tableau 2

Individual scores on Language Experience and Proficiency Questionnaire (LEAP-Q) for all participants

ID	L2 AoA (years)	Exposure				L1						L2						BNT FR (/30)	BNT EN (/30)	
		Pre		Post		Premorbid			Postmorbid			Premorbid			Postmorbid					
		L1	L2	L1	L2	E	OC	read	OE	OC	read	OE	OC	read	OE	OC	read			
MA1		100		100		7	10	10	7	10	10								25	
MA2		100		100		8	8	8	2	10	6								2	
MA3		100		100		10	10	10	7	6	0								5	
MA4		100		100		10	10	10	3	6	5								6	
BA1	23	80	20	100	0	9	10	10	5	7	6	7	8	8	5	5	7	16	10	
BA2	11	60	39	80	20	8	9	9	2	9	5	7	8	8	2	8	5	25	13	
BA3	18	90	10	100	0	10	10	10	4	10	4	7	8	6	2	4	0	24	9	
BA4	18	60	40	90	10	10	10	10	7	9	6	8	8	8	7	8	7	14	2	

Note: AoA, Age of Acquisition; OE, oral expression; OC, oral comprehension; read, reading

## 2.3 Assessments

Participants completed a comprehensive battery of language and cognitive tests before and after Fr-PCA therapy (see section 2.3.1.2 and Table 1 for battery tests). An SLP (MMT) administered the tests and split them into three 2.5-hour assessment sessions to collect three picture-naming baselines and reduce fatigue. Still, some participants were unable to perform the Flanker task pre-therapy. Participants completed an adapted version of the Language Experience and Proficiency Questionnaire (Marian et al., 2007) with the SLP's help and underwent a structural MRI (T1 image).

### 2.3.1 Primary Outcome Measure: Picture-Naming Probes

The baseline picture-naming probe comprises 270 pictures selected from the Bank of Standardized Stimuli (BOSS; Brodeur et al., 2011) and validated among healthy elderly French speakers (Masson-Trottier et al., 2016). It includes various categories such as fruits, vegetables, clothes, animals, body parts, furniture, and other objects. To be scored as a correct answer, participants had to name the picture correctly within 10 seconds (Evans et al., 2020). The baseline picture-naming probes were repeated in all three assessment sessions to generate two independent lists balanced for frequency, number of phonemes, and syllables (New et al., 2004). List 1 is composed of 20 items chosen with the participant to be treated in therapy, and List 2 is composed of 40 items not to be treated in therapy (i.e., to measure within-level generalization). Items selected for Lists 1 and 2 were named incorrectly on 2 or 3 baselines.

### 2.3.2 Secondary Outcome Measures

#### 2.3.2.1 Language Tasks

During the assessment sessions, several relevant language tasks were selected to be part of the comprehensive language assessment to characterize the type of aphasia in our participant sample and to measure the effect of Fr-PCA on within-level and across-level generalization (Webster et al., 2015). The tasks included in the comprehensive language assessment are the Test de denomination de Québec-60 (TDQ60; Macoir et al., 2017) for object naming, the Test de dénomination de verbes lexicaux en images-38 (DVL38; Webster et al., 2015) for verb naming,

sub-tasks from the Montreal-Toulouse aphasia battery; oral comprehension, repetition, and verbal fluency with semantic criteria (Béland and Lecours, 1990), and a narrative discourse sample of the Cinderella story analyzed with the main concepts (MC) method (Dalton and Richardson, 2015; Richardson and Dalton, 2016).

The tasks used to measure within-level generalization are picture-naming accuracy variation on List 2 (untreated items) and performance variation on TDQ60, a francophone object-naming test. Tasks used to measure across-level generalization are the variation on DVL38, a verb naming test, on the sub-tasks in the MT86, and the variation on the narrative discourse main concept score.

#### 2.3.2.2 Flanker Task

Participants underwent the Eriksen's Flanker task (Eriksen and Eriksen, 1974) presented via the E-Prime 2.0 software (Psychology Software Tools, Inc.). The Flanker task assesses participants' ability to suppress interference from irrelevant nonverbal stimuli. Processing verbal stimuli is difficult for PWA, making the Flanker task suitable for this population. They were presented with an array of five arrows in the middle of the screen and asked to determine whether the central arrow pointed left or right. A target stimulus (i.e., central arrow), which points leftward or rightward, is surrounded by two flankers on each side. There are two flanker conditions: congruent (arrows that point in the same direction as the central arrow) and incongruent (arrows that point in the opposite direction from the central arrow). The Flanker task began with a short instruction phase followed by 20 practice trials and 240 experimental trials consisting of an equal number of congruent and incongruent trials. Each began with a fixation cross of 400 ms, followed by the target window. The stimuli appear at the centre of the screen for 3000 ms. The next trial starts as soon as the participant responds or after 3000 ms (whichever comes first). For the Flanker test, the outcome measures are the Flanker effect (incongruent RT – congruent RT), indicating interference effect, response times (RT), and error rates for congruent and incongruent conditions.

#### 2.3.3 MRI Structural Image Acquisition

Images were acquired using a 3 T MRI Siemens Trio scanner, which was updated (Prisma Fit) with a standard 32-channel head coil during data collection. A high-resolution structural image was obtained using a 3D T1-weighted imaging sequence using an MP-RAGE (TFE) sequence (TR = 2300 ms ; TE = 2.98 ms; 192 slices; matrix = 256×256 mm; voxel size = 1×1×1 mm; FOV = 256 mm).

#### 2.3.3.1 MRI Image Preprocessing and Anatomical Measurements

The MRIs were acquired at the Functional Neuroimaging Unit in Montreal. For each participant, a lesion map was manually drawn, considered the golden standard for lesion mapping (Meinzer et al., 2013; Liew et al., 2021). FreeView visualization tool, a FreeSurfer (Fischl, 2012) feature, was used to perform the lesion mapping. On each axial slice, the border of the necrotic tissue was carefully delimited, and additional manual corrections were applied on coronal and sagittal planes to smooth the edge of the lesion volume and to remove enclaves of cerebrospinal fluid (CSF). Sometimes CSF can be mingled with necrotic tissue. The lesion volume was computed and stored for further analysis.

Since each MRI contained extensive lesions, we used the “Clinical toolbox” (Rorden et al., 2007) to replace the necrotic tissue with synthetic tissue, which was generated based on the grey and white matter distribution in the contralateral hemisphere. All MRI data were processed locally with FreeSurfer v6.0.0 (<http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu>), Linux Mint 17 Ubuntu 14.04\_x86\_64 (Fischl et al., 1999; Fischl et al., 2004; Fischl, 2012). The Destrieux atlas was used to apply the sulco-gyral parcellation and to build a surface-based atlas that included 74 labels per hemisphere (Fischl, 2012). The results enabled the obtaining of the thickness of cortical regions of interest, which was computed as the average of (1) the distance from each white surface vertex to their corresponding closest point on the pial surface (not necessarily at a pial vertex) and (2) the distance from the corresponding pial vertex to the closest point on the white surface (Fischl and Dale, 2000). Further, for the lesioned left hemisphere of each participant, the output volume was filtered with the original lesion map to remove the segmentation portions corresponding to synthetic tissue. Considering the objective of generating cortical thickness data for each participant's ROIs in the native space, normalization was not performed.

## 2.4 Fr-PCA Therapy

The PCA treatment protocol allows reproducibility of methodology. Fr-PCA was administered according to the standard protocol (Leonard et al., 2008) by an experienced SLP (MMT). The phonological components include: giving the first sound of the target (Question: "What sound does it start with?"), the final sound ("What sound does it end with?"), the number of syllables ("How many beats does the word have?"), providing a first sound associate ("What other word starts with the same sound?") and a rhyme to the target ("What does this rhyme with?") (Leonard et al., 2008).

Fr-PCA therapy started immediately after the assessment. Participants received Fr-PCA for the items on List 1 (see above) for 15 one-hour face-to-face sessions, three sessions per week for five weeks. Participants were met either at their homes or the research centre, whichever they preferred. The PWA was asked to generate the answers to each cue; if this was not possible, they could choose between three valid options to promote active participation (Hickin et al., 2002). All items on List 1 were repeated 1 to 4 times during the session according to the participant's pace and tolerance. Fr-PCA was presented on a laptop and coded into a python program allowing automatic randomization of items from session to session and online scoring of naming performance for each item. The SLP controlled therapy display on the laptop, writing the cues on the therapy screen, rating the answers given by the PWA, and giving appropriate feedback during the therapy.

## 2.5 Data Analysis

For all standardized language tests (TDQ60, DVL38, repetition, verbal fluency, and oral comprehension), z-scores were calculated using the normative mean and standard deviation values for the participant's age and education level (see Table 1). The following formula was used to calculate the z-scores where the mean and standard deviation are from the normative data available:  $z\ score = \frac{(Raw\ Score - Mean)}{Standard\ Deviation}$

Z-scores allow comparing language abilities and improvements following Fr-PCA across age and education levels. As per standard clinical guidelines used in speech-language pathology, z-scores



below – 1.5 SD were considered mild impairment, and z-scores below – 2 SD were considered severe impairment (Spaulding et al., 2012; Satoer et al., 2019). Raw scores can be found in the supplementary material.

To describe narrative discourse, main concepts were identified in the narrative discourse for the Cinderella storytelling task and then scored for accuracy and completeness (Nicholas and Brookshire, 1995). A main concept that was accurate and complete received a score of 3, an accurate incomplete or inaccurate complete main concept was given 2, and an inaccurate incomplete was scored 1 (Richardson and Dalton, 2016). The main concept score is the sum of all main concepts.

### 2.5.1 Data Analysis Plan

Data analysis was completed on SPSS 26 (IBM Corp., 2019) using an  $\alpha$ -value of 0.05. The data analysis plan is presented for each specific question. We used a mixed method case-series analysis to draw interpretation from converging evidence

#### 2.5.1.1 Efficacy of Fr-PCA

To answer the question of therapy efficacy, a case series analysis was conducted to investigate the acquisition following Fr-PCA, and group analyses were additionally performed to answer the within- and across-level generalization and transfer questions.

Acquisition: Case series Four analysis methods appropriate for single-subject research designs were used to investigate the effect of Fr-PCA on naming accuracy for treated items. The results of these methods were merged to indicate if there was strong evidence (if all methods were large or significant), moderate evidence (if two or three of the methods were large or significant), weak evidence (if only one of the methods was large or significant), or no evidence of a treatment effect.

First, visual inspection was performed to judge whether change across the treatment phase was large enough to be seen by the naked eye (Franklin et al., 1996). Changes in performance were determined to be substantial if: 1) the mean probe score was greater than the mean baseline score, 2) there was no overlap of probe scores with baseline phase scores, and 3) probe scores

surpassed the extended baseline trend line. For the visual inspection, accuracy from baseline assessments (3), therapy sessions (15), and post-therapy assessment (1) are used.

Second, effect size (d) was calculated to determine clinical significance using the standardized difference approach (Allison et al., 1996; Neumann, 2018), where

$$d = \frac{(\text{score}_{\text{post}} - \text{mean}_{\text{baseline}})}{\text{standard deviation}_{\text{baseline}}}$$

For the analysis of effect size, the data from both assessments are used (three baselines and post-therapy). Following the guidelines given by Beeson and Robey (2006), it is not possible to perform d calculation when  $[\text{standard deviation}]_{\text{baseline}}=0$ . When this happened, we calculated a pooled standard deviation using the last three therapy sessions, where

$$\text{standard deviation}_{\text{pooled}} = \sqrt{\frac{\text{standard deviation}_{\text{baseline}} + \text{standard deviation}_{\text{therapy } 13-14-15}}{2}}$$

An effect size equal to or greater than 4.0, 7.0, and 10.1 was considered a small, medium, or large magnitude of treatment effect (Beeson and Robey, 2006).

Third, the Tau U Test of Trend, a non-parametric method used to measure non-overlap between two phases (A and B), was used to compare baseline accuracy scores to intervention accuracy scores. This analysis was performed using the Tau-U Calculator (Vannest et al., 2016). For the calculation of Tau-U, accuracy from baseline assessments (3) and therapy sessions (15) are used.

Finally, individual participant naming accuracy (i.e., correct/incorrect) was analysed by item, using the Weighted Statistics (WEST) method outlined by Howard et al. (2014). This method overcomes problems of autocorrelation inherent in repeated measures designs; a single weighted score representing repeated measurements of an item is obtained and analysed using a one-sample t-test. More specifically, WEST-ROC and WEST-Trend were calculated to respectively verify that the rate of change (ROC) post-therapy is significantly greater than the expected null rate of change at baseline while also accounting for existing trends in the data, and that existing linear trends in the data are accounted for, indicating significant improvement, over and above existing trends in the data. Howard et al. (2014). In this specific analysis, for WEST-ROC, item naming scores for the three baselines and post-therapy assessment were

multiplied by factors of 2, -1, -4, and 3, whereas for WEST-Trend, three baselines and post-therapy assessment were multiplied by factors of -3, -1, 1, and 3. For the WEST procedure, 4 one-sample t-tests (one-tailed) were conducted per participant. Using the Holm-Bonferroni procedure, alpha was initially set at 0.05 and adjusted accordingly for all subsequent comparisons to  $0.05/4 = 0.0125$ .

#### *Within- and across-level generalization: case series and group analysis*

First, to assess within-level generalization, we calculated individual effect sizes and WEST statistics with the untreated items following the same method described above. Furthermore, to complete the within-level generalization and to assess across-level generalization, Wilcoxon signed-rank tests were performed with the pre-therapy and post-therapy language z-scores for all PWA to see if Fr-PCA significantly improved language performance.

To verify the potential impact of bilingualism on therapy within- and across-level generalization, a nonparametric independent sample Mann-Whitney U test was completed comparing pre- and post-therapy score differences (called variation score) between groups for standardized language tests z-scores (variation score =  $z\text{-score}_{\text{post-therapy}} - z\text{-score}_{\text{pre-therapy}}$ ).

#### *Transfer: group analysis*

Finally, to investigate improvement transfer following Fr-PCA, a Wilcoxon signed-rank test was also performed for the pre- and post-therapy outcome measures of the Flanker task to examine therapy transfer. A nonparametric independent sample Mann-Whitney U test was applied to compare post-therapy Flanker outcome measures between bPWA and mPWA to verify the potential impact of bilingualism on cognitive control, given that 2 monolingual participants could not perform the Flanker task before therapy.

#### 2.5.1.2 Impact of Lesion Location

Considering the variability in lesion location among participants with strokes, a subset of ROIs damaged in at least 2 mPWA and 2 bPWA (see section 2.3.3.1 MRI Image Preprocessing and Anatomical Measurements for procedure) was identified to perform the correlations described below. To account for potential differences in lesion location across groups (mPWAs and

bPWAs), a Mann-Whitney U test was performed to compare the number of voxels within each identified ROI between groups.

To answer the question regarding the impact of lesion location on pre-therapy skills, a Spearman's rank-order correlation was performed with the number of voxels in each ROI within the lesion mask and scores on language and cognitive performance tasks before therapy for all PWA. To assess the impact of the lesion location on therapy-induced improvements (within- and across generalization), a Spearman's rank-order correlation was also performed between the number of voxels in each ROI within the lesion mask and variation scores on language performance tasks.

To interpret the Spearman's correlation,  $r_s=0.00-0.19$  was considered a very weak correlation,  $r_s=0.20-0.39$ , a weak correlation,  $r_s=0.40-0.59$ , a moderate correlation,  $r_s=0.60-0.79$ , a strong correlation, and  $r_s=0.80-1.0$ , a very strong correlation (Schober et al., 2018).

#### 2.5.1.3 Role of Right Hemisphere

Finally, to answer the question concerning the potential experience-induced RH compensatory neuroplasticity, a nonparametric independent sample Mann-Whitney U test was completed comparing cortical thickness between bPWA and mPWA (Felton et al., 2017). For ROIs with significantly different cortical thickness between groups, a Spearman's rank correlation was performed between cortical thickness and language and cognitive control scores pre-therapy and corresponding variation scores.

### 3 Results

The result section for this paper is outlined in three main sections. Firstly, the efficacy of Fr-PCA is investigated with both case series analysis and group comparisons in terms of acquisition (improvement on treated items – List 1), within-level generalization (improvement on untreated picture-naming accuracy; untreated items – List 2 and TDQ60), across-level generalization (improvement on other language abilities) and transfer (improvement on cognitive control task). Secondly, the impact of the lesion location on pre-therapy linguistic and cognitive

performances is examined using correlations. Finally, the role of the RH is explored in relation to the status of bilingualism and pre-therapy linguistic and cognitive performances.

### 3.1 Efficacy of Fr-PCA

To determine the efficacy of Fr-PCA, a mixed method was employed. Case series analysis is used to examine the acquisition with treated items using visual inspection of the data, analysis of effect size, Tau-U Test of Trend, and WEST statistics.

Furthermore, therapy-induced generalization (within- and across-levels) is examined with case series analysis and group analysis. Within-level generalization (naming accuracy of untreated items) is also investigated with two case series methods: analysis of effect size and WEST statistics. Then, we investigate the effect of Fr-PCA by comparing pre-therapy scores on standardized language tests to post-therapy scores. Finally, we compare the improvements of mPWA and bPWA for a potential impact of bilingualism on therapy outcomes.

#### 3.1.1 Acquisition

To examine acquisition following Fr-PCA, case-series analyses were performed. The summary of the case series analysis incorporating four analysis methods can be found in Table 3. Each participant will be discussed below.

**Tableau 3**

Case-study result summary: Evidence of acquisition and within-level generalization comparing baseline and treatment performance phases.

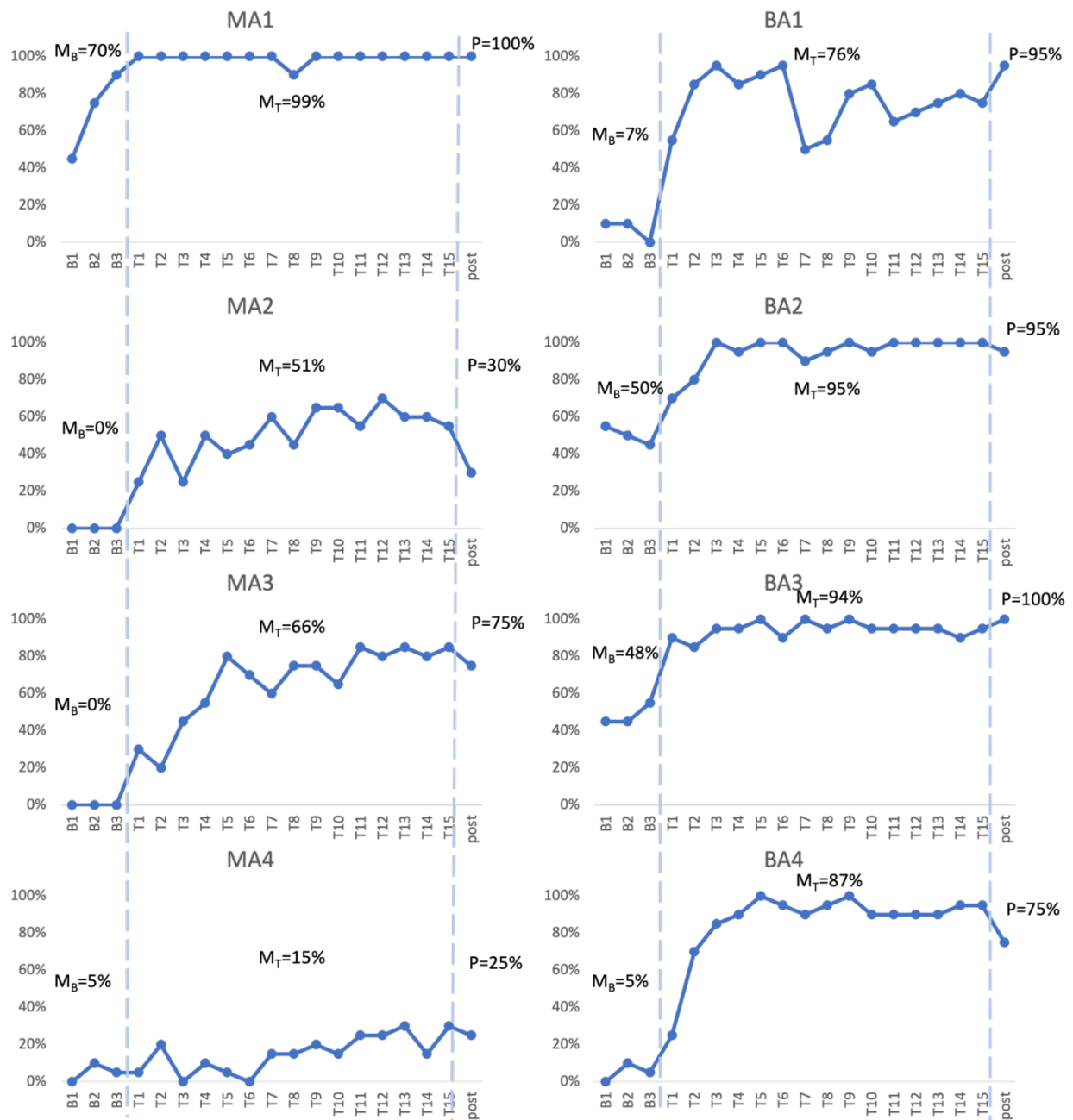
Participant		Visual inspection $M_T > M_B$			Effect size	TAU u (p-value)	WEST-ROC					WEST-TREND						
		No overlapping	exceed baseline	trailing			mean	SD	t-value	df	CI 95	p-values 1-tailed	mean	SD	t-value	df	CI 95	p-values 1-tailed
MA1	trtd	Yes	None	No	1.31	<b>0.99</b> (.009)	-0.45	2.01	-1.00	19	[-1.39-0.49]	0.165	1.80	1.64	4.90	19	[1.03-2.57]	0.000
	untrtd				1.03		-0.20	1.51	-0.84	39	[-0.68-0.28]	0.203	0.80	1.47	3.44	39	[0.33-1.27]	0.001
MA2	trtd	Yes	None	Yes	<b>11.17***</b>	<b>1.00</b> (.008)	<b>0.85</b>	<b>1.46</b>	<b>2.60</b>	<b>19</b>	<b>[0.17-1.53]</b>	<b>0.009</b>	<b>0.85</b>	<b>1.46</b>	<b>2.60</b>	<b>19</b>	<b>[0.17-1.53]</b>	<b>0.009</b>
	untrtd				<b>26.06***</b>		<b>1.05</b>	<b>1.45</b>	<b>4.58</b>	<b>39</b>	<b>[0.59-1.51]</b>	<b>0.000</b>	<b>1.05</b>	<b>1.45</b>	<b>4.58</b>	<b>39</b>	<b>[0.59-1.51]</b>	<b>0.000</b>
MA3	trtd	Yes	None	Yes	<b>27.92***</b>	<b>1.00</b> (.008)	<b>2.25</b>	<b>1.33</b>	<b>7.55</b>	<b>19</b>	<b>[1.63-2.87]</b>	<b>0.000</b>	<b>2.25</b>	<b>1.33</b>	<b>7.55</b>	<b>19</b>	<b>[1.63-2.87]</b>	<b>0.000</b>
	untrtd				<b>18.61***</b>		<b>0.75</b>	<b>1.32</b>	<b>3.61</b>	<b>39</b>	<b>[0.33-1.17]</b>	<b>0.000</b>	<b>0.75</b>	<b>1.32</b>	<b>3.61</b>	<b>39</b>	<b>[0.33-1.17]</b>	<b>0.000</b>
MA4	trtd	Yes	Yes	No	4.00*	0.75 (.058)	0.45	1.88	1.07	19	[-0.43-1.33]	0.149	0.70	1.38	2.27	19	[0.05-1.35]	0.018
	untrtd				5.20*		0.23	0.92	1.55	39	[-0.07-0.52]	0.065	0.23	0.92	1.55	39	[-0.07-0.52]	0.065
BA1	trtd	Yes	None	Yes	<b>15.30***</b>	<b>1.00</b> (.008)	<b>2.65</b>	<b>0.75</b>	<b>15.90</b>	<b>19</b>	<b>[2.30-3.00]</b>	<b>0.000</b>	<b>2.15</b>	<b>1.90</b>	<b>5.06</b>	<b>19</b>	<b>[1.26-3.04]</b>	<b>0.000</b>
	untrtd				3.51		0.03	1.99	0.08	39	[-0.61-0.66]	0.469	0.90	1.58	3.60	39	[0.39-1.41]	0.000
BA2	trtd	Yes	None	Yes	9.00 **	<b>1.00</b> (.008)	<b>1.65</b>	<b>2.28</b>	<b>3.24</b>	<b>19</b>	<b>[0.58-2.72]</b>	<b>0.002</b>	<b>1.15</b>	<b>1.57</b>	<b>3.29</b>	<b>19</b>	<b>[0.42-1.88]</b>	<b>0.002</b>
	untrtd				5.44 *		0.25	2.15	0.74	39	[-0.44-0.94]	0.233	0.63	1.53	2.58	39	[0.14-1.11]	0.007
BA3	trtd	Yes	None	Yes	8.95 **	<b>1.00</b> (.008)	2.15	2.46	3.92	19	[1.00-3.30]	0.000	0.40	0.99	1.80	19	[-0.07-0.87]	0.044
	untrtd				6.05 *		<b>1.28</b>	<b>2.45</b>	<b>3.29</b>	<b>39</b>	<b>[0.49-2.06]</b>	<b>0.001</b>	<b>0.78</b>	<b>1.39</b>	<b>3.54</b>	<b>39</b>	<b>[0.33-1.22]</b>	<b>0.001</b>
BA4	trtd	Yes	None	Yes	<b>14.00***</b>	<b>1.00</b> (.008)	<b>1.95</b>	<b>1.61</b>	<b>5.43</b>	<b>19</b>	<b>[1.20-2.70]</b>	<b>0.000</b>	<b>2.20</b>	<b>1.32</b>	<b>7.44</b>	<b>19</b>	<b>[1.58-2.82]</b>	<b>0.000</b>

untrtd		6.41 *		<b>1.05</b>	<b>2.10</b>	<b>3.16</b>	<b>39</b>	<b>[0.38- 1.72]</b>	<b>0.002</b>	<b>1.05</b>	<b>1.77</b>	<b>3.76</b>	<b>39</b>	<b>[0.48- 1.62]</b>	<b>0.000</b>
--------	--	--------	--	-------------	-------------	-------------	-----------	-------------------------	--------------	-------------	-------------	-------------	-----------	-------------------------	--------------

$M_B$  refers to mean accuracy of baseline assessments,  $M_T$  refers to mean accuracy of therapy sessions. No overlap: Refers to whether treatment scores exceeded the baseline. Effect size that was equal to or greater than 4.0, 7.0, or 10.1 was considered a small, represented by \*, medium, represented by \*\*, or large magnitude of treatment effect, represented by \*\*\*, respectively, for lexical retrieval studies, as per Beeson and Robey (2006). Tau U: The number in parentheses is the two-sided p-value. In bold are the elements that provide evidence pour acquisition or within-level generalization.

**Figure 2**

Picture-naming probe results. Repeated probe data for all participants. Graphs reflect percent accurate production for treated items at baseline assessments, each therapy session, and post-treatment assessment.  $M_B$  refers to mean accuracy of baseline assessments,  $M_T$  refers to mean accuracy of therapy sessions,  $P$  refers to accuracy at post-therapy assessment.





MA1, the mPWA with the mildest aphasia (mild aphasia, no apraxia), demonstrated weak acquisition following Fr-PCA. Although MA1 showed a higher mean accuracy rate during therapy phase (99%) than baseline phase (70%) and no overlapping points between the phases, visual inspection revealed that points in therapy phase did not exceed baseline trendline, as he showed a noticeable improvement between baseline sessions in terms of accuracy. Indeed, after improving at each baseline assessment, MA1 reached ceiling effect at the first therapy session. This suggests that therapy performances do not surpass the improvement already initiated during baseline assessments. Even if WEST-Trend is significant, it is recommended that the effect of treatment be considered significant when both the WEST-Trend and WEST-ROC analyses yield significant results (Howard et al., 2014). Thus, given the non-significant result of WEST-ROC, this analysis is considered inconclusive, as is his effect size (ES=1.31; non-significant). Finally, MA1 showed a significant Tau-U (Tau U = 1.00;  $p = 0.008$ ), the only analysis method supporting acquisition for MA1. Although MA1 showed a limited gain in accuracy, Fr-PCA produced improvement in response time and pronunciation level, not reflected with the main outcome variable in this study.

MA2, who had moderate to severe aphasia and mild to moderate apraxia, showed strong evidence of acquisition following Fr-PCA. She demonstrated a greater mean accuracy rate during the therapy phase (51%) than during the baseline phase (0%), she did not show overlap in performance between therapy and baseline phases, and therapy improvements exceeded baseline trendline. When looking at the effect size, MA2 showed a large effect size for acquisition following Fr-PCA (ES=11.17) and a significant Tau-U result (Tau U = 1.00;  $p = 0.008$ ). Finally, both WEST-ROC and WEST-Trend yielded significant results. All 4 methods support MA2's acquisition following Fr-PCA.

MA3, who presented moderate to severe aphasia and mild apraxia, showed strong evidence of acquisition following Fr-PCA. There was greater mean accuracy rate during the therapy phase (compared to baseline phase (0%)), with no overlap in performance between therapy and baseline phases. Therapy improvements exceeded baseline trendline. When looking at the effect size, MA3 showed a large effect size for acquisition following Fr-PCA (ES=27.91) and a

significant Tau-U result (Tau U = 1.00; p = 0.008). Finally, both WEST-ROC and WEST-Trend yielded significant results. All 4 methods support MA3's acquisition following Fr-PCA.

MA4, who presented the most severe aphasia and moderate to severe apraxia, demonstrated no evidence of acquisition following Fr-PCA. Although MA4 showed a higher mean accuracy rate during therapy phase (15%) than baseline phase (5%), visual inspection revealed overlapping points between the baseline and therapy phases, and mean accuracy during therapy phase did not exceed baseline trendline. The non-significant Tau-U test (Tau U = 0.75; p = .058) further indicated overlap between phases. In addition, there were non-significant WEST-ROC and WEST-Trend results, indicating the improvement is neither greater than the null rate of change expected at baseline, nor greater than the baseline trend. MA4 did show a small effect size for acquisition (ES=4.00). However, none of the methods provided large or significant support for acquisition following Fr-PCA for MA4.

BA1, who had moderate to severe aphasia and mild apraxia, showed strong evidence of acquisition following Fr-PCA. He demonstrated a greater mean accuracy rate during therapy phase (76%) than during baseline phase (7%), he did not show overlap between performance during therapy phase compared to baseline phase, and therapy improvements exceeded baseline trendline. This was confirmed by a significant Tau-U result (Tau U = 1.00; p = 0.008). When looking at the effect size, MA3 showed a large effect size for acquisition following Fr-PCA (ES=15.30). Finally, both WEST-ROC and WEST-Trend yielded significant results. All four methods converge in supporting BA1's strong acquisition following Fr-PCA.

BA2, who presented mild to moderate aphasia and mild to moderate apraxia, showed moderate evidence of acquisition following Fr-PCA. There was a greater mean accuracy rate during therapy phase (95%) than during baseline phase (50%), she did not show overlap between performance during therapy phase compared to baseline phase and showed therapy improvements that exceeded baseline trendline. This was confirmed by a significant Tau-U result (Tau U = 1.00; p = 0.008). When looking at the improvement during therapy phase, both WEST-ROC and WEST-Trend yielded significant results, indicating the rate of change (ROC) post-treatment was significantly greater than the null rate of change and that improvement was

above existing trends in the data. However, looking at the effect size, BA2 showed a moderate effect size for acquisition following Fr-PCA (ES=9.00). Thus, only three methods give large or significant support of acquisition following Fr-PCA for BA2.

BA3, who had mild to moderate aphasia, showed moderate evidence of acquisition following Fr-PCA. He demonstrated a greater mean accuracy rate during the therapy phase (94%) than during the baseline phase (48%), did not show overlap between performance during therapy phase compared to baseline phase and showed therapy improvements that exceeded baseline trendline. This was confirmed by a significant Tau-U result (Tau U = 1.00; p = 0.008). However, looking at the improvement during therapy phase, although WEST-ROC yielded a significant result, WEST-Trend did not survive correction for multiple comparisons, indicating the improvement did not surpass existing trends in the data. Furthermore, looking at the effect size, BA3 showed only a moderate effect size for acquisition following Fr-PCA (ES=8.95). Thus, only two of the four methods give large or significant support of acquisition following Fr-PCA for BA2.

BA4, who had moderate aphasia and mild apraxia, showed strong evidence of acquisition following Fr-PCA. He demonstrated a greater mean accuracy rate during the therapy phase (87%) than during the baseline phase (5%), he did not show overlap between performance during therapy phase compared to baseline phase and showed therapy improvements that exceeded baseline trendline. This was confirmed by a significant Tau-U result (Tau U = 1.00; p = 0.008). When looking at the effect size, MA3 showed a large effect size for acquisition following Fr-PCA (ES=14.00). Finally, both WEST-ROC and WEST-Trend yielded significant results. All four methods converge in supporting BA4's strong acquisition following Fr-PCA.

In sum, for the mPWA group, one participant showed strong evidence of acquisition (MA3), one participant showed moderate acquisition (MA2), one participant showed weak evidence (MA1), and one participant showed no evidence (MA4). Figure 3 shows, for MA2, MA3 and MA4, some variability between therapy sessions in terms of performance. For the bPWA group, two participants showed strong evidence (BA1 and BA4), and two showed moderate evidence (BA2 and BA3) with more stable and rapid improvement rates.

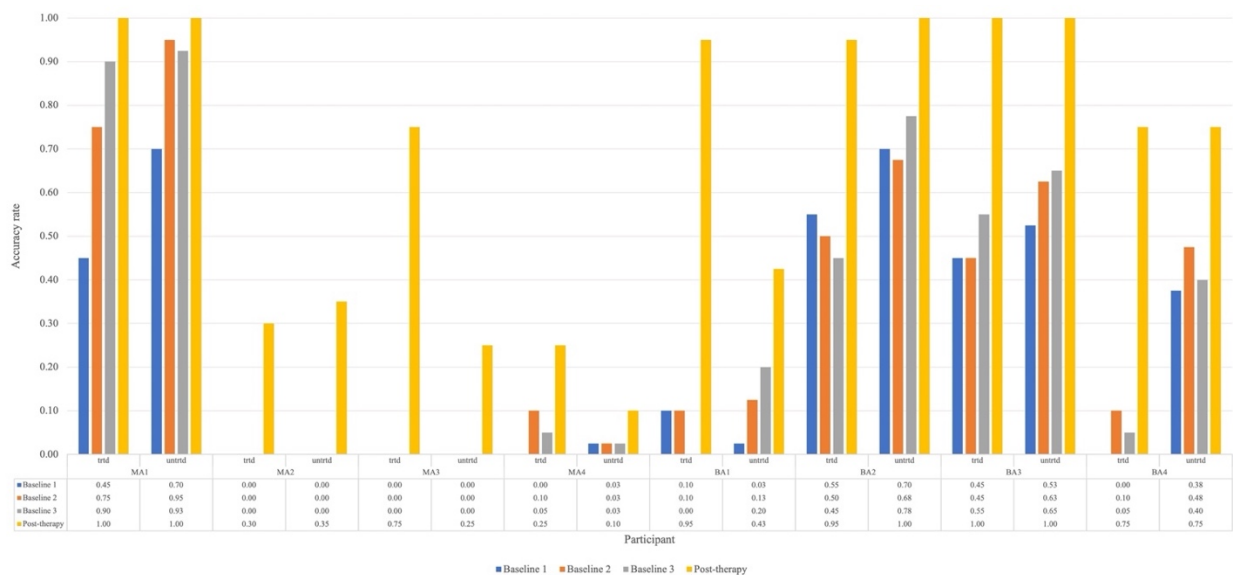
### 3.1.2 Within-level Generalization

To examine within-level generalization, mixed-methods analyses were carried out. Two case series methods, namely analysis of effect size and WEST-ROC and WEST-Trend statistics, were employed to examine the improvement of untreated items. Figure 3 shows the response accuracy for each participant at assessment points for both treated and untreated items. The pre- and post-therapy scores on the TDQ60 – a francophone object-naming standardized task – were then compared to investigate the within-level generalization effect of Fr-PCA.

For untreated items, the analysis is based on baseline and post-therapy performance. When looking at Figure 3, all participants improved from the average baseline accuracy to post-therapy. Looking at the effect size of within-level generalization following Fr-PCA to untreated items, two participants show large effect sizes (MA2, ES=26.06; MA3, ES=18.61), four participants show small effect size of improvement on untreated (MA4, ES=5.20; BA2, ES=5.44; BA3, ES=6.05; BA4, ES=6.41), and two participants show non-significant effect size (MA1 and BA1). As for the WEST analysis, four participants show both significant WEST-ROC and WEST-Trend (MA2, MA3, BA3 and BA4). Additionally, one participant shows a significant WEST-ROC (BA3), and two show a significant WEST-Trend (MA1 and BA1).

**Figure 3**

*Accuracy rate for each participant for treated and untreated items at each picture-naming probe. Trtd = treated items (20) and untrtd = untreated items (40).*



Pre- and post-therapy z-scores, along with variation scores for the comprehensive language assessments, are included in Table 4. These scores were compared to assess within- and across-level generalization. A sign test was conducted to determine if Fr-PCA significantly affected participants' performance variance pre-therapy to post-therapy on standardized language tests. When examining within-level generalization with regard to a standardized test, Fr-PCA led to statistically significant improvements for object naming (TDQ-60) within our participants ( $p=0.016$ ). Participants BA2 and BA3 performed within the normal range pre-therapy, and participant MA1 was at ceiling performance pre-therapy on this test. All other participants showed severe impairment ( $< -2$  SD) and improved significantly following Fr-PCA. Please refer to the supplementary material for a detailed description of the sign-test results in Table 4.

Clinically, a variation greater than +1 SD generally indicates a significant improvement. Following Fr-PCA, on the TDQ60, MA1 showed no variation as he was already at ceiling pre-therapy, and BA3 showed only slight improvement (+0.450). All other participants showed significant variation scores (MA2, MA3, MA4, BA1, BA2, BA4).

A Mann-Whitney U test was conducted to see if there was a difference between mPWA and bPWA in variations from pre-therapy to post-therapy on the TDQ60 performance (see Table 4). There was no statistically significant difference in the z-score variation between monolinguals and bilinguals.

**Tableau 4**

*Pre-therapy, post-therapy and variation of z-scores for all participants, exact sign test results testing the statistical difference between pre- and post-therapy for within-level generalization (TDQ60) and across-level generalization (DVL38, Verbal fluency, Repetition, oral comprehension, Cinderella story (MC)) and the Mann–Whitney U test results testing for statistical difference between groups' variation scores*

		Standardized tests					Discourse
		TDQ60†	DVL38†	Verbal fluency†	Repetition†	Oral Comprehension†	Cinderella story (MC)
MA1	Pre	1.032	0.046	-0.434	1.009	0.891	37
	Post	1.032	0.602	-0.273	1.009	0.891	39

	Variation	0.000	0.556	0.161	0.000	0.000	2
MA2	Pre	-14.148	-8.338	-3.660	-2.595	-7.525	12
	Post	-6.030	-6.629	-3.337	-0.793	-3.564	NR
	Variation	<b>8.118</b>	<b>1.709</b>	0.323	<b>1.802</b>	<b>3.960</b>	NR
MA3	Pre	-11.934	0.367	-3.836	0.699	-3.819	29
	Post	-5.292	0.451	-2.471	0.699	-2.079	66
	Variation	<b>6.642</b>	0.083	<b>1.365</b>	0.000	<b>1.740</b>	<b>37</b>
MA4	Pre	-25.851	-5.679	-3.982	-26.018	-6.535	4
	Post	-18.194	-3.020	-3.337	-23.315	-5.545	6
	Variation	<b>7.658</b>	<b>2.659</b>	0.645	<b>2.703</b>	0.990	2
BA1	Pre	-10.086	-0.695	-2.208	1.009	-0.099	25
	Post	-5.131	-0.046	-2.047	1.009	0.891	62
	Variation	<b>4.955</b>	0.649	0.161	0.000	0.990	<b>37</b>
BA2	Pre	-0.626	0.209	-1.724	-0.793	-0.594	27
	Post	0.725	0.209	-0.918	0.108	0.396	32
	Variation	<b>1.351</b>	0.000	0.806	0.901	0.990	5
BA3	Pre	-0.626	-1.066	-2.208	1.009	0.891	38
	Post	-0.176	0.324	-1.402	1.009	0.396	43
	Variation	0.450	<b>1.390</b>	0.806	0.000	-0.495	5
BA4	Pre	-6.932	0.417	-3.781	0.697	0.324	27
	Post	-4.230	0.510	-3.781	0.697	-0.099	45
	Variation	<b>2.703</b>	0.093	0.000	0.000	-0.423	<b>18</b>
sign test standardized statistic		2.268	2.268	2.268	1.155	0.756	2.268
exact sig (2 sided test) p-value		<b>0.016</b>	<b>0.016</b>	<b>0.016</b>	0.250	0.453	<b>0.016</b>
CI 95		<b>[0.450–7.658]</b>	<b>[0.083–1.709]</b>	<b>[0.161–0.806]</b>	[0.000–1.802]	[0.423–1.740]	<b>[2–37]</b>
Mean variation score for mPWA group (SD)		5.60 (3.79)	1.25 (1.16)	0.62 (0.53)	1.13 (1.35)	1.67 (1.68)	7.50 (20.60)
Mean variation score for bPWA group (SD)		2.36 (1.96)	0.53 (0.64)	0.44 (0.42)	0.23 (0.45)	0.27 (0.84)	16.25 (15.13)
Mann-Whitney U (stand. test statistic)		4.000 (-1.155)	5.000 (-0.866)	6.500 (-0.438)	5.000 (-0.992)	3.000 (-1.479)	12.500 (1.323)
exact sig. (2-sided) p value		0.343	0.486	0.686	0.486	0.200	0.200
CI 95		[1.687–6.192]	[0.010–1.616]	[0.161–0.559]	[0.010–1.802]	[0.423–2.235]	[-16–3]

TDQ60, *Test de denomination de Québec* – object naming test; DVL38, *Dénomination de verbes lexicaux* verb naming test; *Tasks taken from the Montreal-Toulouse 86 Protocol* - oral comprehension, repetition, verbal fluency; †scores presented are transformed z-scores according to test administration booklet; MC, Main concept score calculated as per Richardson and Dalton (2016). NR, not reported. In **green** are the variation z-scores > 1 SD for normalized tests. SD, standard deviation. CI 95 for the sign test and the Mann Whitney U test correspond to 95%

---

confidence interval for the median value. mPWA were used as reference group for the calculation of the CI95 for the Mann Whitney U test.

---

In sum, the converging results of effect size and WEST statistics for the untreated item and the improvement on the TDQ60 suggest variable within-level generalization. MA2 and MA3 show strong evidence of within-level generalization, BA3 and BA4 show moderate evidence, MA4, BA1 and BA2 show weak evidence, whereas MA1 shows no evidence.

### 3.1.3 Across-level Generalization

When measuring across-level generalization with standardized tests, Fr-PCA led to statistically significant improvements for verb naming (DVL-38), verbal fluency task, and narrative discourse informativeness, showing across-level generalization in all participants with PWA, except for MA1, who was within normal range for all standardized test and did not improve significantly for the main concept score. These results are displayed in Table 4.

Looking closer at the DVL38 results, in this sample, 2 participants showed severe impairments (MA2 and MA4) pre-therapy and made clinically significant gains (respectively +1.707 and +2.659). BA3, who showed impairments that did not quite reach the mild impairment criteria ( $z$ -score = -1.066), also made clinically significant gains. All other participants performed within the normal range and did not show clinically significant variations. Considering the verbal fluency task performance, among the 7 participants with severe impairment (MA2, MA3, MA4, BA1, BA2, BA3, BA4), only one participant (MA3) made clinically significant improvements. Post-therapy, 2 participants (BA2 and BA3) made sufficient gains to no longer meet the criteria for a severe impairment. Finally, when looking at the main concept scores for the Cinderella discourse, all participants that completed the task at both assessments improved, though a wide range of gains was found (CI95 [2–37]).

To compare group differences (mPWA vs bPWA), a Mann-Whitney U test was conducted using variation scores from the standardized test (see Table 4). None of the variation scores on standardized tests showed a statistically significant difference between monolinguals and bilinguals.

### 3.1.4 Transfer

Six PWA completed the Flanker task before and after therapy (2 mPWA and 4 bPWA). Pre-therapy and post-therapy Flanker task outcome measures are included in Table 5. An exact sign test was conducted due to the asymmetrical distribution of differences. The sign test was conducted to determine if Fr-PCA had induced a statistically significant change in participants' performance from pre-therapy to post-therapy on the Flanker task. For our sample of PWA, no statistically significant change in any cognitive control outcome measure (Flanker effect, error rate, and RT for both conditions) was found.

Looking at the Flanker effect and raw response times for both conditions, 4 of the 6 participants who completed the task at both assessments (MA1, MA3, BA3, BA4) improved in terms of interference suppression and speed. BA1 and BA2 showed increased response times post-therapy for both conditions and an increased Flanker effect. In terms of error rates, MA1 showed an improvement for the incongruent condition (-0.05 in error rate), whereas MA3 showed an important increase (+0.11 in error rate) at the post-therapy assessment. BA1, BA2, BA3 and BA4 did not show any variation; all demonstrated between 0.00 and 0.01 error rates in both conditions. Noteworthy, two monolingual participants who were unable to perform the task before therapy were able to perform the task after, an improvement that statistical analysis cannot capture.

A Mann-Whitney U test was performed to determine if there is any difference between mPWA and bPWA in the post-therapy Flanker task performance (Table 5). There was no statistically significant difference between groups for the Flanker effect and raw RTs in the congruent and incongruent conditions. There was, however, a statistically significant difference between groups for error rates. In the congruent and incongruent conditions, mPWA (mean rank = 6.5) had a statistically significantly higher error rate than bPWA (mean rank = 2.5) (respectively,  $U = 0.000$ ,  $z = -2.381$ ,  $p = 0.029$ ,  $U = 0.000$ ,  $z = -2.337$ ,  $p = 0.029$ ).

Looking closer at the data, MA4 showed a lower Flanker effect than all bPWA, and MA3 showed a lower Flanker effect than BA1, BA2 and BA3, whereas MA1 and MA4 showed more significant Flanker effects than all bPWA. Regarding response times, MA2 and MA4 responded the slowest (RT > 1200 ms in both conditions). MA3 showed the fastest response times in all conditions, and



MA1 showed faster response times than BA1, BA2 and BA3 for the congruent condition (at the cost of making more errors). In the incongruent condition, bPWA were faster than MA1, MA2 and MA4. In terms of error rates, in both conditions, mPWA showed higher error rates than bPWA (CI95=[0.05–0.26] for the congruent condition and CI95=[0.25–0.31] for the incongruent condition). MA3 was thus the fastest participant but maintained a higher error rate than bPWA.

**Tableau 5**

*Pre-therapy and post-therapy Flanker task outcome measure performances, exact sign test results testing the statistical difference between pre- and post-therapy, and Mann Whitney U testing if groups significantly differ post-therapy.*

		Flanker effect (ms)	Error rate congruent	Error rate incongruent	Response time (ms) Congruent	Response time (ms) Incongruent
MA1	Pre	293.74	0.03	0.19	739.37	1033.11
	Post	227.86	0.05	0.14	677.99	905.85
	Variation	<b>-65.88</b>	0.02	<b>-0.05</b>	<b>-61.38</b>	<b>-127.26</b>
MA2	Pre	NR	NR	NR	NR	NR
	Post	46.51	0.26	0.31	1321.46	1367.97
	Variation	NR	NR	NR	NR	NR
MA3	Pre	131.28	0.04	0.15	602.64	733.92
	Post	55.86	0.05	0.26	510.21	566.07
	Variation	<b>-75.42</b>	0.01	0.11	<b>-92.43</b>	<b>-167.85</b>
MA4	Pre	NR	NR	NR	NR	NR
	Post	193.50	0.28	0.61	1216.10	1409.60
	Variation	NR	NR	NR	NR	NR
BA1	Pre	95.74	0.00	0.01	697.65	793.38
	Post	158.26	0.00	0.01	738.09	896.36
	Variation	62.52	0.00	0.00	40.44	102.98
BA2	Pre	100.73	0.00	0.00	717.85	818.58
	Post	135.25	0.00	0.00	731.34	866.60
	Variation	34.52	0.00	0.00	13.49	48.02
BA3	Pre	142.64	0.01	0.01	911.29	1053.93
	Post	75.44	0.01	0.01	758.40	833.85
	Variation	<b>-67.20</b>	0.00	0.00	<b>-152.89</b>	<b>-220.08</b>
BA4	Pre	59.06	0.00	0.00	714.70	773.77
	Post	50.27	0.00	0.00	620.69	670.96
	Variation	<b>-8.79</b>	0.00	0.00	<b>-94.01</b>	<b>-102.81</b>
sign test standardized statistic		-0.408	0.707	0.000	-0.408	-0.408
exact sig (2 sided test) p-value		0.688	0.500	1.000	0.688	0.688

CI95	[-75.42–62.52]	[0.00–0.02]	[-0.05–0.11]	[-152.89–40.44]	[-220.08–102.98]
Post-therapy mean (SD) mPWA	130.93 (93.22)	0.16 (0.13)	0.33 (0.20)	931.44 (397.83)	1062.37 (401.98)
Post-therapy mean (SD) bPWA	104.81 (50.40)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	712.13 (62.04)	816.94 (100.62)
Mann Whitney U (stand. test statistic)	7.000 (-0.289)	0.000 (-2.381)	0.000 (-2.337)	7.000 (-0.289)	4.000 (-1.155)
exact sig (2 sided test) p- value	0.886	<b>0.029</b>	<b>0.029</b>	0.889	0.343
CI95	[-28.93–92.61]	[0.05–0.26]	[0.25–0.31]	[-80.41–563.06]	[9.49–534.12]

NR, not reported, In **green** are improvements (reduced error rate or reduced RT). SD, standard deviation. CI 95 for the sign test and the Mann Whitney U test correspond to 95% confidence interval for the median value. mPWA were used as reference group for the calculation of the CI95 for the Mann Whitney U test.

### 3.2 Impact of Lesion Location

A subset of ROIs damaged in at least 2 mPWA and 2 bPWA was identified to perform the statistical analysis. All participants have a single left hemisphere stroke; thus, the damaged ROIs are all in the left hemisphere. The Table in Appendix B details the participants with damage to each ROI and the number of voxels damaged in each ROI per participant. The Mann-Whitney U test results are provided for all ROIs for which at least one participant per group shows damage. There was no significant difference between groups for lesion location and extent of damage (in voxel numbers).

The subset of ROIs damaged in at least 2 mPWA and 2 bPWA in our sample is composed of: the insular cortex, the frontal operculum cortex, the central opercular cortex, the frontal orbital cortex, the pars opercularis in the IFG, the MFG, the precentral gyrus, the postcentral gyrus, the temporal pole, Heschl's gyrus (includes H1 and H2), the temporooccipital part of the MTG, the superior parietal lobule (SPL) and the planum polare. The subset covers ROIs throughout the frontotemporoparietal network known to be involved in language and cognitive control.

It is important to note that 4 mPWA showed damage to the posterior division of the SMG, but only 1 bPWA showed damage to this ROI. Similarly, 3 mPWA showed damage to the AnG, but no bPWA showed damage to this ROI. 3 mPWA showed damage to the parietal operculum cortex, but only 1 bPWA showed damage to this ROI. However, these ROIs were not included in the correlation analysis because participants from only one group showed lesions in the areas.

### 3.2.1 Lesion Location and Behavioural Performance Pretherapy

A Spearman's correlation was performed between the number of voxels within the ROIs covered with the lesion mask and the pretherapy language scores, and the Flanker task performance (for all participants; Table 6). There is a strong monotonic correlation between the pretherapy word naming score and the amount of damage in the MFG (TDQ;  $r_s=0.740$ ,  $p=0.036$ ) and the pars opercularis of the IFG ( $r_s=0.740$ ,  $p=0.036$ ). The pretherapy performance on the verbal fluency task correlated very strongly with the damage to MFG ( $r_s= 0.836$  ,  $p=0.010$  ) and strongly with the amount of damage in the pars opercularis ( $r_s= 0.797$  ,  $p=0.018$  ), the precentral gyrus ( $r_s= 0.712$  ,  $p=0.048$  ), the temporal pole ( $r_s= 0.721$  ,  $p= 0.044$  ) and the anterior division of the STG ( $r_s= 0.768$  ,  $p=0.026$  ).

When looking at the data, participants with the largest lesions in these ROIs performed well on the TDQ and the verbal fluency task pre-therapy, leading to a positive correlation. There were no significant correlations between the pretherapy scores on the DVL38, the oral comprehension task, the repetition task, and the narrative discourse task.

When considering the cognitive control task outcome measures, a strong positive correlation appears between the Flanker Effect and the damage to the pars opercularis ( $r_s=0.820$ ,  $p=0.046$ ), the temporal pole ( $r_s=0.820$ ,  $p=0.046$ ) and Heschl's Gyrus ( $r_s=0.820$ ,  $p=0.046$ ) indicating difficulty in interference suppression with larger lesion size in these ROIs. The results presented do not survive correction for multiple comparisons.

#### **Tableau 6**

*Significant correlations between damaged voxels within ROI and pre-therapy standardized language scores and cognitive control performance outcomes.*

Language task	ROI	Spearman's rho	N	p
TDQ	Middle Frontal Gyrus	0.740	8	0.036
	Inferior Frontal Gyrus, pars opercularis	0.740	8	0.036
Verbal fluency	Middle Frontal Gyrus	0.836	8	0.010
	Inferior Frontal Gyrus, pars opercularis	0.797		0.018
	Precentral Gyrus	0.712	8	0.048
	Temporal Pole	0.721	8	0.044
Flanker Effect	Inferior Frontal Gyrus, pars opercularis	0.820	6	0.046

Flanker – congruent condition RT	Temporal Pole	0.820	6	0.046
	Heschl's gyrus (includes H1 and H2)	0.820	6	0.046
	Inferior Frontal Gyrus, pars opercularis	0.880	6	0.021
	Temporal Pole	0.880	6	0.021
	Postcentral Gyrus	0.941	6	0.005
	Frontal Operculum Cortex	0.912	6	0.011
	Central Opercular Cortex	0.928	6	0.008
	Parietal Operculum Cortex	0.845	6	0.034
	Planum Polare	0.928	6	0.008
	Heschl's gyrus (includes H1 and H2)	0.880	6	0.021
Flanker – incongruent condition RT	Inferior Frontal Gyrus, pars opercularis	0.880	6	0.021
	Temporal Pole	0.880	6	0.021
	Postcentral Gyrus	0.941	6	0.005
	Central Opercular Cortex	0.841	6	0.036
	Parietal Operculum Cortex	0.845	6	0.034
	Planum Polare	0.801	6	0.036
	Heschl's gyrus (includes H1 and H2)	0.880	6	0.021

---

The results presented do not survive correction for multiple comparisons.

---

### 3.2.2 Effect of Lesion Location on Therapy Outcome

A Spearman's rank-order correlation was run to assess the relationship between the extent of the damage to ROIs and the variation of scores on linguistic tasks for all PWA (see Table 7). The variation score of the treated items correlated negatively with damage to the precentral gyrus ( $r_s = -0.878$ ,  $p = 0.004$ ), the central opercular gyrus ( $r_s = -0.826$ ,  $p = 0.011$ ), the MFG ( $r_s = -0.761$ ,  $p = 0.028$ ), the postcentral gyrus ( $r_s = -0.756$ ,  $p = 0.030$ ) and the SPL ( $r_s = -0.781$ ,  $p = 0.022$ ). The variation score of the untreated items correlated negatively to damage in the Heschl's gyrus ( $r_s = -0.919$ ,  $p = .001$ ) and the postcentral gyrus ( $r_s = -0.761$ ,  $p = 0.028$ ). The change in the narrative discourse task is strongly correlated negatively to the damage in the insular cortex ( $r_s = -0.744$ ,  $p = 0.034$ ). These results showing negative correlations suggest that larger lesion size is related to less therapy-induced improvement in language performance. Finally, a strong positive correlation is found between the variation score in the repetition task and the damage in the SPL ( $r_s = 0.755$ ,  $p = 0.030$ ). However, this correlation is driven by participants without damage to

the SPL performed at ceiling pretherapy and thus, did not show any variation. The results presented do not survive correction for multiple comparisons.

**Tableau 7**

*Significant correlations between damaged voxels within ROI and variation scores*

Variation score	ROI	Spearman's rho	N	p
Treated items	Middle Frontal Gyrus	-0.761	8	0.028
	Precentral Gyrus	-0.878	8	0.004
	Postcentral Gyrus	-0.756	8	0.030
	Superior Parietal Lobule	-0.781	8	0.022
	Central Opercular Cortex	-0.826	8	0.011
Untreated items	Postcentral Gyrus	-0.761	8	0.028
	Heschl's gyrus (includes H1 and H2)	-0.919	8	0.001
Repetition	Superior Parietal Lobule	0.755	8	0.030
Cinderella	Insular Cortex	-0.744	8	0.034

The results presented do not survive correction for multiple comparisons.

3.3 Role of Right Hemisphere

A Mann-Whitney U test was run with the cortical thickness generated by FreeSurfer to determine if there were differences between mPWA and bPWA. The ROIs with significant cortical thickness differences are presented in Table 8. For all ROIs that were significantly different between groups, the bPWAs have a significantly larger cortical thickness than mPWA, namely for the RH medial orbitofrontal gyrus, pars opercularis, precentral gyrus, rostral middle frontal gyrus, and frontal pole.

**Tableau 8**

*Right hemisphere cortical thickness with significant group difference between monolingual and bilingual participants with aphasia*

	Medial orbitofrontal gyrus	Pars opercularis	Precentral gyrus	Rostral middle frontal gyrus	Frontal pole
MA1	2.173	2.336	2.257	1.865	2.135
MA2	2.199	2.037	2.236	2.06	2.087
MA3	2.117	2.365	2.262	2.042	2.228
MA4	2.255	2.162	2.185	2.025	2.217

BA1	2.457	2.424	2.433	2.202	2.537
BA2	2.256	2.393	2.367	2.237	2.400
BA3	2.295	2.366	2.264	2.067	2.422
BA4	2.429	2.678	2.699	2.34	2.549
Mean (SD) mPWA	2.186 (0.057)	2.225 (0.154)	2.235 (0.035)	1.998 (0.090)	2.167 (0.067)
Mean (SD) bPWA	2.359 (0.099)	2.465 (0.144)	2.441 (0.186)	2.211 (0.113)	2.477 (0.077)
Mann-Whitney U (stand. test statistic)	0.000 (-2.309)	0.000 (-2.309)	0.000 (-2.309)	0.000 (-2.309)	0.000 (-2.309)
exact sig. (2- sided) p value	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029
CI95	[-0.256– -0.096]	[-0.342– -0.059]	[-0.248– -0.105]	[-0.298– -0.160]	[-0.335– -0.265]

SD, standard deviation. CI 95 for the Mann Whitney U test corresponds to 95% confidence interval for the median difference value. mPWA were used as reference group for the calculation of the CI95.

### 3.3.1 Correlation with Behavioural Performances

A Spearman's rank-order correlation assessed the relationship between the cortical thickness in the RH for ROIs that were significantly different between mPWA and bPWA and the linguistic and cognitive control tasks performances before therapy for all participants. Significant correlations were found only in the cognitive control task outcomes (see Table 9 for detailed statistical results). Namely, the Flanker effect was negatively correlated to the RH cortical thickness in the pars opercularis ( $r_s = -0.943$ ,  $p = 0.005$ ), the precentral gyrus ( $r_s = -0.943$ ,  $p = 0.005$ ), the rostral middle frontal gyrus ( $r_s = -0.886$ ,  $p = 0.019$ ) and the frontal pole ( $r_s = -0.829$ ,  $p = 0.042$ ), indicating less interference effect with larger cortical thickness for the undamaged ROIs in the RH. Also, there were negative correlations for these ROIs and the error rates in the congruent (medial orbitofrontal gyrus;  $r_s = -0.820$ ,  $p = 0.046$ , pars opercularis;  $r_s = -0.880$ ,  $p = 0.021$ , precentral gyrus;  $r_s = -0.880$ ,  $p = 0.021$  and rostral MFG;  $r_s = -0.880$ ,  $p = 0.021$ ) and the incongruent conditions (pars opercularis;  $r_s = -0.853$ ,  $p = 0.031$ , precentral gyrus;  $r_s = -0.853$ ,  $p = 0.03$  and rostral MFG;  $r_s = -0.971$ ,  $p = 0.001$ ), indicating faster response time on cognitive control task is related to larger cortical thickness for these ROIs.

### **Tableau 9**

*Significant correlations between cortical thickness in right hemisphere ROIs and pre-therapy cognitive control task outcomes*

Language task	ROI	Spearman's rho	N	p
Flanker Effect	Pars opercularis	-0.943	6	0.005
	Precentral gyrus	-0.943	6	0.005
	Rostral middle frontal gyrus	-0.886	6	0.019*
	Frontal pole	-0.829	6	0.042*
Flanker – congruent condition errors	Medial orbitofrontal gyrus	-0.820	6	0.046*
	Pars opercularis	-0.880	6	0.021*
	Precentral gyrus	-0.880	6	0.021*
	Rostral middle frontal gyrus	-0.880	6	0.021*
Flanker – incongruent condition error	Pars opercularis	-0.853	6	0.031*
	Precentral gyrus	-0.853	6	0.031*

---

\*These results do not survive correction for multiple comparisons.

---

## **4. Discussion**

The purpose of this study was to examine the effects of intensive SLT with Fr-PCA in monolingual and bilingual participants with chronic aphasia while exploring its effects on both linguistic and cognitive performance, by reference to left hemisphere damage, and potential RH contribution to recovery. Eight PWA participated in this study, four French mPWA and four French-English bPWA. Neither bPWA reported nor demonstrated atypical language switching or mixing behaviour (based on a spoken discourse performed in both languages) and showed better recovery of their L1, therefore qualifying for the French therapy program. All participants were compliant with therapy. To our knowledge, this is the first study investigating the effect of Fr-PCA across monolingual and bilingual PWA.

This study provides three main findings. First, Fr-PCA positively affected acquisition as demonstrated by the case series (improved accuracy in naming treated items), more so in bPWAs. Participants also showed within-level generalization (improved accuracy in naming untreated items), across-level generalization (improved performance in other linguistic tasks), and transfer (improvement on outcome measures from the Flanker task). Secondly,

performance on linguistic and cognitive tasks before Fr-PCA was related to the location of left hemisphere damage, and so was therapy gain. Lastly, several frontal regions in the RH, known for their role in cognitive control, showed increased cortical thickness in bPWA compared to mPWA, and this difference was related to pre-therapy cognitive performance. The set of findings is discussed by reference to the impact of bilingualism on aphasia recovery and, more precisely, in relation to the question of Fr-PCA efficacy, the impact of lesion location and the role of the RH in recovery.

#### 4.1 Efficacy of Fr-PCA

The first question investigated whether Fr-PCA would result in improvement for *acquisition*, *within-* and *across-level* generalization, and *transfer* – indices of treatment effects.

*Acquisition* In line with previous studies on the effect of PCA with mPWA (Leonard et al., 2008; Bose, 2013; Kristensson and Saldert, 2018; Marcotte et al., 2018), the results in this study show naming accuracy improvement for treated items following Fr-PCA, and extend these results to bPWA. Moreover, in this sample, bPWA show greater acquisition as measured by increased naming accuracy rate as compared to mPWA (bPWA: 2 participants show strong evidence, 2 participants show moderate evidence; mPWA: 1 participant shows strong evidence, 1 participant shows moderate evidence, 1 participant shows weak evidence, and 1 participant shows no evidence). More gain in acquisition for the bPWA finds support from a recent study showing the positive impact of bilingualism on phonological input processing using the oddball phonological paradigm measuring mismatch negativity (MMN; De Letter et al., 2021). De Letter et al. (2021) found a decrease in the latency of MMN in bPWA compared to monolingual peers suggesting that bPWA rely on their higher-order cognitive control network (which overlaps with the linguistic network; Abutalebi and Green, 2016) to restore their naming performance. In contrast, mPWA can only address the intact portions of the linguistic network, resulting in increased MMN latency and less recruitment of neurons underlying linguistic networks. Interestingly, strong evidence for improvement in our participants occurred in 3 participants (BA1, BA4, MA3) who had a smaller pre-therapy Flanker effect than other participants. The participant who showed weak/no evidence of improvement in acquisition either could not



perform the flanker task (MA4) or had a substantial Flanker effect (MA1; 294 msec). These results suggest that cognitive control ability assessed by Flanker task performance may play a role in the treatment gain in acquisition. However, these findings contrast with Simic et al. (2020), who did not find any impact of cognitive control in immediate therapy gains but for generalization. On the other hand, MA2, who also could not complete the Flanker task pre-therapy, showed moderate evidence of acquisition following Fr-PCA. Thus, cognitive control abilities most likely interact with other abilities, allowing PWA to fully benefit from intensive SLT.

*Within-level generalization* This study is also in line with previous studies showing improvement in naming accuracy rate for untreated items (Leonard et al., 2008) and extends these results to bPWA, confirming the hypothesis that Fr-PCA would lead to improvements in terms of within-level generalization. Concerning within-level generalization, strong evidence was seen for two of the mPWA (MA2, MA3), whereas bPWA showed moderate (BA2, BA4) to weak evidence (BA1, BA3) of improvement, based on the case-series analysis. However, a visual inspection of Figure 3 substantiates bPWA's post-therapy within-level generalization gains; only they could name untreated items to a certain level at the baseline phase, lessening the results. In contrast, mPWA were unable to name untreated items at the baseline phase, except for MA1, resulting in more robust evidence of within-level generalization in case-series analysis. The strong evidence seen for mPWA is because they went from no naming performance to some naming performance for the untreated items. Indeed, bPWA exhibit more stable improvement or less variability for within-level generalisation. This study observes within-level generalization beyond previous studies on PCA, with 7 out of 8 participants showing some evidence (Leonard et al., 2008). Our sample was similar to previous studies, and the protocol was identical, aside from the language used for therapy (first PCA study in French) and the impact of bilingualism. The multiple analysis methods in the case-series approach allowed a more detailed look at the within-level generalization. Most likely that using mean improvement in group analysis as a measure of improvement does not offer the sensitivity required to understand and discuss the trajectory of change in performance for within-level generalization following therapy targeting anomia.

*Across-level generalization* The current study also finds evidence of across-level generalization following the Fr-PCA protocol. We find improvement on standardized language assessment for verb naming and verbal fluency. These findings suggest that naming improvements following Fr-PCA are not item specific, i.e., limited to words treated in therapy (Hickin et al., 2002), but extend to untreated word categories and language domains such as verbs and verbal fluency. This supports previous evidence that PCA facilitates picture naming through spreading activation within the phonological system (Goldrick and Rapp, 2002; Nickels, 2002), similar to the generalization process suggested following semantic-feature analysis (Boyle, 2004). Furthermore, phonological cues have been shown to improve naming abilities for most PWA compared to semantic and controlled cues (Meteyard and Bose, 2018).

Further looking at the effects of Fr-PCA on narrative discourse informativeness, main concept scores improved for all participants. Connected speech is considered the gold standard for aphasia rehabilitation and translation of therapy gains into everyday life improvement. It is one of the essential therapy outcomes for PWA (Kagan et al., 2008) and facilitates social participation (Carragher et al., 2012; Dalton and Richardson, 2015). Nevertheless, few anomia-therapy-efficacy studies measure improvement in connected speech (Peach and Reuter, 2009; Kristensson and Saldert, 2018). In the present study, bPWA showed generally higher main concept variation scores (+16.25, SD=15.13) than monolinguals (+7.50, SD=20.60), although this did not reach statistical significance. The bilingual group's strengthened cognitive control mechanism could explain the larger across-level generalization seen in bPWA. Helm-Estabrook and Ratner (2000) have suggested that cognitive control deficits lead to failure to generalize therapy gains into everyday communication through discourse. Furthermore, Penn et al. (2010) provide evidence for bPWA having better conversation strategies – good topic management, repair, and flexibility – and better cognitive control performance when compared to their monolingual peers. Thus, the current study supports across-level generalization in connected speech functions such as verbal fluency and discourse. For across-level generalization (verb naming, verbal fluency, and narrative discourse), no specific group difference was evident when bPWA performance was compared to mPWA, indicating insufficient evidence to conclude

group-level differences in across-level generalization. A trend was, however, registered in the narrative discourse informativeness, advantaging bPWA.

*Transfer* The hypothesis concerning transfer effects following Fr-PCA is partially confirmed. Although the statistical comparison between pre- and post-therapy was inconclusive, potentially due to the limited number of participants having completed the Flanker task at both pre- and post-therapy assessment sessions, we do find four participants reducing the Flanker effect (MA1, MA3, BA3, BA4), indicating less interference from distractors after intensive SLT. Two additional participants (MA2 and MA4) who could not perform the task during the pre-therapy assessment were able to perform the task after intensive SLT suggesting a therapy-induced change in cognitive control task performance. Two bPWA (BA1, BA2) demonstrated higher Flanker effects post-therapy (+62.5 ms, +34.52 ms), indicating more interference from distractors. At the post-therapy assessment, these participants verbalized specially focussing on gaining more accuracy in their performance, probably leading to a speed-accuracy trade-off. Although we do not observe any accuracy variation for these participants (both participants displayed a 0.00 error rate for the congruent condition and 0.01 for the incongruent condition), their Flanker effects were in typical ranges based on difference scores provided in previous literature (Calabria et al., 2019). Interestingly, upon comparing the post-therapy accuracy scores, bPWA did show significantly better performances than mPWA, indicating better cognitive performance on the task, which is in line with previous studies (Mooijman et al., 2021). Thus, the evidence supporting the transfer of gains to cognitive task performance following Fr-PCA therapy is based on the fact that all participants could successfully perform the task post-therapy compared to pre-therapy and either performed at an expected level or showed some level of improvement, either in terms of speed (MA1, MA3, BA3, BA4), accuracy (MA1) or reduced interference (MA1, MA3, BA3, BA4).

When looking at trends in the data, there is much more variability within the mPWA group than in the bPWA in relation to initial impairments and gains made following Fr-PCA. The interaction between the performance on the Flanker task and the linguistic abilities also seems more present in the bPWA group. However, it is difficult to conclude that Fr-PCA is related to transfer in cognitive performance. Indeed, bPWA's better performance than their monolingual peers at

the Flanker task in this study (reported in Table 5) replicates results from previous literature (Dash and Kar, 2014; Alladi et al., 2016; Paplikar et al., 2018; Dekhtyar et al., 2020; Lahiri et al., 2020; Penaloza et al., 2020; Mooijman et al., 2021). Therefore, it may also be possible that inhibition – a subcomponent of cognitive control examined by the Flanker task performance – may be a necessary pre-requisite for therapy gains and generalization (Yeung and Law, 2010), a question which needs to be addressed in future studies.

#### 4.2 Impact of Lesion Location

The hypothesis concerning the effect of lesion location on cognitive and linguistic profiles was partially confirmed. Contrary to previous findings (Sims et al., 2016; Daria et al., 2019), the evidence shows that larger lesions in the left IFG (pars opercularis) and MFG corresponded to higher pre-therapy picture-naming performance; 3 out of the 4 participants with lesions in these ROIs perform within the normal range for the TDQ60 (MA1, BA2, BA3; MA2 shows severe impairments on the TDQ60). In contrast, participants with no lesion in these same ROIs showed extensive picture naming difficulties (MA3, MA4, BA1, BA4). The nature of this interaction between lesion size in the left IFG and MFG and naming performance remains unclear. Previous findings have shown that vascular topography of stroke lesions and the corresponding impact on different behavioural performances may share variance with the lesion size and location (Sperber et al., 2020). However, vascular topography of lesions and corresponding lesion-symptom mapping is only possible with a larger sample.

In line with previous studies (Cole and Schneider, 2007; Abutalebi et al., 2008; Fridriksson, 2010), lesion location affects recovery – smaller lesion size in specific language and cognitive control networks were related to greater therapy outcomes for acquisition, within-, and across-level generalization (see Table 6). Lesions in the left postcentral gyrus are associated with phonological errors; the left postcentral gyrus plays a role in online somatosensory and auditory monitoring of articulation (Schwartz et al., 2012; Mirman et al., 2019), whereas phonological processing impairments involve lesions in Heschl's gyrus (Ripamonti et al., 2018). Our results show that larger lesions in the left postcentral gyrus (MA1, MA2, MA4, BA2, BA3) and Heschl's gyrus (MA1, MA4, BA2, BA3) led to less improvement in treated and untreated items, possibly

indicating a lack of internalization of the strategy taught through Fr-PCA in the current study. The correlations in this study were not driven by any difference in groups in terms of the extent of damage within each ROI.

However, it is difficult to conclude that the trend of therapy-induced recovery differences between groups was not influenced by lesion location. Indeed, the mPWA in this sample showed more damage to the AnG (MA2, MA3 and MA4) and the SMG (MA1, MA2, MA3, MA4). None of the bPWA show damage to the AnG, and only BA3 shows damage to the SMG. Within the current cohort, MA2, MA3 and MA4 showed damage to the AnG, previously associated with less recovery (Fridriksson, 2010); it is relevant to imagine a relationship between the damage to the AnG and deficits in cognitive control. The AnG, part of the wider lateral parietal cortex, is involved in semantic memory and is associated with recollection in episodic memory (vs familiarity) (Humphreys et al., 2021). It would have been interesting to see if a bilingualism-related cognitive control advantage would have continued with AnG damage. However, this was not possible within the sample at hand as none of the bPWA show damage to this ROI.

Further, another core region in the language network, the posterior division of the SMG (Blumstein and Baum, 2016), shows more damage in the mPWA group than in the bPWA group. The SMG has been previously linked to error detection and correction and, importantly, phonological error production (Blumstein and Baum, 2016). In the sample, the participant with the largest damage to the SMG (MA4) is the participant with the most severe naming impairment, however, this trend does not apply to the other participants.

Participants with larger lesions in central ROIs in the cognitive control network (Cole and Schneider, 2007; Abutalebi et al., 2008) did exhibit more interference effect and slower RTs on the Flanker task. It is known that the cognitive control network is vulnerable to lesions related to anterior aphasia (Keil and Kaszniak, 2002), with various studies showing deficits in cognitive control mechanisms in aphasia (Purdy, 2002; Dash et al., 2017). Impairments in the cognitive control mechanism are associated with poorer therapy outcomes, less generalization in therapy, and reduced functional communication skills (Fridriksson, 2010; Lambon Ralph et al., 2010; Simic et al., 2019). This is consistent with our findings, showing poorer therapy outcomes with

lesions in the cognitive control network. However, with the current sample size, these finds can only be considered a trend and will need replication with larger study populations.

Finally, the lesion location data in this study also supports the relationship between cognitive control skills and discourse improvement, irrespective of the language group. We observe that more insular cortex damage (MA1, MA2, MA4, BA2, BA3, BA4) – part of the cognitive control network (Cole and Schneider, 2007) – triggers less improvement in narrative discourse performance. The insular cortex is also related to receptive language, expressive language, and language production (Oh et al., 2014). There was, however, no difference in the amount of damage to the insular cortex between groups. In sum, better therapy outcomes seen in bPWA compared to mPWA do not seem to be related to the amount of tissue damaged or location of the lesion. However, damage to the insular cortex is related to the discourse informativeness outcome across groups. This may indicate the therapy-specific impact of bilingualism-enhanced abilities, considering PCA treatment protocol relies heavily on cognitive control skills (Villard and Kiran, 2018). As developed by Leonard et al. (2008), the basic premise of PCA banks on cognitive control mechanisms as PCA requires actively generating or choosing between a succession of phonologically related cues to enhance the activation of phonological representations (Goldrick and Rapp, 2002) and ultimately improving word retrieval by internalizing the strategy. The succession of different cues for the same stimuli is particularly demanding in terms of inhibition – a subcomponent of cognitive control. bPWA may be more skilled in dealing with this constant demand.

#### 4.3 Role of Right Hemisphere

The third question looked at whether cortical thickness in the RH differed between bPWA and mPWA, given the role of RH in post-stroke language processing (or recovery) and bilingual experience-driven structural changes in the RH (Marin-Marín et al., 2022). Findings corroborated the prediction of differences in cortical thickness, where bPWA showed greater cortical thickness than mPWA in the medial orbitofrontal gyrus, the pars opercularis, the precentral gyrus, the rostral middle frontal gyrus and the frontal pole, areas involved in language and control network (Abutalebi and Green, 2016). Interestingly, with increased cortical

thickness in the ROIs mentioned above, there is a decrease in interference effect and errors in flanker task performance, a trend indicating better cognitive control. In line with Gainotti (2015), structural differences such as the increased cortical thickness in the undamaged RH found in the bPWA group in this sample may indicate structural reserve in the bilingual group. The cortical thickness for pars opercularis and precentral gyrus (bPWA>mPWA) correlated negatively with the Flanker task outcomes (Flanker effect and error rates in both conditions), suggesting that cognitive performance is related to the undamaged RH.

So, improvements in the therapy outcomes in the bPWA may be related to the structural differences in the critical areas in the RH related to cognitive control that drive more benefits from intensive SLT like Fr-PCA therapy. In line with Lahiri et al. (2020), the current study found a trend in which bPWA showed better therapy-induced improvement on picture-naming probes compared to mPWA, implying a bilingual advantage. Similarly, the better accuracy on the Flanker task in bilinguals compared to monolinguals supports a bilingual advantage. Considering the literature on the bilingual advantage leading to more preserved cognitive control in bPWA, it is reasonable that the bilingual group benefits more from a cognitively demanding therapy such as Fr-PCA. Intact cognitive control mechanisms may not only be an indicator for successful PCA therapy outcomes; PCA therapy, in turn, can potentially enhance the cognitive control mechanisms and be beneficial for all participants.

#### 4.4 General Discussion

All participants benefitted from Fr-PCA, either in the form of acquisition, generalization, or transfer, and demonstrated a variety of recovery profiles. The differences in severity of aphasia and variability in baseline performance of the participants could explain individual differences in the current study. Previous studies have reported that persons with more severe aphasia make less gains following therapy (Leonard et al., 2008; Kristensson and Saldert, 2018). Interestingly, participants with various impairment severity in the current study showed benefits from Fr-PCA. In seven participants out of eight showing some evidence of acquisition, difficulties ranged from mild to moderate (MA1), moderate (BA2, BA3, BA4), and moderate to severe (MA2, MA3, BA1). In line with a previous study by Kristensson and Saldert (2018), the participant with the most

severe deficits (MA4) benefitted less than others from Fr-PCA by reference to the primary outcome measure (acquisition, improvement on treated items) but made important improvements on standardized tests and improved sufficiently in cognitive control to be able to complete the Flanker task post-therapy. It is possible that participants with severe aphasia might require longer stimulation protocols (Doogan et al., 2018) to achieve significant therapy gain. In the case of MA4, as tolerance throughout therapies increased, the participant accomplished more items in each therapy session. Similar to these findings, previous studies on PCA reported recovery in different aphasia profiles, usually concluding that individuals with severe aphasia benefit less (Leonard et al., 2008; Bose, 2013; Kristensson and Saldert, 2018; Marcotte et al., 2018). Variability in baseline performances of the participants may also predict improvements. Hence, Duncan et al. (2016) suggested that the pre-therapy variability in naming performance predicts a higher response to therapy. Accordingly, less intra-individual variability in naming performance pre-therapy could indicate a (near) maximal recovery (Duncan et al., 2016) and thus less benefits.

Interestingly, damage in the cognitive control and language network regions was related to greater pre-therapy interference from distractors (as indicated by higher Flanker effect) and slower RTs on the Flanker task pre-therapy, along with less improvement in the treated items (Fridriksson, 2010). This trend could, in line with previous results, strengthen the claim that reduced cognitive control is linked to less benefit following ortho-phonological therapy (Yeung and Law, 2010). Moreover, higher cortical thickness in bilinguals' right homologous areas represents a structural difference associated with bilingualism (Olulade et al., 2016). The literature suggests that practising two languages may increase neural reserve (Li et al., 2014; Abutalebi et al., 2015). The results of this work suggest that, in the event of stroke-induced damage to key cognitive control processing areas, bilingual adults with aphasia may perform better than their monolingual peers by mobilizing this neural reserve during therapy and achieve better recovery. It is possible that although our participants were similar in many ways (no significant difference in socio-demographic factors and pre-therapy measures of linguistic abilities, see Appendix A), bPWA were more prepared for intensive SLT because of their better cognitive performance (measured by the Flanker task) and increased cortical thickness in the RH



than monolinguals resulting in better treatment gains following Fr-PCA; namely in acquisition discourse informativeness.

#### 4.5 Limitations

The number of participants in this study is higher than in previous works studying therapy-induced improvements following PCA. Still, a larger sample is required to argue better the role of bilingualism in following Fr-PCA-induced aphasia recovery, especially to corroborate the interpretations made from the neuroimaging data. The findings of this study should be interpreted cautiously, especially for the analyses based on subgroups of the total participants. These results should be considered a trend that can aid researchers in establishing sound hypotheses for future research with larger sample sizes.

Considerable heterogeneity is found in the participants with aphasia in the current study that limit the strength of the claims that can be made, even if this variability is well documented in the literature (Kiran et al., 2013). The variability in our sample could also explain why this study did not replicate Paplikar et al. (2018)'s finding that bilinguals have less severe aphasia. Indeed, MA1 did not perform like the other monolingual participants, showing less severe aphasia than the other bilingual participants. Also, as can be observed in Table 2, our bilingual sample is composed of late sequential bilinguals, usually with a professional goal of using a second language as motivation. They are now retired and use little English (L2) daily. This particular bilingual sample (in terms of characteristics) could also explain why we did not find correlations between the cognitive and linguistic profiles. Our findings are of new interest in the bilingual aphasia recovery literature, but these results cannot be generalized to the continuum of bilingualism.

#### 4.6 Future Directions

Future research could explore the effect of bilingualism on cognitive control and aphasia recovery by focusing on inter-individual variability in different measures of bilingualism (Kuzmina et al., 2019; Penaloza et al., 2020), such as the effect of late acquisition of L2 and the proficiency.

Furthermore, a larger sample is required to understand the effect of different predictor variables – aphasia-related and lesion-related – in the context of bilingualism. Finally, considering the growing evidence on the network correlates of cognitive and neural advantages in bilinguals showing equivalent behavioural performances (Berroir et al., 2017), future studies on bilingual aphasia recovery should also include functional connectivity measures for an in-depth comprehension of how different pre-morbid network configurations might be at the source of better aphasia recovery in bilinguals with aphasia.

### **Conflict of Interest**

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

### **Author Contributions**

Michèle Masson-Trottier: Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Investigation; Methodology; Writing - original draft; Writing - review & editing. Tanya Dash: Conceptualization; Formal analysis; Supervision; Writing - review & editing. Pierre Berroir: Formal analysis; Methodology. Ana Inés Ansaldo: Funding acquisition; Resources; Methodology; Supervision; Writing - review & editing.

### **Funding**

This work was supported by the Canadian Institutes of Health Research [grant number MOP 137031].

The main author received a Ph.D. scholarship from the Canadian Institutes of Health Research [grant number GSD 164193].

### **Acknowledgments**

The authors would like to thank participants with aphasia for their time and effort. The authors would also like to acknowledge the help of Alexandru Hanganu for the revision of the MRI methodology.

## References

Abutalebi, J., Annoni, J.M., Zimine, I., Pegna, A.J., Seghier, M.L., Lee-Jahnke, H., et al. (2008). Language control and lexical competition in bilinguals: an event-related fMRI study. *Cereb Cortex* 18(7), 1496-1505. doi: 10.1093/cercor/bhm182.

Abutalebi, J., Canini, M., Della Rosa, P.A., Sheung, L.P., Green, D.W., and Weekes, B.S. (2014). Bilingualism protects anterior temporal lobe integrity in aging. *Neurobiol Aging* 35(9), 2126-2133. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2014.03.010.

Abutalebi, J., and Green, D. (2007). Bilingual language production: The neurocognition of language representation and control. *Journal of Neurolinguistics* 20(3), 242-275. doi: 10.1016/j.jneuroling.2006.10.003.

Abutalebi, J., and Green, D.W. (2016). Neuroimaging of language control in bilinguals: neural adaptation and reserve. *Bilingualism-Language and Cognition* 19(4), 689-698. doi: 10.1017/S1366728916000225.

Abutalebi, J., Guidi, L., Borsa, V., Canini, M., Della Rosa, P.A., Parris, B.A., et al. (2015). Bilingualism provides a neural reserve for aging populations. *Neuropsychologia* 69, 201-210. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2015.01.040.

Abutalebi, J., Rosa, P.A., Tettamanti, M., Green, D.W., and Cappa, S.F. (2009). Bilingual aphasia and language control: a follow-up fMRI and intrinsic connectivity study. *Brain Lang* 109(2-3), 141-156. doi: 10.1016/j.bandl.2009.03.003.

Alladi, S., Bak, T.H., Mekala, S., Rajan, A., Chaudhuri, J.R., Mioshi, E., et al. (2016). Impact of Bilingualism on Cognitive Outcome After Stroke. *Stroke* 47(1), 258-261. doi: 10.1161/STROKEAHA.115.010418.

Allison, D.B., Silverstein, J.M., and Gorman, B.S. (1996). "Power, Sample Size Estimation, and Early Stopping Rule," in *Design and Analysis of Single-Case Research*, eds. R.D. Franklin, B.S. Gorman & D.B. Allison. (New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers), 391.

Anglade, C., Thiel, A., and Ansaldo, A.I. (2014). The complementary role of the cerebral hemispheres in recovery from aphasia after stroke: a critical review of literature. *Brain Inj* 28(2), 138-145. doi: 10.3109/02699052.2013.859734.

Ansaldo, A.I., Ghazi-Saidi, L., and Adrover-Roig, D. (2015). Interference Control In Elderly Bilinguals: Appearances Can Be Misleading. *J Clin Exp Neuropsychol* 37(5), 455-470. doi: 10.1080/13803395.2014.990359.

Ansaldo, A.I., and Saidi, L.G. (2014). Aphasia therapy in the age of globalization: cross-linguistic therapy effects in bilingual aphasia. *Behav Neurol* 2014, 603085. doi: 10.1155/2014/603085.

Ardila, A., and Lahiri, D. (2020). "Aphasia in Bilinguals". Cold Spring Harbor Laboratory).

Beeson, P.M., and Robey, R.R. (2006). Evaluating single-subject treatment research: lessons learned from the aphasia literature. *Neuropsychol Rev* 16(4), 161-169. doi: 10.1007/s11065-006-9013-7.

Béland, R., and Lecours, A.R. (1990). The mt-86  $\beta$  aphasia battery: A subset of normative data in relation to age and level of school education. *Aphasiology* 4(5), 439-462. doi: 10.1080/02687039008248786.

Benghanem, S., Rosso, C., Arbizu, C., Moulton, E., Dormont, D., Leger, A., et al. (2019). Aphasia outcome: the interactions between initial severity, lesion size and location. *J Neurol* 266(6), 1303-1309. doi: 10.1007/s00415-019-09259-3.

Berroy, P., Ghazi-Saidi, L., Dash, T., Adrover-Roig, D., Benali, H., and Ansaldo, A.I. (2017). Interference control at the response level: Functional networks reveal higher efficiency in the bilingual brain. *Journal of Neurolinguistics* 43, 4-16. doi: 10.1016/j.jneuroling.2016.09.007.

Bialystok, E. (2009). Bilingualism: The good, the bad, and the indifferent. *Bilingualism-Language and Cognition* 12(1), 3-11. doi: 10.1017/S1366728908003477.

Bialystok, E., Craik, F.I., Klein, R., and Viswanathan, M. (2004). Bilingualism, aging, and cognitive control: evidence from the Simon task. *Psychol Aging* 19(2), 290-303. doi: 10.1037/0882-7974.19.2.290.

Blumstein, S.E., and Baum, S.R. (2016). "Chapter 55 - Neurobiology of Speech Production: Perspective from Neuropsychology and Neurolinguistics," in *Neurobiology of Language*, eds. G. Hickok & S.L. Small. (San Diego: Academic Press), 689-699.

Bose, A. (2013). Phonological therapy in jargon aphasia: effects on naming and neologisms. *Int J Lang Commun Disord* 48(5), 582-595. doi: 10.1111/1460-6984.12038.

Boyle, M. (2004). Semantic feature analysis treatment for anomia in two fluent aphasia syndromes. *Am J Speech Lang Pathol* 13(3), 236-249. doi: 10.1044/1058-0360(2004/025).

Boyle, M., and Coelho, C.A. (1995). Application of Semantic Feature Analysis as a Treatment for Aphasic Dysnomia. *American Journal of Speech-Language Pathology* 4(4), 94-98. doi: 10.1044/1058-0360.0404.94.

Brady, M.C., Kelly, H., Godwin, J., Enderby, P., and Campbell, P. (2016). Speech and language therapy for aphasia following stroke. *Cochrane Database Syst Rev* (6), CD000425. doi: 10.1002/14651858.CD000425.pub4.

Brodeur, M., Dion-Lessard, G., Chauret, M., Dionne-Dostie, E., Montreuil, T., and Lepage, M. (2011). The Bank of Standardized Stimuli (BOSS): a new normative dataset of 480 visual stimuli to be used in visual cognition research. *Journal of Vision* 11(11), 825-825.

Calabria, M., Grunden, N., Serra, M., Garcia-Sanchez, C., and Costa, A. (2019). Semantic Processing in Bilingual Aphasia: Evidence of Language Dependency. *Front Hum Neurosci* 13, 205. doi: 10.3389/fnhum.2019.00205.

Carragher, M., Conroy, P., Sage, K., and Wilkinson, R. (2012). Can impairment-focused therapy change the everyday conversations of people with aphasia? A review of the literature and future directions. *Aphasiology* 26(7), 895-916. doi: 10.1080/02687038.2012.676164.

Coelho, C.A., McHugh, R.E., and Boyle, M. (2000). Semantic feature analysis as a treatment for aphasic dysnomia: A replication. *Aphasiology* 14(2), 133-142. doi: 10.1080/026870300401513.

Cole, M.W., and Schneider, W. (2007). The cognitive control network: Integrated cortical regions with dissociable functions. *Neuroimage* 37(1), 343-360. doi: 10.1016/j.neuroimage.2007.03.071.

Costa, A., Hernandez, M., Costa-Faidella, J., and Sebastian-Galles, N. (2009). On the bilingual advantage in conflict processing: now you see it, now you don't. *Cognition* 113(2), 135-149. doi: 10.1016/j.cognition.2009.08.001.

Croft, S., Marshall, J., Pring, T., and Hardwick, M. (2011). Therapy for naming difficulties in bilingual aphasia: which language benefits? *Int J Lang Commun Disord* 46(1), 48-62. doi: 10.3109/13682822.2010.484845.

Dalton, S.G., and Richardson, J.D. (2015). Core-Lexicon and Main-Concept Production During Picture-Sequence Description in Adults Without Brain Damage and Adults With Aphasia. *Am J Speech Lang Pathol* 24(4), S923-938. doi: 10.1044/2015\_AJSLP-14-0161.

Daria, F., Elena, P., Galina, P., Olga, M., and Alina, T. (2019). "The influence of lesion volume, cortex thickness and lesion localization on chronic post-stroke aphasia severity", in: 2019 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI). (Xiamen, China).

Dash, T., Berroir, P., Joannette, Y., and Ansaldo, A.I. (2019). Alerting, Orienting, and Executive Control: The Effect of Bilingualism and Age on the Subcomponents of Attention. *Front Neurol* 10, 1122. doi: 10.3389/fneur.2019.01122.

Dash, T., Ghazi-Saidi, L., Berroir, P., Adrover-Roig, D., Benali, H., and Ansaldo, A.I. (2017). Is the bilingual brain better equipped for aging? Studies on neural and cognitive reserve in elderly bilinguals. *OLBI Working Papers* 8. doi: 10.18192/olbiwp.v8i0.2120.

Dash, T., and Kar, B.R. (2014). Bilingual language control and general purpose cognitive control among individuals with bilingual aphasia: evidence based on negative priming and flanker tasks. *Behav Neurol* 2014, 679706. doi: 10.1155/2014/679706.

De Letter, M., Cocquyt, E.M., Cromheecke, O., Criel, Y., De Cock, E., De Herdt, V., et al. (2021). The Protective Influence of Bilingualism on the Recovery of Phonological Input Processing in Aphasia After Stroke. *Front Psychol* 11, 553970. doi: 10.3389/fpsyg.2020.553970.

- Dekhtyar, M., Kiran, S., and Gray, T. (2020). Is bilingualism protective for adults with aphasia? *Neuropsychologia* 139, 107355. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2020.107355.
- DeLuca, V., Rothman, J., Bialystok, E., and Pliatsikas, C. (2019). Redefining bilingualism as a spectrum of experiences that differentially affects brain structure and function. *Proc Natl Acad Sci U S A* 116(15), 7565-7574. doi: 10.1073/pnas.1811513116.
- Doogan, C., Dignam, J., Copland, D., and Leff, A. (2018). Aphasia Recovery: When, How and Who to Treat? *Curr Neurol Neurosci Rep* 18(12), 90. doi: 10.1007/s11910-018-0891-x.
- Duncan, E.S., Schmah, T., and Small, S.L. (2016). Performance Variability as a Predictor of Response to Aphasia Treatment. *Neurorehabil Neural Repair* 30(9), 876-882. doi: 10.1177/1545968316642522.
- Eriksen, B.A., and Eriksen, C.W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & psychophysics* 16(1), 143-149.
- Evans, W.S., Hula, W.D., Quique, Y., and Starns, J.J. (2020). How Much Time Do People With Aphasia Need to Respond During Picture Naming? Estimating Optimal Response Time Cutoffs Using a Multinomial Ex-Gaussian Approach. *J Speech Lang Hear Res* 63(2), 599-614. doi: 10.1044/2019\_JSLHR-19-00255.
- Faroqi-Shah, Y., Frymark, T., Mullen, R., and Wang, B. (2010). Effect of treatment for bilingual individuals with aphasia: A systematic review of the evidence. *Journal of Neurolinguistics* 23(4), 319-341. doi: 10.1016/j.jneuroling.2010.01.002.
- Faroqi-Shah, Y., Sampson, M., Pranger, M., and Baughman, S. (2018). Cognitive control, word retrieval and bilingual aphasia: Is there a relationship? *Journal of Neurolinguistics* 45, 95-109. doi: 10.1016/j.jneuroling.2016.07.001.
- Felton, A., Vazquez, D., Ramos-Nunez, A.I., Greene, M.R., McDowell, A., Hernandez, A.E., et al. (2017). Bilingualism Influences Structural Indices of Interhemispheric Organization. *J Neurolinguistics* 42, 1-11. doi: 10.1016/j.jneuroling.2016.10.004.

- Fischl, B. (2012). FreeSurfer. *Neuroimage* 62(2), 774-781. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.01.021.
- Fischl, B., and Dale, A.M. (2000). Measuring the thickness of the human cerebral cortex from magnetic resonance images. *Proc Natl Acad Sci U S A* 97(20), 11050-11055. doi: 10.1073/pnas.200033797.
- Fischl, B., Sereno, M.I., and Dale, A.M. (1999). Cortical Surface-Based Analysis: II: Inflation, Flattening, and a Surface-Based Coordinate System. *NeuroImage* 9(2), 195-207. doi: <https://doi.org/10.1006/nimg.1998.0396>.
- Fischl, B., van der Kouwe, A., Destrieux, C., Halgren, E., Segonne, F., Salat, D.H., et al. (2004). Automatically parcellating the human cerebral cortex. *Cereb Cortex* 14(1), 11-22. doi: 10.1093/cercor/bhg087.
- Franklin, R.D., Gorman, B.S., Beasley, T.M., and Allison, D.B. (1996). "Graphical Display and Visual Analysis," in *Design and Analysis of Single-Case Research*, eds. R.D. Franklin, B.S. Gorman & D.B. Allison. (New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers), 391.
- Fridriksson, J. (2010). Preservation and modulation of specific left hemisphere regions is vital for treated recovery from anomia in stroke. *J Neurosci* 30(35), 11558-11564. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2227-10.2010.
- Fridriksson, J., Morrow-Odom, L., Moser, D., Fridriksson, A., and Baylis, G. (2006). Neural recruitment associated with anomia treatment in aphasia. *Neuroimage* 32(3), 1403-1412. doi: 10.1016/j.neuroimage.2006.04.194.
- Fridriksson, J., Moser, D., Bonilha, L., Morrow-Odom, K.L., Shaw, H., Fridriksson, A., et al. (2007). Neural correlates of phonological and semantic-based anomia treatment in aphasia. *Neuropsychologia* 45(8), 1812-1822. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.12.017.
- Gainotti, G. (2015). Contrasting opinions on the role of the right hemisphere in the recovery of language. A critical survey. *Aphasiology* 29(9), 1020-1037. doi: 10.1080/02687038.2015.1027170.



Gilmore, N., Meier, E.L., Johnson, J.P., and Kiran, S. (2019). Nonlinguistic Cognitive Factors Predict Treatment-Induced Recovery in Chronic Poststroke Aphasia. *Arch Phys Med Rehabil* 100(7), 1251-1258. doi: 10.1016/j.apmr.2018.12.024.

Goldrick, M., and Rapp, B. (2002). A restricted interaction account (RIA) of spoken word production: The best of both worlds. *Aphasiology* 16(1-2), 20-55. doi: Doi 10.1080/02687040143000203.

Grosjean, F. (2015). *Parler plusieurs langues : le monde des bilingues*. Paris : Albin Michel.

Hammelrath, C. (2005). "Dénomination de verbes lexicaux en images: DVL 38". Isbergues: Ortho-Édition).

Heiss, W.-D., Kessler, J., Thiel, A., Ghaemi, M., and Karbe, H. (1999). Differential Capacity of Left and Right Hemispheric Areas for Compensation of Poststroke Aphasia. *Ann Neurol*. 45, 430-438. doi: 10.1002/1531-8249(199904)45:4<430::AID-ANA3>3.0.CO;2-P.

Helm-Estrabrook, N., and Ratner, N. (Year). "Executive functions: what are they and why do they matter? Description disorders management", in: *Seminars in Speech and Language*), 91-92.

Hickin, J., Best, W., Herbert, R., Howard, D., and Osborne, F. (2002). Phonological therapy for word-finding difficulties: A re-evaluation. *Aphasiology* 16(10-11), 981-999. doi: 10.1080/02687030244000509.

Howard, D., Best, W., and Nickels, L. (2014). Optimising the design of intervention studies: critiques and ways forward. *Aphasiology* 29(5), 526-562. doi: 10.1080/02687038.2014.985884.

Humphreys, G.F., Lambon Ralph, M.A., and Simons, J.S. (2021). A Unifying Account of Angular Gyrus Contributions to Episodic and Semantic Cognition. *Trends Neurosci* 44(6), 452-463. doi: 10.1016/j.tins.2021.01.006.

IBM Corp. (2019). "IBM SPSS Statistics for Macintosh", (ed.) I. Corp. 26.0 ed. (Armonk, NY).

Kagan, A., Simmons-Mackie, N., Rowland, A., Huijbregts, M., Shumway, E., McEwen, S., et al. (2008). Counting what counts: A framework for capturing real-life outcomes of aphasia intervention. *Aphasiology* 22(3), 258-280.

Keil, K., and Kaszniak, A.W. (2002). Examining executive function in individuals with brain injury: A review. *Aphasiology* 16(3), 305-335. doi: 10.1080/02687030143000654.

Kiran, S., Meier, E.L., Kapse, K.J., and Glynn, P.A. (2015). Changes in task-based effective connectivity in language networks following rehabilitation in post-stroke patients with aphasia. *Front Hum Neurosci* 9, 316. doi: 10.3389/fnhum.2015.00316.

Kiran, S., Sandberg, C., Gray, T., Ascenso, E., and Kester, E. (2013). Rehabilitation in Bilingual Aphasia: Evidence for Within- and Between-Language Generalization. *American Journal of Speech-Language Pathology* 22(2), S298-S309. doi: 10.1044/1058-0360(2013/12-0085).

Kristensson, J., and Saldert, C. (2018). Naming of Objects and Actions after Treatment with Phonological Components Analysis in Aphasia. *Clinical Archives of Communication Disorders* 3(2), 137-150. doi: 10.21849/cacd.2018.00367.

Kuzmina, E., Goral, M., Norvik, M., and Weekes, B.S. (2019). What Influences Language Impairment in Bilingual Aphasia? A Meta-Analytic Review. *Front Psychol* 10, 445. doi: 10.3389/fpsyg.2019.00445.

Lahiri, D., Ardila, A., Dubey, S., Mukherjee, A., Chatterjee, K., and Ray, B.K. (2020). Effect of bilingualism on aphasia recovery. *Aphasiology* 35(8), 1103-1124. doi: 10.1080/02687038.2020.1812032.

Lambon Ralph, M.A., Snell, C., Fillingham, J.K., Conroy, P., and Sage, K. (2010). Predicting the outcome of anomia therapy for people with aphasia post CVA: both language and cognitive status are key predictors. *Neuropsychol Rehabil* 20(2), 289-305. doi: 10.1080/09602010903237875.

Lazar, R.M., Minzer, B., Antonello, D., Festa, J.R., Krakauer, J.W., and Marshall, R.S. (2010). Improvement in aphasia scores after stroke is well predicted by initial severity. *Stroke* 41(7), 1485-1488. doi: 10.1161/STROKEAHA.109.577338.

Leonard, C., Rochon, E., and Laird, L. (2008). Treating naming impairments in aphasia: Findings from a phonological components analysis treatment. *Aphasiology* 22(9), 923-947. doi: 10.1080/02687030701831474.

Li, P., Legault, J., and Litcofsky, K.A. (2014). Neuroplasticity as a function of second language learning: anatomical changes in the human brain. *Cortex* 58, 301-324. doi: 10.1016/j.cortex.2014.05.001.

Liew, S.-L., Lo, B., Donnelly, M.R., Zavaliangos-Petropulu, A., Jeong, J.N., Barisano, G., et al. (2021). "A large, curated, open-source stroke neuroimaging dataset to improve lesion segmentation algorithms". Cold Spring Harbor Laboratory).

Luk, G., Green, D.W., Abutalebi, J., and Grady, C. (2011). Cognitive control for language switching in bilinguals: A quantitative meta-analysis of functional neuroimaging studies. *Lang Cogn Process* 27(10), 1479-1488. doi: 10.1080/01690965.2011.613209.

Macoir, J., Beaudoin, C., Bluteau, J., Potvin, O., and Wilson, M.A. (2017). TDQ-60—a color picture-naming test for adults and elderly people: validation and normalization data. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 1-14.

Madden, E.B., Robinson, R.M., and Kendall, D.L. (2017). Phonological Treatment Approaches for Spoken Word Production in Aphasia. *Semin Speech Lang* 38(1), 62-74. doi: 10.1055/s-0036-1597258.

Marcotte, K., Laird, L., Bitan, T., Meltzer, J.A., Graham, S.J., Leonard, C., et al. (2018). Therapy-Induced Neuroplasticity in Chronic Aphasia After Phonological Component Analysis: A Matter of Intensity. *Front Neurol* 9, 225. doi: 10.3389/fneur.2018.00225.

Marian, V., Blumenfeld, H.K., and Kaushanskaya, M. (2007). The Language Experience and Proficiency Questionnaire (LEAP-Q): assessing language profiles in bilinguals and multilinguals. *J Speech Lang Hear Res* 50(4), 940-967. doi: 10.1044/1092-4388(2007/067).

Marin-Marin, L., Costumero, V., Avila, C., and Pliatsikas, C. (2022). Dynamic Effects of Immersive Bilingualism on Cortical and Subcortical Grey Matter Volumes. *Front Psychol* 13, 886222. doi: 10.3389/fpsyg.2022.886222.

Masson-Trottier, M., Marcotte, K., Leonard, C., Rochon, E., and Ansaldo, A.I. (2016). "Validation de la version francophone de stimuli et indices nécessaires pour l'administration de la thérapie par Analyse des Composantes Phonologiques", in: International Conference on Speech-language Pathology and Audiology, November 14th-15th 2016. (Montreal, Canada).

Mechelli, A., Crinion, J.T., Noppeney, U., O'Doherty, J., Ashburner, J., Frackowiak, R.S., et al. (2004). Neurolinguistics: structural plasticity in the bilingual brain. *Nature* 431(7010), 757. doi: 10.1038/431757a.

Meinzer, M., Beeson, P.M., Cappa, S., Crinion, J., Kiran, S., Saur, D., et al. (2013). Neuroimaging in aphasia treatment research: consensus and practical guidelines for data analysis. *Neuroimage* 73, 215-224. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.02.058.

Meinzer, M., Obleser, J., Flaisch, T., Eulitz, C., and Rockstroh, B. (2007). Recovery from aphasia as a function of language therapy in an early bilingual patient demonstrated by fMRI. *Neuropsychologia* 45(6), 1247-1256. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.10.003.

Meteyard, L., and Bose, A. (2018). What Does a Cue Do? Comparing Phonological and Semantic Cues for Picture Naming in Aphasia. *J Speech Lang Hear Res* 61(3), 658-674. doi: 10.1044/2017\_JSLHR-L-17-0214.

Mirman, D., Kraft, A.E., Harvey, D.Y., Brecher, A.R., and Schwartz, M.F. (2019). Mapping articulatory and grammatical subcomponents of fluency deficits in post-stroke aphasia. *Cogn Affect Behav Neurosci* 19(5), 1286-1298. doi: 10.3758/s13415-019-00729-9.

Mooijman, S., Schoonen, R., Roelofs, A., and Ruiters, M.B. (2021). Executive control in bilingual aphasia: a systematic review. *Bilingualism: Language and Cognition* 25(1), 13-28. doi: 10.1017/s136672892100047x.

Nespoulous, J.L., Lecours, A.R., Lafond, D., and Parente, M. (1986). Protocole Montréal-Toulouse MT-86 d'examen linguistique de l'aphasie-version Beta. Laboratoire Théophile-Alajouanine, Montréal.

- Neumann, Y. (2018). A case series comparison of semantically focused vs. phonologically focused cued naming treatment in aphasia. *Clin Linguist Phon* 32(1), 1-27. doi: 10.1080/02699206.2017.1326166.
- New, B., Pallier, C., Brysbaert, M., and Ferrand, L. (2004). Lexique 2: a new French lexical database. *Behav Res Methods Instrum Comput* 36(3), 516-524. doi: 10.3758/bf03195598.
- Nicholas, L.E., and Brookshire, R.H. (1995). Presence, completeness, and accuracy of main concepts in the connected speech of non-brain-damaged adults and adults with aphasia. *J Speech Hear Res* 38(1), 145-156. doi: 10.1044/jshr.3801.145.
- Nickels, L. (2002). Therapy for naming disorders: Revisiting, revising, and reviewing. *Aphasiology* 16(10-11), 935-979. doi: 10.1080/02687030244000563.
- Oh, A., Duerden, E.G., and Pang, E.W. (2014). The role of the insula in speech and language processing. *Brain Lang* 135, 96-103. doi: 10.1016/j.bandl.2014.06.003.
- Olulade, O.A., Jamal, N.I., Koo, D.S., Perfetti, C.A., LaSasso, C., and Eden, G.F. (2016). Neuroanatomical Evidence in Support of the Bilingual Advantage Theory. *Cereb Cortex* 26(7), 3196-3204. doi: 10.1093/cercor/bhv152.
- Paplikar, A., Mekala, S., Bak, T.H., Dharamkar, S., Alladi, S., and Kaul, S. (2018). Bilingualism and the severity of poststroke aphasia. *Aphasiology* 33(1), 58-72. doi: 10.1080/02687038.2017.1423272.
- Peach, R.K., and Reuter, K.A. (2009). A discourse-based approach to semantic feature analysis for the treatment of aphasic word retrieval failures. *Aphasiology* 24(9), 971-990. doi: 10.1080/02687030903058629.
- Penaloza, C., Barrett, K., and Kiran, S. (2020). The influence of prestroke proficiency on poststroke lexical-semantic performance in bilingual aphasia. *Aphasiology* 34(10), 1223-1240. doi: 10.1080/02687038.2019.1666082.
- Penn, C., Frankel, T., Watermeyer, J., and Russell, N. (2010). Executive function and conversational strategies in bilingual aphasia. *Aphasiology* 24(2), 288-308. doi: Pii 916025936

10.1080/02687030902958399.

Pliatsikas, C., Johnstone, T., and Marinis, T. (2014). Grey matter volume in the cerebellum is related to the processing of grammatical rules in a second language: a structural voxel-based morphometry study. *Cerebellum* 13(1), 55-63. doi: 10.1007/s12311-013-0515-6.

Purdy, M. (2002). Executive function ability in persons with aphasia. *Aphasiology* 16(4-6), 549-557. doi: 10.1080/02687030244000176.

Richardson, J.D., and Dalton, S.G. (2016). Main concepts for three different discourse tasks in a large non-clinical sample. *Aphasiology* 30(1), 45-73. doi: 10.1080/02687038.2015.1057891.

Ripamonti, E., Frustaci, M., Zonca, G., Aggujaro, S., Molteni, F., and Luzzatti, C. (2018). Disentangling phonological and articulatory processing: A neuroanatomical study in aphasia. *Neuropsychologia* 121, 175-185. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.10.015.

Rorden, C., Karnath, H.O., and Bonilha, L. (2007). Improving lesion-symptom mapping. *J Cogn Neurosci* 19(7), 1081-1088. doi: 10.1162/jocn.2007.19.7.1081.

Satoer, D., De Witte, E., Bastiaanse, R., Vincent, A., Mariën, P., and Visch-Brink, E. (Year). "Diagnostic Instrument for Mild Aphasia (DIMA): standardization and clinical application", in: *Proceedings of the Conference Abstract: Academy of Aphasia 55th Annual Meeting*).

Schober, P., Boer, C., and Schwarte, L.A. (2018). Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesth Analg* 126(5), 1763-1768. doi: 10.1213/ANE.0000000000002864.

Schwartz, M.F., Faseyitan, O., Kim, J., and Coslett, H.B. (2012). The dorsal stream contribution to phonological retrieval in object naming. *Brain* 135(Pt 12), 3799-3814. doi: 10.1093/brain/aws300.

Simic, T., Bitan, T., Turner, G., Chambers, C., Goldberg, D., Leonard, C., et al. (2020). The role of executive control in post-stroke aphasia treatment. *Neuropsychol Rehabil* 30(10), 1853-1892. doi: 10.1080/09602011.2019.1611607.

Simic, T., Rochon, E., Greco, E., and Martino, R. (2019). Baseline executive control ability and its relationship to language therapy improvements in post-stroke aphasia: a systematic review. *Neuropsychol Rehabil* 29(3), 395-439. doi: 10.1080/09602011.2017.1307768.

Simmons-Mackie, N. (2017). White paper: Frequency and demographics.

Sims, J.A., Kapse, K., Glynn, P., Sandberg, C., Tripodis, Y., and Kiran, S. (2016). The relationships between the amount of spared tissue, percent signal change, and accuracy in semantic processing in aphasia. *Neuropsychologia* 84, 113-126. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2015.10.019.

Spaulding, T.J., Swartwout Szulga, M., and Figueroa, C. (2012). Using Norm-Referenced Tests to Determine Severity of Language Impairment in Children: Disconnect Between U.S. Policy Makers and Test Developers. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools* 43(2), 176-190. doi: 10.1044/0161-1461(2011/10-0103).

Sperber, C., Nolingberg, C., and Karnath, H.O. (2020). Post-stroke cognitive deficits rarely come alone: Handling co-morbidity in lesion-behaviour mapping. *Hum Brain Mapp* 41(6), 1387-1399. doi: 10.1002/hbm.24885.

Statistic Canada (2017). "Linguistic diversity and multilingualism in Canadian homes", (ed.) S. Canada. (Census in Brief 2016).

Sul, B., Lee, K.B., Hong, B.Y., Kim, J.S., Kim, J., Hwang, W.S., et al. (2019). Association of Lesion Location With Long-Term Recovery in Post-stroke Aphasia and Language Deficits. *Front Neurol* 10, 776. doi: 10.3389/fneur.2019.00776.

Vannest, K.J., Parker, R.I., Gonen, O., and Adiguzel, T. (2016). "Single Case Research: web based calculators for SCR analysis", (ed.) C. Station. 2.0 ed. (TX: Texas: A&M University).

Villard, S., and Kiran, S. (2018). Between-session and within-session intra-individual variability in attention in aphasia. *Neuropsychologia* 109, 95-106. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2017.12.005.

Watila, M.M., and Balarabe, S.A. (2015). Factors predicting post-stroke aphasia recovery. *J Neurol Sci* 352(1-2), 12-18. doi: 10.1016/j.jns.2015.03.020.

Webster, J., Whitworth, A., and Morris, J. (2015). Is it time to stop “fishing”? A review of generalisation following aphasia intervention. *Aphasiology* 29(11), 1240-1264. doi: 10.1080/02687038.2015.1027169.

Xing, S., Lacey, E.H., Skipper-Kallal, L.M., Jiang, X., Harris-Love, M.L., Zeng, J., et al. (2016). Right hemisphere grey matter structure and language outcomes in chronic left hemisphere stroke. *Brain* 139(Pt 1), 227-241. doi: 10.1093/brain/awv323.

Yeung, O., and Law, S.P. (2010). Executive functions and aphasia treatment outcomes: data from an ortho-phonological cueing therapy for anomia in Chinese. *Int J Speech Lang Pathol* 12(6), 529-544. doi: 10.3109/17549507.2011.516840.

Zhou, B., and Krott, A. (2016). Bilingualism enhances attentional control in non-verbal conflict tasks – evidence from ex-Gaussian analyses. *Bilingualism: Language and Cognition* 21(1), 162-180. doi: 10.1017/s1366728916000869.



**Tableau 10**

*Appendix A. Comparative statistics (Mann-Whitney U test) between groups for sociodemographic factors and pretherapy assessment scores.*

		Mean rank		U	Z-score	p-value
		mPWA	bPWA			
Sociodemographic factors	Age	5.00	4.00	6.000	-0.577	0.686
	Years of education	2.75	6.25	15.000	2.084	0.057
	Time post-stroke	5.75	3.25	3.000	-1.452	0.200
	Lesion size	5.25	3.75	5.000	-0.866	0.486
	MoCA			8.000		0.629
Pretherapy language scores	Picture-naming probe accuracy rate	3.50	5.50	12.000	1.156	0.343
	TDQ60	3.50	5.50	12.000	1.162	0.343
	DVL38	3.75	5.25	11.000	0.866	0.486
	Oral comprehension	3.38	5.63	12.500	1.307	0.200
	Repetition	3.75	5.25	11.000	0.887	0.486
	Verbal fluency	3.75	5.25	11.000	0.871	0.486
	Main concept score for the Cinderella story	4.00	5.00	10.000	0.581	0.686

**Tableau 11**

*Appendix B: Number of participants with damage to each ROIs, number of voxels damaged in each ROI per participant and Mann-Whitney statistical results testing for a difference between groups for the ROIs identified in the subset for correlation analysis (in bold).*

	Total number of participants with damaged ROI	mPWA participants with damaged ROI	bPWA participants with damaged ROI	Number of lesioned voxels								Mann-Whitney U	Z	Exact Sig.
				MA1	MA2	MA3	MA4	BA1	BA2	BA3	BA4			
Frontal Pole	3	2	1	21205	502	0	0	0	0	197	0	0.000	-1.225	0.667
<b>Insular Cortex</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>9890</b>	<b>8426</b>	<b>0</b>	<b>1010</b>	<b>0</b>	<b>993</b>	<b>6599</b>	<b>7623</b>	<b>2.000</b>	<b>-1.091</b>	<b>0.400</b>
Superior Frontal Gyrus	2	1	1	3270	0	0	0	0	267	0	0	<b>0.000</b>	<b>-1.000</b>	<b>1.000</b>
<b>Middle Frontal Gyrus</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>19353</b>	<b>2277</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>11672</b>	<b>3794</b>	<b>0</b>	<b>2.000</b>	<b>0.000</b>	<b>1.000</b>
Inferior Frontal Gyrus, pars triangularis	3	2	1	5183	260	0	0	0	0	4199	0	1.000	0.000	1.000
<b>Inferior Frontal Gyrus, pars opercularis</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>6131</b>	<b>2921</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4642</b>	<b>5880</b>	<b>0</b>	<b>2.000</b>	<b>0.000</b>	<b>1.000</b>
<b>Precentral Gyrus</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>18290</b>	<b>5183</b>	<b>0</b>	<b>4088</b>	<b>0</b>	<b>11125</b>	<b>5385</b>	<b>0</b>	<b>2.000</b>	<b>-0.577</b>	<b>0.800</b>
<b>Temporal Pole</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>375</b>	<b>186</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>29</b>	<b>336</b>	<b>0</b>	<b>1.000</b>	<b>-0.775</b>	<b>0.667</b>
Superior Temporal Gyrus, anterior division	2	1	1	121	0	0	0	0	29	0	0	0.000	-1.000	1.000
Superior Temporal Gyrus, posterior division	2	1	1	0	0	0	30	75	0	0	0	0.000	-1.000	1.000
Middle Temporal Gyrus, posterior division	1	0	1	0	0	0	0	1728	0	0	0	N.C.	N.C.	N.C.
<b>Middle Temporal Gyrus, temporooccipital part</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>241</b>	<b>26</b>	<b>1512</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.000</b>	<b>-1.225</b>	<b>0.667</b>

Inferior Temporal Gyrus, posterior division	1	0	1	0	0	0	0	874	0	0	0	N.C.	N.C.	N.C.
Inferior Temporal Gyrus, temporooccipital part	1	0	1	0	0	0	0	229	0	0	0	N.C.	N.C.	N.C.
<b>Postcentral Gyrus</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>7637</b>	<b>643</b>	<b>0</b>	<b>21751</b>	<b>0</b>	<b>2854</b>	<b>11503</b>	<b>0</b>	<b>3.000</b>	<b>0.000</b>	<b>1.000</b>
<b>Superior Parietal Lobule</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>142</b>	<b>145</b>	<b>0</b>	<b>10995</b>	<b>0</b>	<b>1255</b>	<b>499</b>	<b>0</b>	<b>2.000</b>	<b>-0.577</b>	<b>0.800</b>
Supramarginal Gyrus, anterior division	3	2	1	248	0	0	5760	0	0	5007	0	1.000	0.000	1.000
Supramarginal Gyrus, posterior division	5	4	1	21	309	147	6617	0	0	1569	0	1.000	-0.707	0.800
Angular Gyrus	3	3	0	0	1677	303	5402	0	0	0	0	N.C.	N.C.	N.C.
Lateral Occipital Cortex, superior division	3	2	1	0	3790	0	11146	0	5884	0	0	1.000	0.000	1.000
Lateral Occipital Cortex, inferior division	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.C.	N.C.	N.C.
Juxtapositional Lobule Cortex (formerly Supplementary Motor Cortex)	1	1	0	1197	0	0	0	0	0	0	0	N.C.	N.C.	N.C.
Paracingulate Gyrus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.C.	N.C.	N.C.
Cingulate Gyrus, anterior division	1	1	0	1143	0	0	0	0	0	0	0	N.C.	N.C.	N.C.
Cingulate Gyrus, posterior division	2	2	0	311	0	0	217	0	0	0	0	N.C.	N.C.	N.C.
Precuneous Cortex	1	1	0	0	0	0	2439	0	0	0	0	N.C.	N.C.	N.C.
<b>Frontal Orbital Cortex</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>9175</b>	<b>1135</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1620</b>	<b>717</b>	<b>1.000</b>	<b>-0.775</b>	<b>0.667</b>
Lingual Gyrus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.C.	N.C.	N.C.

Occipital Fusiform Gyrus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.C.	N.C.	N.C.
<b>Frontal Operculum Cortex</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2819</b>	<b>2162</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>118</b>	<b>2819</b>	<b>647</b>	<b>1.500</b>	<b>-0.889</b>	<b>0.400</b>	
<b>Central Opercular Cortex</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>7613</b>	<b>4818</b>	<b>0</b>	<b>2772</b>	<b>0</b>	<b>5904</b>	<b>6991</b>	<b>1312</b>	<b>4.000</b>	<b>-0.218</b>	<b>1.000</b>	
Parietal Operculum Cortex	4	3	1	1282	529	0	4437	0	0	4205	0	1.000	-0.447	1.000	
<b>Planum Polare</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>752</b>	<b>205</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>191</b>	<b>280</b>	<b>78</b>	<b>1.000</b>	<b>-1.155</b>	<b>0.400</b>	
<b>Heschl's Gyrus (includes H1 and H2)</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>317</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1145</b>	<b>0</b>	<b>61</b>	<b>298</b>	<b>0</b>	<b>0.000</b>	<b>-1.549</b>	<b>0.333</b>	
Planum Temporale	3	2	1	72	0	0	2489	0	0	554	0	1.000	0.000	1.000	
Occipital Pole	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	21	N.C.	N.C.	N.C.	

The subsets of ROIs used to conduct the correlation analysis are identified in bold. These are the ROIs for which at least 2 monolingual and 2 bilingual participants with aphasia have damaged voxels.

Mann-Whitney U test was performed for all possible ROIs, where at least one mPWA and one bPWA have damaged voxels. For the rest of the ROIs where N=0 for mPWA or bPWA within the lesion mask, the Mann-Whitney U test could not be computed (marked N.C. in the Table).

## Chapitre 6 – Discussion

### 6.1 Rappel des objectifs et synthèse des principaux résultats

L'objectif de cette thèse est d'étudier les effets sur la communication de la version francophone du protocole d'intervention *Phonological Component Analysis*, l'analyse des composantes phonologiques (ACP), adaptée dans le cadre de ces travaux. À travers trois études, nous avons examiné les effets de la ACP sur la récupération de l'aphasie et étudié les corrélats neurofonctionnels de ladite récupération, tout en explorant des facteurs individuels pouvant caractériser les différents profils de récupération observés par suite de cette thérapie.

Les trois études intègrent une approche comportementale et neurofonctionnelle et ont donné lieu à trois articles : un article sur les résultats comportementaux et les facteurs individuels qui est en révision (Masson-Trottier et al., en révision), et deux autres publications portant sur les résultats neurofonctionnels (Masson-Trottier et al., 2021) et neuroanatomiques (Masson-Trottier et al., 2022). L'ensemble des résultats démontre les effets bénéfiques de l'ACP et donne des pistes sur la nature des gains observés autant du point de vue de la neuroplasticité induite par l'ACP, que des facteurs individuels ayant pu moduler les effets observés. Plusieurs perspectives de recherche prometteuses découlant de cette thèse seront à explorer dans des recherches à venir. Dans les prochains paragraphes, les principaux résultats de chaque étude seront rappelés pour procéder à une discussion de l'ensemble des résultats, démêlant les forces de ce protocole d'intervention et illustrant leurs convergences avec les théories existantes.

L'objectif de la première étude était de mesurer l'effet comportemental de l'adaptation francophone de l'ACP dans un groupe de participant·e·s vivant avec une aphasie chronique, avec l'objectif de démontrer que l'intervention menait à des améliorations mesurables dans le cadre de l'étude, et que ces améliorations découlaient des effets de l'intervention. Les participant·e·s étant à plus de 12 mois post-AVC, il était plausible de considérer que les gains mesurés résultent de l'ACP et non pas du processus de récupération spontanée suivant l'AVC. Selon les études, il est estimé que la durée du processus de récupération spontanée est d'autour de 6 mois, donc bien dépassés pour nos participant·e·s (Bernhardt et al., 2017). Dans le

même esprit, les participant·e·s n'ont suivi aucune autre thérapie pendant la durée du protocole de recherche. Dix-huit personnes vivant avec une aphasie chronique ont été recrutées dans le cadre de cette étude, recevant chacune 15 thérapies d'une heure, réparties sur une période de 5 semaines. Des évaluations de suivi ont été réalisées à 3 et 6 mois après la fin de l'intervention, dans le but de mesurer le maintien des effets de l'intervention après le retrait de celle-ci. Des gains significatifs sur le plan de la dénomination des mots traités et non-traités ont été observés à la suite de l'ACP. L'évaluation de suivi 6 mois après l'intervention atteste que, malgré une légère baisse par rapport au niveau immédiatement post-intervention, les gains se maintenaient dans le temps après le retrait de la thérapie par rapport au niveau pré-thérapie. Grâce à l'utilisation d'une approche d'analyses statistiques pionnière dans le domaine de la recherche de l'efficacité des interventions en orthophonie (Meteyard et Davies, 2020), il a été possible de démontrer que les facteurs individuels de l'âge, la sévérité initiale de l'anomie, ainsi que la présence d'une apraxie sévère ont un poids prédictif des gains observés par suite de l'ACP. En effet, les modèles linéaires généralisés mixtes (*Generalized Linear Mixed Models*; GLMM) sont particulièrement utiles dans le cas de protocoles ayant une structure complexe, telles les études longitudinales à mesures répétées, puisqu'ils peuvent tenir compte de la corrélation entre les mesures répétées, et permettent d'inclure des effets aléatoires et des effets fixes au niveau du groupe, comme le temps et la condition, et au niveau individuel, comme les facteurs individuels. Ainsi, le choix méthodologique du GLMM a été important dans l'exploration et la confirmation des hypothèses sur les effets de la ACP, autant en ce qui concerne la récupération de la dénomination de mots traités que la généralisation de ces effets à d'autres mots non ciblés au cours de l'intervention. L'hypothèse selon laquelle les effets de l'ACP se maintiendraient, malgré le retrait de la stimulation offerte par la thérapie a, elle aussi, été confirmée. Finalement, l'hypothèse portant sur les facteurs individuels a été confirmée. En plus des facteurs liés à la condition, un facteur personnel, notamment l'âge, a influencé la récupération par suite de l'ACP. L'interprétation de ce résultat sera discutée à la section 6.1.1.

Dans la deuxième étude, l'accent a été mis sur l'exploration des effets de l'ACP sur la connectivité fonctionnelle à l'état de repos (*resting state functional connectivity*) de l'ensemble du cerveau (*whole-brain*) dans le sous-groupe de participant·e·s qui était admissible à l'examen

par IRM. Les résultats comportementaux et neurofonctionnels des 10 participant·e·s ont été analysés avec la *toolbox* CONN (Whitfield-Gabrieli et Nieto-Castanon, 2012). Les hypothèses initiales que l'ACP augmenterait l'intégration du réseau du langage, plus particulièrement les régions impliquées dans le traitement phonologique, ont été partiellement confirmées. En effet, cette étude a permis de montrer que les changements comportementaux associés au protocole ACP avec un dosage de 15 heures d'intervention à une intensité de 3 heures par semaine surviennent de pair avec des changements de CF-r à l'échelle du groupe chez des personnes vivant avec une aphasia chronique. Toutefois, contrairement aux hypothèses initiales, les changements de CF-r n'engageaient pas de régions impliquées explicitement dans le traitement phonologique et sémantique. En contrastant les profils de connectivité fonctionnelle post- et pré-thérapie de l'ensemble du cerveau, nous avons documenté une augmentation de la connectivité fonctionnelle entre les cortex supracalcarins bilatéraux, des régions connues pour leur rôle dans le traitement visuel, et le ITG gauche et le cortex fusiforme gauche, des régions connues pour leur rôle dans le traitement langagier. Par ailleurs, la sévérité initiale de l'aphasia modulait les changements au niveau de la CF-r suite à l'ACP. Plus précisément, pour les aphasies moins sévères, une augmentation significative de l'intégration au sein de l'hémisphère droit et entre les deux hémisphères était observée après l'intervention l'ACP.

La CF-r est une méthodologie émergente dans l'étude des réseaux cérébraux des personnes qui vivent avec une aphasia, encore plus pour mesurer les effets de thérapies (Duncan et Small, 2018; Gili et al., 2017; Marangolo et al., 2016; van Hees, McMahon, Angwin, de Zubicaray, Read, et al., 2014). Ainsi, il est difficile de comparer les résultats obtenus avec ceux disponibles dans les publications. Elle a été utilisée à quelques reprises pour mesurer l'effet de thérapies, en utilisant une méthodologie de cartographie de centralité des vecteurs propres (*eigenvector centrality mapping*; ECM), analyse en composantes indépendantes (*independent component analysis*; ICA) et amplitudes de fluctuations de basse fréquence (*amplitudes of low-frequency fluctuations*; ALFF) (Duncan et Small, 2018; Gili et al., 2017; Klingbeil et al., 2019; Marangolo et al., 2016; van Hees, McMahon, Angwin, de Zubicaray, Read, et al., 2014). Toutefois, les études précédentes ont, à chaque fois, indiqué des régions d'intérêt a priori pour réaliser les analyses de connectivité, limitant les changements possibles à mesurer. Cette étude emploie une

méthodologie avant-gardiste en utilisant la CF-r sur l'ensemble du cerveau pour mesurer les effets d'une thérapie ciblant l'anomie (Masson-Trottier et al., 2021). Cette méthodologie permet d'identifier des changements hors des réseaux canoniques du langage. En considérant que le langage est supporté par un vaste réseau largement distribué et l'implication d'aires visuelles – non inclus dans le réseau canonique du langage – dans les premières phases de dénomination (le moyen d'intervention utilisé dans l'ACP), l'étude de la CF-r sur l'ensemble du cerveau semble particulièrement adapté ici. D'après les articles scientifiques publiés, une seule étude a utilisé la CF-r sur l'ensemble du cerveau pour mesurer les effets d'une thérapie, précisément la thérapie POEM (Durand et al., 2021). En effet, en appliquant une intervention suivant des principes sensorimoteurs, les autrices ont identifié une augmentation de la CF-r entre des aires du réseau de traitement visuel et du réseau traitement moteur. Ces études semblent indiquer que la nature des stratégies employées en thérapie influence les profils de changement de CF-r et que ces changements dépassent le réseau canonique du langage.

L'objectif de la troisième étude était de mesurer les effets de l'ACP sur l'ensemble des habiletés communicationnelles, ainsi que sur le contrôle cognitif, en explorant explicitement l'influence potentielle du bilinguisme comme facteur modulateur de la récupération de l'aphasie en suivant le protocole ACP. Selon la documentation scientifique consultée, il s'agit d'une première étude explorant la récupération induite par un protocole d'intervention formalisée telle que l'ACP auprès de personnes monolingues et bilingues vivant avec une aphasie. Dans cette étude, nous considérons également l'impact de l'emplacement de la lésion et des données neuroanatomiques liées au bilinguisme sur la récupération. Pour intégrer toutes ces variables, cet article combine des analyses de cas uniques multiples et des comparaisons de groupe. Les résultats obtenus dans le cadre de tâches langagières et de contrôle cognitif, avec les données de localisation des lésions cérébrales et les mesures d'épaisseur corticale dans l'hémisphère droit étaient considérés pour étudier l'amélioration à la suite d'une thérapie spécifique chez quatre participant·e·s monolingues et quatre participant·e·s bilingues vivant avec une aphasie. Les hypothèses initiales ont été partiellement confirmées. Tel qu'avancé, un avantage bilingue dans le contexte de l'intervention ACP a été documenté. Précisément, par suite de l'ACP, la performance en dénomination pour les mots traités chez les personnes bilingues est supérieure



à celle observée chez les personnes monolingues. Par ailleurs, l'ACP a mené à une amélioration du contrôle cognitif chez six des huit participant·e·s à l'étude; les quatre participant·e·s monolingues et deux des participant·e·s. Notons que deux participantes monolingues n'avaient pas réussi à accomplir la tâche des distracteurs (*Flanker Task*) au début de l'étude, mais l'ont réussi après le protocole ACP. Les deux autres monolingues ont amélioré leurs temps de réponse globaux et réduit l'effet des distracteurs. Alors que l'amélioration langagière observée était moins forte pour les personnes monolingues que pour les personnes bilingues, l'ACP a permis une plus grande amélioration du contrôle cognitif chez les participant·e·s monolingues, ce qui suggère des bénéfices secondaires du protocole ACP sur l'amélioration des habiletés cognitives, notamment sur le contrôle cognitif.

La mise en relation des résultats comportementaux de l'ACP avec la localisation de la lésion et l'épaisseur corticale de l'hémisphère droit ont apportée des perspectives très intéressantes et nouvelles à la question des difficultés de cognitivo-communicatives dans le contexte d'un AVC et les effets d'interventions. Plus précisément, pour ce qui est de l'effet de la localisation de la lésion sur la performance en contrôle cognitif, les résultats démontrent que les personnes présentant une lésion frontotemporale ont plus de difficulté à éviter les distracteurs et montrent des temps de réponse généralement supérieurs. Étant donné que l'intégrité du réseau du contrôle cognitif est compromise par la lésion, il est en effet attendu que la performance sur des tâches telles la *Flanker Task* soit moindre chez ces personnes. En ce qui concerne l'effet de la localisation de la lésion sur les effets de la thérapie, les lésions affectant le gyrus pré- et postcentral étaient corrélées négativement aux améliorations de la dénomination des mots traités avec l'ACP et les lésions affectant le gyrus postcentral et le cortex auditif primaire étaient corrélées négativement à la généralisation intraniveau. Le gyrus précentral, faisant partie de la voie dorsale, joue un rôle dans la planification motrice de la parole alors que le gyrus post-central joue un rôle dans la parole au niveau de la rétroaction auditive et a déjà été associé à la dénomination correcte chez des personnes ayant une aphasie (Hickok, 2012; Okada et al., 2018; van Hees, McMahon, Angwin, de Zubicaray et Copland, 2014). Des lésions dans ces régions importantes pourraient exiger une réorganisation plus importante pour bénéficier de l'intervention ACP. Finalement, dans le même sens que les hypothèses initiales, en

comparant l'épaisseur corticale dans l'hémisphère droit entre les personnes monolingues et bilingues vivant avec une aphasie, l'épaisseur corticale retrouvée chez les personnes bilingues était plus importante dans plusieurs régions frontales impliquées dans les fonctions langagières et le contrôle cognitif. L'épaisseur corticale était par ailleurs corrélée avec la performance à la tâche de contrôle cognitif ce qui concorde avec les données scientifiques précédentes indiquant que l'épaisseur corticale de ces régions est associée au fonctionnement exécutif (Burzynska et al., 2012; Fjell et al., 2006). Ces résultats seront discutés plus spécifiquement dans la section 6.1.1.

En résumé, cette étude apporte une nouvelle perspective sur l'interaction entre des facteurs individuels – notamment le bilinguisme et la plasticité cérébrale découlant mesurée par l'épaisseur corticale – et l'emplacement de la lésion sur l'impact d'une intervention explicite sur, non seulement la récupération de l'aphasie, mais sur celle de fonctions exécutives, notamment du contrôle cognitif. Il s'agit de la première ayant combiné une approche de neuroimagerie anatomique à des mesures langagières et une sous-composante des fonctions exécutives, dans le cadre d'un protocole d'intervention dont l'objectif premier était l'amélioration de l'anomie dans un contexte d'aphasie chronique. Les résultats obtenus à cet égard sont innovants et ouvrent la voie à des études explorant davantage les liens entre la neuroplasticité induite par le bilinguisme et la récupération de l'aphasie, et le rôle potentiel des thérapies en orthophonie dans la récupération des habiletés exécutives, tels le contrôle cognitif, la flexibilité mentale et l'inhibition.

L'objectif global de cette thèse étant de documenter l'impact du protocole ACP, une intervention en orthophonie, la section qui suit abordera l'ensemble des résultats d'un point de vue des spécificités du protocole ACP ayant pu déclencher les effets comportementaux et de neuroplasticité documentés dans cette thèse.

### **6.1.1 L'ACP, une intervention cognitivement exigeante**

L'un des constats émergents des résultats de cette thèse est que le protocole ACP est une intervention qui sollicite le contrôle cognitif, et qui peut aussi servir à l'améliorer. Le contrôle cognitif fait référence aux fonctions exécutives de haut niveau (Badre et Nee, 2018; Braver,

2012; Mackie et al., 2013), et une tâche cognitivement exigeante peut être définie comme une tâche qui requiert un effort significatif par la personne qui l'accomplit et qui demande plus de ressources de traitement – notamment en contrôle cognitif et fonctions exécutives – qu'une tâche dite simple. Comparativement à d'autres protocoles d'intervention en orthophonie, l'ACP peut s'avérer plus complexe et requiert plus d'inhibition, de flexibilité mentale, et une certaine mémoire de travail.

Dans le contexte de l'ACP, ce qui est demandé à la personne vivant avec une aphasie, c'est de réfléchir aux composantes phonologiques associées aux mots-cibles, les unes à la suite des autres. Après l'identification du premier son, la personne doit, toujours pour un même mot, réfléchir au dernier son, au nombre de syllabes, puis un autre mot qui commence avec le même son et un mot qui rime. Chaque changement de composante phonologique sollicite des habiletés de flexibilité cognitive et d'inhibition. La flexibilité cognitive permet de passer d'une tâche à une autre, alors que l'inhibition permet d'ignorer les informations non pertinentes ou distrayantes pour se focaliser sur la cible, freiner les réponses impulsives et résister aux interférences. Ainsi, le protocole ACP sollicite ces habiletés, car la personne doit répondre à cinq questions différentes et successives en lien avec la cible; elle doit passer d'une composante phonologique à l'autre, inhibant les réponses à la question précédente. De plus, au moment de dire le premier son du mot ou encore de chercher un autre mot qui commence par le même son, l'inhibition du mot-cible est requise pour se focaliser sur la consigne et éviter de répéter la réponse de la question précédente ou encore le mot-cible. Un autre facteur accroissant l'exigence cognitive de ce protocole consiste en l'identification d'un mot qui commence par le même son que le mot-cible, et un mot qui rime. En effet, ces deux tâches se trouvant à la frontière entre la phonologie et la métaphonologie peuvent s'avérer cognitivement exigeantes pour des personnes vivant avec une aphasie.

En lien avec ces questions, revenons aux résultats des études I et III. Dans l'article III, l'épaisseur corticale des régions frontales de l'hémisphère droit était associée à une meilleure performance à la tâche de contrôle cognitif, chez les participant·e·s qui ont davantage bénéficié de l'ACP, soit les personnes bilingues. Les régions frontales faisant partie du réseau du contrôle cognitif (Fan et al., 2005) sont connues pour leurs rôles dans le bon fonctionnement des fonctions exécutives,

et une épaisseur corticale supérieure est associée à de meilleures performances cognitives (Anders M. Fjell et Kristine B. Walhovd, 2010; Braver, 2012). Ainsi, on peut avancer l'hypothèse selon laquelle le contrôle cognitif accru des personnes bilingues leur a permis de tirer un plus grand avantage des stratégies cognitivement exigeantes de l'ACP. Ces résultats rejoignent des observations précédentes dans le cadre d'une étude sur l'ACP en anglais ayant démontré un meilleur maintien des acquis et une plus grande généralisation associés à des fonctions exécutives mieux préservées, sans toutefois être liées à une amélioration plus importante par suite de l'ACP (Sivic, Bitan, et al., 2019). Ensuite, l'étude de l'effet de la localisation de la lésion sur les gains suivant l'ACP a montré que les atteintes au gyrus frontal moyen (*middle frontal gyrus*; MFG), au lobe pariétal supérieur (*superior parietal lobule*; SPL) et au cortex operculaire central (*central opercular cortex*), des régions reconnues pour leur rôle dans les fonctions exécutives comme la mémoire de travail, l'attention et l'inhibition, menaient à moins d'amélioration. Il est plausible de penser que lorsqu'une personne qui a des fonctions exécutives plus fragiles, notamment attribuables à la localisation de sa lésion cérébrale, entame le protocole ACP, avec la charge cognitive rattachée, ses ressources cognitives sont dirigées vers la réalisation de la tâche plutôt que dans l'apprentissage des stratégies. Elle peut ainsi se retrouver en surcharge cognitive, ralentissant les gains sur la tâche. Cela explique le résultat de l'étude III où les personnes monolingues ont fait plus de gains pour le contrôle cognitif alors que les personnes bilingues se sont davantage améliorées en dénomination. Un autre facteur pouvant favoriser des bénéfices accrus chez les personnes bilingues, concerne la conscience phonologique et métaphonologique plus développée chez les personnes bilingues (Barac et al., 2014; Wren et al., 2012), ce qui pourrait contribuer à soutenir leurs apprentissages dans le cadre du protocole ACP, imposant une charge cognitive moindre chez ces personnes que chez leurs homologues monolingues. En effet, les personnes bilingues développent, au courant de leur vie, une conscience phonologique accrue, car elles doivent jongler avec deux ensembles de représentations phonologiques distincts (Riehl, 2010).

En plus des résultats neuroanatomiques ci-dessus, dans l'étude I, l'ajout de l'âge comme effet fixe dans le GLMM utilisé pour évaluer l'effet de l'ACP sur la dénomination a augmenté la précision du modèle de manière significative, et a été donc considéré comme une variable

importante (Masson-Trottier et al., en révision). Plus précisément, nous avons observé des gains par suite du protocole ACP moins importants pour les personnes vivant avec une aphasie qui sont plus avancées en âge. La relation entre l'âge et l'effet de l'ACP pourrait s'expliquer par des changements anatomiques et fonctionnels qui se produisent dans le cerveau au cours du vieillissement (Bonini et Radanovic, 2015; Skidmore et al., 2023). D'un point de vue neuroanatomique, dans le vieillissement, on observe une réduction de l'épaisseur corticale qui affecte particulièrement les régions frontales, soit les mêmes aires dont l'épaisseur corticale corrélait positivement avec de meilleures performances exécutives dans l'étude III (Anders M. Fjell et Kristine B. Walhovd, 2010; Reuter-Lorenz et Cappell, 2008). Puisque chez les personnes plus âgées, on observe une hyperactivation des aires frontales dans des tâches plus complexes – phénomène expliqué par l'hypothèse de l'utilisation des circuits neuronaux liée à une compensation (*compensation-related utilization of neural circuits hypothesis; CRUNCH*)(Reuter-Lorenz et Cappell, 2008) et que l'ACP est un protocole d'intervention exigeant qui sollicite particulièrement les fonctions exécutives, l'âge avancé d'une personne pourrait limiter sa capacité à bénéficier du protocole autant qu'une personne plus jeune qui aurait des fonctions exécutives plus performantes. Il se peut que des personnes plus âgées vivant avec une aphasie nécessitent plus de temps pour intégrer les stratégies complexes en raison de difficultés au niveau des fonctions exécutives et du contrôle cognitif. Le traitement du langage dépend d'autres fonctions cognitives comme l'attention, la mémoire, les fonctions exécutives et les capacités visuospatiales, qui agissent comme des systèmes de soutien (Bonini et Radanovic, 2015). Pour bien bénéficier d'interventions ciblant le langage, les fonctions exécutives prédisent la récupération (Fonseca et al., 2018; Gilmore et al., 2019). Par ailleurs, des recherches montrent que les personnes vivant avec une aphasie ont aussi des faiblesses au niveau des fonctions exécutives, même pour des tâches qui se veulent non-linguistiques (Bonini et Radanovic, 2015; Skidmore et al., 2023). Donc les personnes plus âgées vivant avec une aphasie pourraient avoir plus de difficultés à tirer profit de l'ACP étant donné les plus grandes difficultés avec les fonctions exécutives et de contrôle cognitif.

Il était par ailleurs intéressant de montrer que la relation entre le contrôle cognitif et le protocole ACP est bidirectionnelle, et ce, pour tous·tes les participant·e·s vivant avec une

aphasie, indépendamment de la sévérité initiale. En effet, la charge cognitive implicite dans le protocole ACP constitue une forme d'intervention indirecte sur le contrôle cognitif des personnes qui suivent le protocole. Le traitement du langage implique de nombreuses fonctions cognitives telles, le contrôle cognitif, l'attention et la mémoire de travail. Le langage est une habileté parapluie qui intègre toutes ses fonctions. Ainsi, une thérapie ciblant le langage comportant des tâches complexes permet de faire des gains au niveau des fonctions exécutives sous-jacentes à ces tâches. En considérant le lien fort entre les fonctions exécutives et l'indépendance des personnes vivant avec une aphasie (Lipskaya-Velikovsky et al., 2018), il est pertinent de considérer les gains plus larges possibles des interventions en orthophonie, dans une perspective transdisciplinaire des interventions.

### **6.1.2 De composantes phonologiques à indices orthographiques – ingrédient-clé de l'ACP**

Les résultats des trois études de cette thèse démontrent que le protocole ACP administré en français améliore la dénomination des mots traités et non-traités, tel que mesuré par des listes personnalisées et des tests standardisés de dénomination d'objets et de verbes, chez des personnes vivant avec une aphasie bilingues et monolingues. L'ACP améliore aussi le discours narratif et la communication fonctionnelle. Ces résultats permettent de répliquer les résultats de nombreuses études réalisées en anglais, persan et suédois (Bose, 2013; Bose et al., 2019; Haentjens et Auclair-Ouellet, 2020; Hashimoto, 2014; Kristensson et Saldert, 2018; Leonard et al., 2008; Marcotte et al., 2018; Neumann, 2018; Rochon et al., 2010; Sadeghi et al., 2017; Simic, Bitan, et al., 2019; Simic et al., 2020; Simic et al., 2021; Simic, Rochon, et al., 2019; van Hees et al., 2013). Veuillez consulter le Tableau 1 en introduction de cette thèse pour plus d'information sur les résultats antérieurs obtenus avec l'ACP.

Voyant les gains engendrés par l'ACP, y compris ses impacts positifs sur les fonctions exécutives, il y a lieu de se demander quels sont les ingrédients dans l'ACP lui conférant cette désidérabilité. D'abord, considérons les composantes phonologiques qui sont écrites sur le tableau présenté à la personne au cours de l'intervention (voir la Figure 9) – dont l'objectif est de renforcer la force des activations entre les représentations phonologiques et lexicales. En ce qui concerne l'effet

d'un indiçage à l'aide de composantes phonologiques, Meteyard et Bose (2018) ont comparé l'impact d'indiçages phonologiques et sémantiques sur la dénomination, à l'intérieur en une seule séance de stimulation (c'est-à-dire pas dans le contexte d'une thérapie). L'indice phonologique était l'indice qui améliorait le plus la performance en dénomination (Meteyard et Bose, 2018). Les indices phonologiques semblent bénéficier plus largement aux personnes vivant avec une aphasie, indépendamment de l'origine de leur anomie, et ce dans le contexte d'indiçage seul (Meteyard et Bose, 2018) ou dans un contexte de thérapie ciblant l'anomie (van Hees et al., 2013). Les données de la présente thèse s'alignent avec les théories selon lesquelles les indices phonologiques faciliteraient le passage de l'image (reconnaissance visuelle et attribution des propriétés sémantiques) à la forme lexicale du mot à la forme phonologique. Les indices phonologiques contribueraient ainsi à la reconnaissance des objets à court terme et renforceraient les liens entre la sémantique et la phonologie dans le cadre de la reconnaissance des images, ce qui faciliterait la récupération des mots, tout en soutenant la spécificité des informations conceptuelles qui sont récupérées (Lorenz et Nickels, 2007; Sze et al., 2020). Cette perspective rejoint les théories d'activation interactive de la production de mots, comme le RIA (Goldrick et Rapp, 2002), qui proposent que l'accès au mot soit déterminé par une cascade non linéaire d'activation d'informations entre les différents niveaux de production, soit de la de la phonologie à la reconnaissance d'objet et vice-versa (Meteyard et Bose, 2018). Ainsi, les indices phonologiques dans l'ACP favoriseraient la dénomination d'images, en rétroagissant sur les processus de reconnaissance des images préalables. Puisque l'indiçage active le système lexical entier, et non seulement le niveau des représentations ciblé par l'indice, cela explique potentiellement pourquoi les déficits phonologiques ne bénéficient pas seulement d'indices phonologiques, et les déficits sémantiques des indices sémantiques. Finalement, les indices phonologiques pourraient être plus largement bénéfiques par leur rôle additif de soutien aux informations conceptuelles et sémantiques qui sont déjà récupérées lors de la reconnaissance des images (Meteyard et Bose, 2018). Les indices phonologiques explicites sont ainsi un ajout aux informations déjà utilisées par le système lexical dans la reconnaissance des images (Meteyard et Bose, 2018).

Dans le protocole ACP, les indices phonologiques sont convertis en indices orthographiques, lorsqu'ils sont inscrits sur le tableau de thérapie. La présentation explicite d'un ou de plusieurs indices orthographiques s'est révélée particulièrement efficace pour la récupération, à court et à long terme, de mots traités, et à court terme pour les mots non-traités (Sze et al., 2020). Bien que les raisons exactes expliquant l'efficacité de l'indigage orthographique ne soient pas identifiées, deux hypothèses présentes dans les écrits scientifiques pourraient guider cette réflexion. La première concerne la permanence de la forme écrite, par opposition à la forme orale; la première ne s'estompe pas dans le temps, contrairement à la seconde qui est éphémère (Lorenz et Nickels, 2007; Sze et al., 2020). L'écriture des indices phonologiques permet à la personne de s'y référer, au besoin, pendant les différentes questions par rapport à un mot cible, favorisant l'apprentissage. Ceci s'avère également utile pour décharger la mémoire de travail. La seconde hypothèse concerne la lecture silencieuse qui, favorisée par la forme écrite, contribuerait au recodage phonologique (Lorenz et Nickels, 2007; Sze et al., 2020). Dans l'étude II, nous avons démontré le rôle important des indices phonologiques dans les processus de traitement visuel et l'importance des indices orthographiques dans la récupération du mot (Masson-Trottier et al., 2021). En lien avec ces observations, l'augmentation de la CF-r entre des régions associées au traitement visuel, soit les cortex supracalcarins bilatéraux, et une région impliquée dans le traitement sémantique, soit le gyrus fusiforme antérieur gauche. Les cortex supracalcarins sont reconnus pour leur rôle dans le traitement visuel lors de la reconnaissance des mots et le gyrus fusiforme est responsable de la reconnaissance visuelle des mots et du traitement de l'information orthographique (Ardila et al., 2016; Ischebeck et al., 2004; Jobard et al., 2003; McCandliss et al., 2003; Price et Devlin, 2003). L'intégration accrue entre ces régions cérébrales après l'intervention ACP souligne le rôle potentiellement clé des indices orthographiques.

Il est intéressant de noter des profils de changement de CF-r différents chez les personnes dont l'aphasie est dans l'ensemble moins sévère selon l'échelle du BDAE. Après l'intervention ACP, la CF-r augmente entre le gyrus fusiforme postérieur gauche et deux régions connues pour leur implication dans le traitement sémantique, soit la portion antérieure du STG de l'hémisphère droit et le cortex insulaire droit. Le STG fait partie de la voie ventrale dans les deux hémisphères



cérébraux, supportant le traitement sémantique (Binder et al., 2009; Dick et Tremblay, 2012; Hickok, 2009; Hickok et Poeppel, 2007) et le cortex insulaire occupe un rôle dans le réseau d'aires contribuant au traitement phonologique et sémantique (Oh et al., 2014; Park et al., 2011). Le gyrus fusiforme, comme mentionné précédemment, supporte le traitement du langage écrit, notamment la reconnaissance visuelle des mots (Ardila et al., 2016; Ischebeck et al., 2004; Jobard et al., 2003; McCandliss et al., 2003; Price et Devlin, 2003). Ainsi, chez les personnes ayant une aphasie moins sévère, l'ACP entraîne moins de changements dans les étapes initiales de la dénomination, soit le traitement visuel, mais plutôt dans les étapes centrales du traitement lexical.

La corrélation entre l'augmentation de l'intégration fonctionnelle mesurée par la CF-r et le degré de sévérité initiale des participants à l'étude dans le deuxième article s'aligne avec les résultats de l'étude I, dans lequel nous démontrons que l'ajout du niveau de sévérité initiale d'anomie comme effet fixe augmente la précision du GLMM utilisé pour évaluer l'effet de l'ACP sur la dénomination (Masson-Trottier et al., en révision). Des études précédentes avaient constaté ceci, sans pouvoir pour autant avancer des hypothèses spécifiques (Kiran et Thompson, 2019; Kristinsson, 2021; Lambon Ralph et al., 2010; Wisenburn et Mahoney, 2009). Les profils de changements de CF-r différent semblent indiquer que des mécanismes différents sont en jeu. Des études futures devront être réalisées pour explorer cette hypothèse.

### **6.1.3 L'ACP sous la lunette de la neuroplasticité induite par la thérapie**

Les résultats obtenus avec l'ACP valident les principes de neuroplasticité induite par l'expérience appliqués dans l'élaboration d'autres protocoles d'intervention orthophonique sur la récupération de l'aphasie (Kiran et Thompson, 2019), y compris dans notre laboratoire (Durand et al., 2018; Durand et al., 2021; Marcotte et al., 2012; Marcotte et Ansaldo, 2010; Marcotte et al., 2013). Premièrement, la personne vivant avec une aphasie est encouragée à essayer de nommer l'image et produire les composantes phonologiques relatives au mot cible. Ainsi, le principe « Utilise-le et améliore-le, ou perds-le » est confirmé dans le cadre de l'ACP. En ce qui a trait au principe de spécificité de l'intervention, c'est-à-dire qu'une stimulation ciblant un processus précis – dans ce cas-ci, le traitement phonologique – est requise pour réactiver ou

réorganiser les réseaux fonctionnels qui soutiennent la récupération, il est clair que le protocole formalisé ACP met de l'avant et potentialise des stratégies de nature phonologique. Ces deux caractéristiques du protocole ACP s'avèrent une force en termes de promotion de la NPDE. Cela étant dit, l'étude II montrant une augmentation de l'intégration entre des aires de traitement visuel et celles de traitement langagier pourrait indiquer que la stimulation que nous croyions *exclusivement phonologique* sollicite un réseau plus vaste visuosémantique, permettant la récupération. En ce qui concerne le principe de saillance, il est maximisé dans ce protocole ciblant l'anomie par l'implication de la personne qui reçoit l'intervention dans la sélection des mots à traiter. En plus d'être en accord avec les principes de la pratique centrée sur le-la client-e, établir les objectifs d'intervention avec le-la client-e et impliquer dans les choix cliniques maximise son adhésion et sa motivation face aux interventions (Haley et al., 2019). Dans le contexte de ces études dont l'objectif est de documenter les effets d'une intervention spécifique, ici l'ACP, le fait d'avoir inclus la personne recevant l'intervention dans le choix des mots à traiter et dans l'élection des indices les plus saillants pour cette dernière contribue à favoriser son autodétermination et son autonomie. Les trois derniers principes maximisant la NPDE dans la réadaptation en aphasie seront discutés en profondeur dans les sections qui suivent.

#### 6.1.3.1 Répétition et intensité pour plus d'apprentissages et de consolidation

L'une des questions clés dans le domaine de la réadaptation en aphasie qui perdure depuis plus de vingt ans concerne l'intensité et le dosage (Bhogal, Teasell et Speechley, 2003). Pour rappel, l'intensité (heures/semaine) dépend de la durée d'une intervention (heure) la fréquence des séances (jours/semaine), alors que le dosage (heure totale d'intervention) dépend de la durée du suivi (semaine). Ces éléments sont introduits dans la section 1.4.1 du Chapitre 1. Selon les principes de neuroplasticité, on parle généralement d'une intensité soutenue et d'un nombre de répétitions suffisant (Doogan et al., 2018). Toutefois, des valeurs exactes à attribuer à l'intensité, au dosage et même à la durée pour obtenir des résultats optimaux demeurent inconnues (Doogan et al., 2018).

Par le passé, l'idée que « plus de thérapies, administrées de façon intensive, c'est mieux pour les personnes vivant avec une aphasie » dominait dans le milieu de la réadaptation (Bhogal, Teasell,

Foley, et al., 2003). Toutefois, dans les dernières années, cette idée est contestée. En effet, pour des raisons de coûts d'intervention dans le système de la santé ou encore pour l'individu, de qualité de vie des personnes vivant avec une aphasie et d'amélioration maximale, la communauté scientifique s'est aperçue que plus d'intervention n'équivaut pas nécessairement à plus d'amélioration et qu'il est nécessaire d'étudier davantage les mécanismes en jeu pour peaufiner notre compréhension de ces modalités. En effet, en donnant plus d'interventions à toutes les personnes vivant avec une aphasie, les coûts des services professionnels augmentent significativement. Si les interventions sont offertes à une intensité trop grande ou à un dosage supérieur à ce qui est nécessaire, des frais supplémentaires sont engagés. De plus, recevoir une intervention intensive peut engendrer du stress, de la fatigue et requiert un investissement de temps pour la personne qui vit avec une aphasie et parfois des proches qui assurent le transport. Dans la méta-analyse réalisée récemment, Sze et al. (2020) identifient que le nombre de fois qu'un mot est répété en tout sur toutes les séances d'intervention influencera l'acquisition sur les mots traités et la généralisation sur les mots non-traités. Ils identifient également comme prédicteur principal pour la généralisation aux mots non-traités le nombre total d'interventions (Sze et al., 2020). Ainsi, bien que l'objectif de cette thèse ne soit pas de déterminer les modalités optimales d'intervention pour l'ACP, il est intéressant de scruter les publications disponibles afin de se demander si les modalités de cette étude étaient valides.

Dans cette thèse, l'intensité préconisée était 3 heures par semaine (durée d'une intervention : 1 heure, fréquence : 3 jours par semaine) et le dosage était de 15 heures (durée du suivi : 5 semaines). Ces modalités étaient équivalentes à celles utilisées auparavant dans le cadre d'autres recherches portant sur les effets des interventions orthophoniques issues de notre laboratoire (POEM (Durand et al., 2018; Durand et al., 2021), ATS (Marcotte et al., 2012; Marcotte et Ansaldo, 2010; Marcotte et al., 2013)) toutes ayant démontré leur efficacité pour déclencher des changements comportementaux et neurofonctionnels. En comparant avec les résultats de récentes méta-analyses, les modalités utilisées dans cette thèse sont légèrement en deçà du dosage identifié comme optimal, soit de 20 à 50 heures, mais correspondent en termes d'intensité, soit la recommandation de 3 à 4 heures par semaine (Release Collaborators, 2022). Toutefois, plusieurs études incluses dans la méta-analyse de Release Collaborators (2022) ne

suivent pas un protocole d'intervention reproductible et ne sont pas des interventions standardisées élaborées à partir des évidences disponibles. Il est plausible de penser qu'une intervention qui est élaborée à partir de modèles théoriques et qui incorpore des principes de NPDE puisse mener à des améliorations significatives plus rapidement que ce qui pourrait être qualifié d'*intervention standard*. En effet, les modalités de la présente thèse ont permis de mesurer des gains sur les mots traités et non-traités immédiatement après l'intervention, et jusqu'à 6 mois post-intervention en plus de mener à des gains sur une échelle de communication fonctionnelle. Une intensité de 3 jours par semaine et un dosage de 15 heures pourraient être suffisants pour favoriser la neuroplasticité chez les personnes vivant avec une aphasie tout en permettant de gérer la fatigue et de permettre aux personnes vivant avec une aphasie de mettre en pratique leurs nouvelles compétences dans leur vie quotidienne. Par ailleurs, cette intensité correspond aux modalités habituelles dans les centres de réadaptation au Québec, rendant réaliste un futur projet d'implémentation sur le plan ressources humaines et financières.

Dans une étude de Simic et al. (2021) qui visait à étudier l'effet l'intensité de l'ACP administrée en anglais, pour un dosage constant de 30 heures, deux niveaux d'intensité ont été comparés, soit une haute intensité correspondant à 3 heures/jours, 4 jours/semaine pendant 2.5 semaines, et une intensité dite standard d'1 heure/jours, 3 jours/semaine pendant 10 semaines. Les auteurs concluent que les deux intensités se sont avérées équivalentes pour les mots traités. La condition de haute intensité a mené à plus de généralisation immédiatement après l'intervention, mais il n'y avait aucune différence entre les conditions d'intensité à long terme. Ainsi, l'intensité standard de 1 heure par jour, à une fréquence de 3 jours par semaine, correspondant à celle mise en place dans cette thèse, semble suffisante pour mener à des gains dans le contexte d'une intervention formalisée fondée sur un modèle.

Dans le protocole ACP, en plus de répéter le mot-cible deux fois à chaque présentation d'un stimulus, un même mot est revu plus d'une fois – deux à quatre fois – lors d'une même séance, selon le seuil de tolérance des participant·e·s. La répétition d'un même stimulus plus d'une fois dans une même session, et aussi d'une session à l'autre, est identifié par Sze et al. (2020) comme ingrédient de thérapie favorisant la généralisation.

### 6.1.3.2 Généralisation des effets de l'ACP à des niveaux variés

La généralisation des effets d'une intervention à des mots non-traités – la généralisation intraniveau – est un objectif central des interventions en orthophonie. La généralisation à des compétences langagières différentes de celle ciblée lors de l'intervention – la généralisation interniveau – demeure toutefois l'objectif ultime des interventions (Kiran et Thompson, 2019). Le protocole ACP a permis les deux. Ainsi, une généralisation intraniveau des effets de l'ACP aux mots non-traités était observée, et s'est maintenue jusqu'à 6 mois après l'intervention. Cette amélioration et ce maintien des gains se sont avérés statistiquement significatifs pour ce qui est des mesures avec les listes personnalisées de mots non-traités. Les tests standardisés ont permis de mesurer une généralisation immédiatement après l'intervention, mais pas de maintien. L'amélioration plus importante sur la liste personnalisée comparativement aux tests standardisés n'est pas surprenante et vient souligner l'importance de bien choisir les mesures de résultats pour bien capturer les changements. En effet, parmi l'échantillon de personnes vivant avec une aphasie recrutée pour le projet, certaines d'entre elles présentaient une anomie plus légère en tâche formelle et performaient au plafond pour le TDQ-60 – ce test était peu sensible à l'amélioration pour ces personnes. La liste personnalisée de mots non-traités était construite de sorte à contenir des mots que ces personnes n'étaient pas en mesure de nommer avant l'intervention et donc, permettait de mesurer des améliorations. Au contraire, pour les personnes ayant une anomie sévère, la liste personnalisée de mots était construite afin d'être équivalente à la liste de thérapie en termes de fréquence et complexité syllabique, mais contenait des mots *plus faciles* à nommer que les tests standardisés, permettant de mieux mesurer les progrès.

Il a également été possible d'observer une généralisation des effets positifs de l'intervention ACP au niveau de la communication fonctionnelle, telle que mesurée par le questionnaire CETI rempli par l'aidant (Lomas et al., 1989), du discours narratif, tel que mesuré par le nombre d'idées principales dans le récit de Cendrillon (*main concepts; MC*) (Dalton et Richardson, 2015; Dalton et al., 2020; Richardson et Dalton, 2016), et le contrôle cognitif, tel que mesuré par la tâche des distracteurs (*Flanker task*) (Eriksen et Eriksen, 1974). Le protocole spécifique et formalisé ACP a ainsi permis de généraliser des acquis à d'autres compétences langagières et

aussi à d'autres fonctions exécutives. Les gains à travers les compétences langagières sont importants pour aider la personne à retrouver ses rôles sociaux et atteindre une meilleure qualité de vie alors que les fonctions exécutives sont essentielles au fonctionnement quotidien.

#### 6.1.3.3 La complexité comme facteur favorisant l'apprentissage et la généralisation

Le protocole ACP, tel qu'appliqué dans cette thèse, comporte plusieurs éléments de complexité pouvant justifier les effets de généralisation observés. Un de ces éléments est la liste d'intervention, choisit par la personne vivant avec une aphasie, qui est composée de mots figurant parmi un ensemble de mots que la personne n'a pas réussi à nommer à au moins deux des trois mesures de ligne de base. En plus d'être motivants, les mots choisis par la personne sont à l'extérieur de ceux qui sont faciles à dénommer pour elle. Par ailleurs, les questions à répondre pour compléter les indices phonologiques sont généralement complexes en début d'intervention, et la personne ne parvient pas à y répondre seule. Ainsi, pour reprendre les termes de Vygotskij (1978), il s'agit de mots et des tâches qui se trouvent dans sa zone proximale de développement (ZPD); la personne peut réaliser la tâche de dénomination et compléter les indices avec le soutien ou l'aide de la clinicienne, mais elle ne peut pas, au début de l'intervention, les réaliser de manière autonome. En d'autres termes, il y a un écart entre ce que la personne peut faire par elle-même et ce qu'elle peut faire avec l'aide de quelqu'un d'autre. L'ACP permet d'accompagner la personne qui vit avec l'aphasie à réussir les différentes tâches de l'ACP pour repousser sa ZPD et ajouter plus de mots dans ceux qui sont faciles à dire. La complexité de la tâche et l'inclusion de mots difficile pour la personne favorisent l'ajout de mots traités et non-traités.

Un autre élément de complexité du protocole ACP ayant pu contribuer aux effets de généralisation est celui d'offrir des choix de réponses. En effet, lorsqu'elle ne parvient pas à générer une des composantes phonologiques par elle-même, le-la clinicien-ne qui administre le protocole ACP offre à la personne des choix de réponses valides, parmi lesquelles elle doit choisir. Ce choix de réponse constitue un soutien dans la réalisation de la tâche, tout en maintenant la personne active dans la réalisation de celle-ci, et lui permettant d'accomplir une tâche de complexité supérieure à celle qu'elle pourrait accomplir par elle-même (par exemple seulement répéter les bonnes réponses). Ces caractéristiques de l'ACP permettent ainsi

d'expliquer comment ce protocole s'inscrit dans le principe « La complexité améliore l'apprentissage et la généralisation » favorisant la NPDE et ainsi la récupération au niveau micro. Il est possible d'analyser le protocole en ayant plutôt en tête les principes d'apprentissage pour comprendre comment l'ACP peut induire des changements de comportement.

#### **6.1.4 L'ACP sous la lunette des théories de l'apprentissage appliquées à la réadaptation en aphasie**

Pour mieux comprendre les améliorations mesurées par suite des interventions effectuées auprès de personnes vivant avec une aphasie chronique suivant le protocole ACP, il est pertinent d'identifier les ingrédients actifs du protocole, ainsi que les cibles d'intervention et réfléchir aux mécanismes d'action potentiels. Ces éléments sont définis dans le système de spécification des traitements de réadaptation (*rehabilitation treatment specification system*; RTSS) (Dijkers et al., 2014; Hart et al., 2019; Hart et al., 2014; Whyte et al., 2014) discuté dans l'introduction de cette thèse. Il est également pertinent de classer le protocole ACP en fonction des *familles* d'intervention identifiées dans l'introduction, soit l'apprentissage sans erreur (ASE), l'apprentissage avec erreur (AAE) et la pratique de rappel (PR).

Le protocole ACP appartient à la famille des interventions de type AAE. La cible d'intervention principale du protocole ACP est une aptitude et habileté : l'objectif est d'améliorer la précision et la rapidité en dénomination. Les mécanismes d'action qui sont proposés pour expliquer l'apprentissage qui survient dans le cadre de l'ACP sont l'apprentissage Hebbian supervisé, l'effort de récupération et l'apprentissage graduel. Les ingrédients actifs composant l'ACP qui activent ces mécanismes sont notamment la dénomination sans aide, l'indiçage favorisant un effort et soutenant le succès et la rétroaction informative.

À la présentation initiale de chaque stimulus, la personne doit tenter de le nommer sans soutien – donc avec un effort de récupération et un apprentissage graduel par la stimulation de l'étape 1 et 2 du système lexical (Nunn et al., 2023). Ensuite, un indiçage phonologique croissant est offert pour aider la dénomination, et pour renforcer encore davantage les liens entre les représentations lexicales et phonologiques. Cet indiçage est effectué de façon répétitive au sein d'une même séance et au travers des séances, obligeant l'association récurrente entre une cible

et les composantes phonologiques qui lui sont associées. L'indiçage est représenté sur un tableau d'intervention qui permet d'organiser les indices phonologiques générés. Tous ces ingrédients stimulent l'apprentissage graduel via la diffusion de l'activation interactive entre les niveaux. Lors de la réponse aux questions pour remplir les indices que représentent les composantes phonologiques, la personne est d'abord exposée à un effort maximal où elle doit générer la réponse seule, mais si elle n'y parvient pas, un soutien lui est offert pour maximiser le succès. Ainsi, dans l'ACP, le niveau de support est personnalisable pour maintenir la personne la plus active et attentive possible. En cas d'erreur, soit pour la dénomination ou pour la production des composantes phonologiques, une rétroaction est offerte pour que l'apprentissage Hebbian supervisé puisse opérer. Offrir une rétroaction sur la réponse donnée par la personne a été identifié comme principal prédicteur pour la maintenance de la généralisation aux mots non-traités dans une récente méta-analyse (Sze et al., 2020). Finalement, à la fin de la procédure pour chacun des stimuli, une opportunité de répétition est également offerte servant d'occasion de succès. Les composantes phonologiques sont toutes passées en revues et la personne est invitée à répéter à nouveau le stimulus. Il est clair que, tant du point de vue NPDE que RTSS, le protocole ACP présente plusieurs forces qui soutiennent les effets bénéfiques mesurés dans le cadre de cette thèse.

## **6.2 Forces de cette thèse**

Cette thèse permet de répondre à des questions cliniquement pertinentes, et contribue à l'avancement des connaissances en ce qui concerne l'effet d'une intervention basée sur des stratégies phonologiques en français, et sur les facteurs individuels qui peuvent influencer cet effet. En effet, il a été possible de tirer des conclusions communes concernant l'effet de l'ACP en français à partir de trois études employant des méthodologies complémentaires allant d'études de cas multiples au modèle linéaire généralisé mixte, considérant à chaque fois l'effet de variables individuelles. Les trois études abordent également des perspectives différentes, allant des changements comportementaux aux changements neurofonctionnels à la contribution de caractéristiques neuroanatomiques. Cela permet une meilleure compréhension des effets de l'ACP et une vision moins superficielle de l'effet de facteurs personnels.



Ce travail a permis de démontrer qu'il est réaliste d'offrir des interventions de trois (3) heures par semaine pour un dosage de 15 heures, à des personnes vivant avec une aphasie chronique. En effet, aucun des participant·e·s n'a abandonné l'étude, et tous·tes se sont montré·e·s satisfaits des résultats obtenus. Par ailleurs, des améliorations significatives ont été documentées même dans la phase chronique. Dans le réseau de la santé québécois, les services de réadaptation prennent fin entre 6 et 12 mois après l'AVC, et il n'y a pas de suivi ou intervention subséquente qui soient offerts. Or, ces travaux, en ligne avec les évidences scientifiques, démontrent que des interventions basées sur des modèles ayant des modalités adaptées mènent à des améliorations significatives, même dans la phase chronique. Ces gains peuvent améliorer la qualité de vie de la personne qui vit avec l'aphasie et ses proches en maximisant la communication fonctionnelle et l'autonomie. Il serait ainsi souhaitable de revoir l'offre de service dans le réseau québécois.

Une autre force de cette thèse est la validité clinique de l'échantillon. En effet, les participant·e·s recruté·e·s dans le cadre de cette thèse composent un échantillon représentant un grand étendu de symptômes, incluant les personnes ayant une aphasie sévère et une apraxie de la parole sévère. Ces personnes sont généralement exclues des études explorant les effets des interventions, ce qui limite grandement notre compréhension de leur récupération (Worrall et Foster, 2017). Ainsi, l'ACP s'avère approprié pour un large éventail de profils cliniques incluant, l'apraxie de la parole sévère, quoi que des adaptations au niveau des modalités d'intervention (telles que le dosage) pourrait s'avérer nécessaire considérant l'influence sur les gains documentée. Ces résultats demeurent difficiles à interpréter en raison des évidences limitées disponibles.

### **6.2.1 Pistes pour des recherches futures**

Les résultats prometteurs des études de cette thèse ouvrent la porte à des projets futurs. Plus précisément, il sera intéressant de poursuivre les analyses des données cueillies dans ce cadre autant, comportementales que neurofonctionnelles et neuroanatomiques.

### 6.2.1.1 Étude I

Concernant les résultats de l'étude I, il sera intéressant d'ajouter les propriétés psycholinguistiques au GLMM, afin d'étudier leur influence sur les gains par suite de l'intervention suivant le protocole ACP. En effet, des études montrent que les propriétés psycholinguistiques des mots influencent non seulement la dénomination chez les personnes vivant avec une aphasie (Conroy et al., 2012; Meteyard et Bose, 2018), mais aussi la réponse à la thérapie en anglais (Braun et Kiran, 2022). D'un point de vue clinique, offrir aux clinicien-ne-s des indications permettant de guider la construction de listes d'intervention pourrait être particulièrement utile.

Par ailleurs, l'étude I a permis de documenter l'influence de l'apraxie de la parole sévère sur l'effet de l'ACP. Ceci fait émerger deux perspectives de recherche pour de prochains projets. D'abord, il serait important d'adapter le protocole ACP aux modalités d'intervention identifiées comme plus propices à l'apprentissage chez les personnes vivant avec une apraxie sévère en termes de dosage minimal, d'intensité et aussi des stratégies utilisées (Ballard et al., 2015; Duffy, 2020; Wambaugh et al., 2020). Ensuite, il est pertinent de souligner que dans le domaine de la réadaptation de l'aphasie post-AVC, il n'existe pas de critère minimal établi pour identifier une différence cliniquement significative de la précision de la dénomination - ni pour les personnes anglophones ni pour les locuteur-trice-s d'autres langues (Fridriksson, Rorden, et al., 2018). Bien que, dans le contexte d'une aphasie sévère accompagnée d'une apraxie de la parole, il est vraisemblable de croire que même une amélioration de deux ou trois mots par suite d'une intervention pourrait être significative pour certaines personnes qui ont très peu de production, il n'est pas clair le niveau d'amélioration que les personnes elles-mêmes considéreraient comme une amélioration significative qui influence le fonctionnement au quotidien. Dans le cadre du protocole ACP, sur la base des données des études actuelles, l'effet de l'intervention s'est généralisé aux capacités de communication fonctionnelle, comme le montrent les scores améliorés du CETI. Or, il serait intéressant d'établir un critère minimal indiquant une amélioration significative pour les personnes vivant avec une aphasie ou une apraxie.

#### 6.2.1.2 Étude II

Les résultats de l'étude II donnent des indications sur les changements de la CF-r chez l'échantillon de 10 personnes vivant avec une aphasie chronique. Il serait intéressant de comparer la connectivité fonctionnelle à l'état de repos de ces personnes avec celle présente chez des personnes adultes sans lésion cérébrale tant avant l'intervention, pour comprendre les différences que l'on peut y trouver, qu'après l'intervention pour voir s'il y a eu une normalisation des réseaux présents ou une évolution vers des patrons différents. En effet, des travaux antérieurs réalisés dans le laboratoire ont montré une normalisation du réseau du mode par défaut (RMD) par suite de thérapies suivant le protocole ATS (Marcotte et al., 2013). Le RMD a été identifié chez des personnes vivant avec une aphasie lors d'acquisition d'IRMf-ev, avant et après l'intervention ATS, et comparé au RMD de personnes sans lésion cérébrale (Marcotte et al., 2013). Il serait intéressant d'identifier le RMD à l'aide d'acquisition IRMf-r et le comparer à celui de personnes comparables en âge et en éducation, mais sans lésion cérébrale pour voir si l'ACP entraîne également une normalisation.

#### 6.2.1.3 Étude III

Finalement, concernant l'étude III, les résultats ont montré que l'épaisseur corticale de certaines régions frontales de l'hémisphère droit est supérieure chez les personnes bilingues et que cette épaisseur corticale est corrélée à la performance sur la tâche de contrôle cognitif. Ainsi, il serait particulièrement intéressant d'effectuer l'analyse de connectivité fonctionnelle en utilisant ces régions identifiées comme ayant une épaisseur corticale supérieure chez les personnes bilingues comme nœud (*seed*) afin d'explorer de façon plus spécifique le rôle de ces régions dans le réseau qui soutient les gains mesurés.

#### 6.2.1.4 En réponse au stress exprimé en fin de suivi

La réalisation du protocole ACP avec les 18 participant-e-s a permis de percevoir une tendance générale; les personnes vivant avec une aphasie anticipaient négativement la fin du suivi, au point où leur performance en thérapie et à l'évaluation immédiatement post-thérapie pouvait être un peu en deçà de leurs capacités réelles. En effet, les personnes étant au stade chronique, elles ne reçoivent aucune thérapie dans le réseau public. La fin du protocole ACP signifie la fin

de la stimulation pour elles, et nombreuses étaient les personnes qui verbalisaient de la tristesse et du stress de voir la fin approcher. Ainsi, il serait intéressant de développer une application technologique permettant aux personnes de poursuivre l'intervention de façon autonome. L'application pourrait être la suite du travail personnalisé et l'orthophoniste pourrait assurer un suivi plus ponctuel à distance. La méta-analyse de Sze et al. (2020) n'a pas montré de valeur ajoutée pour les travaux de type « devoir », mais ici, il s'agit plutôt d'une continuité de l'intervention et pourrait apaiser les personnes en fin de suivi tout en répondant à un besoin.

## **6.3 Défis rencontrés (et comment ils ont été surmontés)**

### **6.3.1 Recrutement des participants**

Parmi les défis rencontrés lors de la réalisation des différentes études que compose cette thèse, le plus important a définitivement été le recrutement de participant·e·s pour composer un échantillon respectant à la fois les critères d'éligibilités établis pour assurer une certaine homogénéité, mais aussi qui est représentatif de la population de personnes vivant avec une aphasie pouvant être rencontrée en milieu clinique. Selon le plan à cinq phases pour les études ciblant l'efficacité des interventions ciblant les troubles de la communication proposée Robey (2004), les études de cette thèse se situent à la phase II se penchant sur l'exploration des caractéristiques de l'effet de la thérapie, notamment en raffinant la définition de la population cible et évaluant l'effet de la thérapie en matière de bienfaits pour un élargissement potentiel de la population cible, si possible. Ainsi, les critères d'inclusion ciblaient des personnes présentant une aphasie chronique (au moins un an après l'AVC) pour assurer que les changements observés n'étaient pas le produit d'une récupération spontanée; droitier avant l'AVC pour maximiser les chances que les participant·e·s aient une distribution typique des réseaux langagiers avant l'AVC; ayant une lésion unique dans l'hémisphère gauche parce qu'en cas d'AVC multiples, les mécanismes de récupération sont complexes et difficiles à cerner; présentant une anomie des noms lors de tâche d'évaluation formelle ou en discours puisqu'il s'agit de la cible d'intervention; ayant le français comme langue maternelle ou comme langue d'usage et n'ayant pas d'implant métallique de sorte à être compatible avec l'IRM.

Un partenariat était déjà existant entre le RAPAQ et le laboratoire de recherche. Celui-ci devait permettre de recruter un nombre maximum de personnes vivant avec une aphasie. Malheureusement, cette collaboration ne s'est pas avérée aussi fructueuse que souhaité. Un bon nombre de participant·e·s potentiel·le·s devait être exclu pour non-respect des critères d'inclusion. Ainsi, plus d'une année a été consacrée à la mise en place d'une solution à trois volets pour permettre un recrutement plus efficace : (1) l'établissement d'un volet comportemental sur projet c.-à-d. sans IRM; (2) l'augmentation du réseau de diffusion du projet; et (3) le passage vers un projet multicentrique permettant un recrutement dans les différents centres et établissements au sein du CIUSSS CSMTL. Ces démarches ont chacune demandé des étapes nombreuses et chronophages. D'abord, le développement du volet comportemental nécessitait de recontacter un bon nombre de participant·e·s potentiel·le·s qui avaient été exclu·e·s sur la base d'un implant métallique, et de les réévaluer pour déterminer leur admissibilité sur les autres critères. Cela a permis d'inclure six participant·e·s supplémentaires. Ensuite, l'augmentation du réseau de diffusion a permis de nombreuses opportunités de présentations du projet et de vulgarisation scientifique aux partenaires. En effet, le projet a été présenté à deux reprises aux réunions annuelles du RAPAQ, permettant de rejoindre les associations de personnes aphasiques à travers le Québec. Ceci aura permis de susciter l'intérêt de six personnes présentant une aphasie et éligibles au projet, mais habitant dans la région du Saguenay-Lac St-Jean (plus de 500 km de Montréal). Considérant les difficultés de recrutement, j'ai pris les arrangements nécessaires pour aller habiter à Chicoutimi, ville au centre de la région, pour la durée du protocole. Cinq personnes participeront effectivement au projet. J'ai fait les allers-retours avec les trois participant·e·s compatibles à l'IRM et suis retournée pour les évaluations de suivis. Finalement, le passage vers un projet multicentrique s'est avéré un processus qui a pris au total 7 mois entre le dépôt initial au comité d'éthique et une première présentation du projet aux orthophonistes des différents établissements. Cette dernière démarche aura permis de rejoindre neuf personnes supplémentaires; seulement trois pourront effectivement être incluses au projet, dont une seulement au volet comportemental. Cette démarche aura toutefois permis de présenter le projet aux orthophonistes de quatre centres de réadaptation à Montréal, ce qui aura eu pour effet de consolider les liens entre la

recherche et la clinique et permettre une actualisation des connaissances de la littérature scientifique disponible concernant les protocoles ciblant l'anomie.

Toutes ces démarches auront permis de recruter un nombre satisfaisant de participant·e·s vivant avec une aphasie, et aussi de pérenniser les liens avec les associations de personnes aphasiques du Québec et les milieux cliniques.

### **6.3.2 Passation d'un examen par IRM pour les personnes vivant avec une aphasie**

D'abord, le fait d'inclure un examen par IRM au protocole a mené à l'exclusion initiale de plusieurs participant·e·s, comme mentionné plus tôt. Dans un protocole n'ayant qu'un volet avec IRM, il sera essentiel de prévoir des ressources importantes pour atteindre les cibles de recrutement.

Ensuite, la passation de l'examen par IRM pour les personnes qui étaient admissibles s'est également avérée un défi. En effet, l'examen IRM était hautement anxiogène pour les personnes qui vivent avec une aphasie. Bien qu'un livret informatif ait été élaboré pour réduire l'aspect inconnu de la passation de cet examen et qu'une séance dans une IRM de simulation était effectuée avec les participant·e·s au préalable pour leur permettre de se familiariser avec l'environnement, le personnel de l'UNF où était passé l'examen IRM et la tâche à effectuer dans l'IRM, des effets néfastes du stress pouvaient être constatés lors de l'acquisition d'IRM fonctionnelle de tâche de dénomination. Cela a malheureusement eu pour conséquence que le nombre de bonnes réponses était inférieur à ce qui avait été prévu. Dans certains cas, la performance était tellement en deçà de la performance hors IRM qu'aucune bonne réponse n'était enregistrée, malgré les 20 mots correctement dénommés inclus dans l'ensemble, rendant les analyses pour ces séquences d'IRMf de tâche impossible. Heureusement que cela n'affectait pas la possibilité d'utiliser la séquence d'IRMf de repos.

Finalement, les AVC peuvent mener à des conditions entraînant une mobilité réduite comme les hémiparésies et les hémiplésies. Ces contraintes de mobilités rendaient difficile pour certaines personnes le transfert sur la table d'imagerie et imposait de prévoir plus de temps pour la

préparation et l'installation de la personne. Il était également nécessaire que l'UNF ait un fauteuil roulant compatible IRM afin que l'on puisse rouler les participant·e·s qui ne peuvent marcher sans les prothèses. Certain·e·s participant·e·s éprouvant des douleurs chroniques aux jambes ou aux dos par suite de leur AVC demandaient une pause pendant l'acquisition.

Ces défis vécus lors des acquisitions IRM, de même que les nombreuses tâches administratives découlant des acquisitions se déroulant à l'UNF ont motivé, chez ma collègue Edith Durand et moi-même, un sentiment d'entraide et de collaboration. En effet, en discutant avec d'autres étudiant·e·s et chercheur·euse·s, nous nous sommes aperçues que nous n'étions pas seules à vivre ses dédales et avons décidé de développer, en collaboration avec le personnel et l'équipe de direction de l'UNF, un guide d'utilisation contenant les informations relatives à l'UNF et les différentes procédures et étapes administratives pour y effectuer ses acquisitions. Le document a, par la suite, servi de point de départ pour la section Votre Étude du site de l'UNF.

### **6.3.3 Rehaussement de l'équipement à l'UNF**

Il est pertinent de mentionner qu'au début de la période de recrutement et de collecte de données, un rehaussement de l'IRM de l'UNF a été effectué. En effet, l'IRM Seimens Tim Trio a été équipée d'un Prisma Fit. Il a ainsi fallu différer l'acquisition de données pour certain·e·s participant·e·s, occasionnant un retard dans l'acquisition de données au début du parcours.

### **6.3.4 Pandémie de COVID-19**

Il va sans dire que la pandémie mondiale de COVID-19 a affecté significativement la vie de tous. Il est toutefois pertinent de souligner les différentes façons que le COVID-19 a affectées mon parcours doctoral. Initialement, en mars 2020, j'étais au début des analyses de neuroimagerie et je poursuivais la collecte de données pour les suivis de maintien. Malheureusement, en raison des restrictions sanitaires imposées par le CIUSSS CSMTL, il ne m'a pas été possible de terminer la collecte de données comportementales avec tous·tes les participant·e·s; 12 participant·e·s ont complété le suivi à 3-mois post-intervention, et neuf ont complété le suivi à 6-mois.

Concernant plus spécifiquement les analyses en neuroimagerie, le COVID a mis plusieurs obstacles sur mon chemin. D'abord, puisque le CRIUGM a fermé ses portes, dans les premières

semaines, je n'avais pas à ma disposition l'ordinateur sur lequel j'effectuais les analyses. Puis, j'ai fait face aux difficultés de réaliser les analyses à distance, à un moment où les technologies de télétravail étaient en émergence. C'était définitivement moins efficace que de me déplacer dans le bureau voisin pour demander conseil aux ingénieurs de l'UNF.

Finalement, il y a eu un appel pour aux travailleur·euse·s de la santé de venir prêter main forte dans le réseau public. Comme cette période concordait avec la fin de ma bourse d'études IRSC, je suis retournée travailler quelques mois à temps partiel, ralentissant la progression de mes analyses un peu.

### **6.3.5 Limites de l'étude**

Ce travail doctoral rencontre différentes limites qui sont importantes de souligner. Notamment, il sera question de la taille des échantillons et des interventions et évaluations dispensées en entièreté par la même personne.

#### **6.3.5.1 Échantillons limités**

La taille des échantillons inclus pour les études comportementales et de neuroimagerie (soit 18, 10 et huit participant·e·s) peut être considérée comme faible selon les domaines. Le nombre limité de participant·e·s a pour conséquence de limiter une généralisation excessive des résultats et invite à une prudence lors de l'interprétation.

Dans l'étude I, il est à noter que le N=18 soit faible, mais comme le montre le Tableau 1 de cette thèse, il s'agit de l'étude ayant le plus de participant·e·s. En souhaitant maintenir une homogénéité parmi l'échantillon, cela a notamment pour effet de limiter les participant·e·s potentiel·le·s.

#### **6.3.5.2 Une seule orthophoniste qui administre les thérapies**

L'une des limites de ce projet doctoral s'inscrit dans le fait que la thérapie a été administrée par une seule et même personne à tous·tes les participant·e·s. Il est possible qu'il y ait un biais d'expérimentateur ou encore un biais d'attente ou de réponse. Ces biais pourraient affecter l'interprétation des données comportementales, qui ont une composante plus subjective, mais ne devraient pas influencer les données de neuroimagerie, qui elles sont objectives.



Une des solutions potentielles est d'enregistrer les évaluations et les interventions afin de pouvoir faire valider la cotation par la méthode de validation inter-juge. Ce type de démarche était initialement prévu dans le cadre de ce projet doctoral, mais un souci technologique a causé la perte des enregistrements des évaluations et des séances d'interventions.

Une façon supplémentaire d'éliminer les biais d'expérimentateur est d'adopter un devis d'étude randomisée en double-aveugle. Or, selon le plan d'étude de Robey (2004), il reste encore des études d'efficacité à réaliser avant d'envisager ce type de devis, qui est lourd en coûts humain et financier.

## Chapitre 7 – Conclusion

Les études menées dans le cadre de ce projet doctoral ont permis de confirmer les effets bénéfiques du protocole ACP auprès du plus grand nombre de personnes vivant avec une aphasie à ce jour. Il s'agit de la première fois que l'ACP est étudié en français et les effets bénéfiques ont été documentés sur le plan comportemental et neurofonctionnel. Par ailleurs, les facteurs individuels des participant·e·s ont été considérés dans toutes les études pour bien comprendre l'interaction entre ceux-ci et la réponse à la thérapie. Ces résultats soutiennent également le potentiel de récupération chez les personnes qui vivent avec une aphasie chronique.

L'aphasie est un trouble du langage acquis qui entraîne des défis au niveau de la communication des personnes qui vivent avec ce trouble. L'identification d'interventions entraînant des effets bénéfiques au niveau de la dénomination, et la compréhension des mécanismes d'action qui soutiennent ces gains sont essentielles pour maximiser la récupération des habiletés de langage pour ces personnes. L'ACP a permis aux personnes vivant avec une aphasie d'améliorer leur capacité à dire des mots entraînés et non-entraînés, et des changements ont aussi été identifiés pour la communication fonctionnelle. Les modalités du protocole d'intervention en matière de dosage et d'intensité, et les ingrédients actifs comme l'utilisation d'indices orthographiques et l'apprentissage avec erreur faisant appel à un effort de rappel et un apprentissage graduel figurent parmi les points forts de l'ACP. Parmi les facteurs individuels ayant interagi avec la réponse à l'ACP figure l'apraxie sévère. Les personnes vivant avec une aphasie et une apraxie sévère sont généralement exclues des protocoles d'intervention. Ici, des hypothèses d'ajustement des modalités d'intervention du protocole ACP ont été émises pour leur permettre, elles aussi, de s'améliorer par suite d'une intervention ciblant l'anomie.

Finalement, cette thèse a ouvert la voie à de nouveaux projets de recherche. Au-delà des ouvertures nommées précédemment, il serait intéressant d'étudier l'utilisation de cette intervention avec des personnes vivant avec des aphasies d'étiologie autre qu'AVC.

## Références bibliographiques

- Abel, S., Weiller, C., Huber, W. et Willmes, K. (2014, May). Neural underpinnings for model-oriented therapy of aphasic word production. *Neuropsychologia*, 57, 154-165.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.03.010>
- Abel, S., Weiller, C., Huber, W., Willmes, K. et Specht, K. (2015, Apr). Therapy-induced brain reorganization patterns in aphasia. *Brain*, 138(Pt 4), 1097-1112.  
<https://doi.org/10.1093/brain/awv022>
- Abutalebi, J. et Green, D. (2007, May). Bilingual language production: The neurocognition of language representation and control. *Journal of Neurolinguistics*, 20(3), 242-275.  
<https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2006.10.003>
- Abutalebi, J. et Green, D. W. (2016, Aug). Neuroimaging of language control in bilinguals: neural adaptation and reserve. *Bilingualism-Language and Cognition*, 19(4), 689-698.  
<https://doi.org/10.1017/S1366728916000225>
- Adams, K. L. et Gallo, V. (2018). The diversity and disparity of the glial scar. *Nat Neurosci*, 21, 9-15. <https://doi.org/10.1038/s41593-017-0033-9>
- Anders M. Fjell et Kristine B. Walhovd. (2010). Structural Brain Changes in Aging: Courses, Causes and Cognitive Consequences. *Reviews in the Neurosciences*, 21(3), 187-222.  
<https://doi.org/doi:10.1515/REVNEURO.2010.21.3.187>
- Anglade, C., Thiel, A. et Ansaldo, A. I. (2014). The complementary role of the cerebral hemispheres in recovery from aphasia after stroke: a critical review of literature. *Brain Inj*, 28(2), 138-145. <https://doi.org/10.3109/02699052.2013.859734>
- Ansaldo, A. I., Ghazi-Saidi, L. et Adrover-Roig, D. (2015, 2015/05/28). Interference Control In Elderly Bilinguals: Appearances Can Be Misleading. *J Clin Exp Neuropsychol*, 37(5), 455-470. <https://doi.org/10.1080/13803395.2014.990359>
- Ansaldo, A. I., Marcotte, K., Scherer, L. et Raboyeau, G. (2008, Nov). Language therapy and bilingual aphasia: Clinical implications of psycholinguistic and neuroimaging research. *Journal of Neurolinguistics*, 21(6), 539-557.  
<https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2008.02.001>

- Ansaldo, A. I. et Saidi, L. G. (2014). Aphasia therapy in the age of globalization: cross-linguistic therapy effects in bilingual aphasia. *Behav Neurol*, 2014, 603085.  
<https://doi.org/10.1155/2014/603085>
- Ansaldo, A. I., Saidi, L. G. et Ruiz, A. (2010). Model-driven intervention in bilingual aphasia: Evidence from a case of pathological language mixing. *Aphasiology*, 24(2), 309-324.  
<https://doi.org/10.1080/02687030902958423>
- Ardila, A., Bernal, B. et Rosselli, M. (2016). How Extended Is Wernicke's Area? Meta-Analytic Connectivity Study of BA20 and Integrative Proposal. *Neurosci J*, 2016, 4962562.  
<https://doi.org/10.1155/2016/4962562>
- Baddeley, A. et Wilson, B. A. (1994, 1994/01/01/). When implicit learning fails: Amnesia and the problem of error elimination. *Neuropsychologia*, 32(1), 53-68.  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0028-3932\(94\)90068-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0028-3932(94)90068-X)
- Badre, D. et Nee, D. E. (2018, Feb). Frontal Cortex and the Hierarchical Control of Behavior. *Trends Cogn Sci*, 22(2), 170-188. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.11.005>
- Bakas, T., Kroenke, K., Plue, L. D., Perkins, S. M. et Williams, L. S. (2006, Jan-Feb). Outcomes among family caregivers of aphasic versus nonaphasic stroke survivors. *Rehabil Nurs*, 31(1), 33-42. <https://doi.org/10.1002/j.2048-7940.2006.tb00008.x>
- Bakheit, A. M., Shaw, S., Barrett, L., Wood, J., Carrington, S., Griffiths, S., Searle, K. et Koutsi, F. (2007, Oct). A prospective, randomized, parallel group, controlled study of the effect of intensity of speech and language therapy on early recovery from poststroke aphasia. *Clin Rehabil*, 21(10), 885-894. <https://doi.org/10.1177/0269215507078486>
- Ballard, K. J., Wambaugh, J. L., Duffy, J. R., Layfield, C., Maas, E., Mauszycki, S. et McNeil, M. R. (2015, May 1). Treatment for Acquired Apraxia of Speech: A Systematic Review of Intervention Research Between 2004 and 2012. *Am J Speech Lang Pathol*, 24(2), 316-337. [https://doi.org/10.1044/2015\\_AJSLP-14-0118](https://doi.org/10.1044/2015_AJSLP-14-0118)
- Barac, R., Bialystok, E., Castro, D. C. et Sanchez, M. (2014). The Cognitive Development of Young Dual Language Learners: A Critical Review. *Early Child Res Q*, 29(4), 699-714.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2014.02.003>

- Bardutzky, J. et Schwab, S. (2007, Nov). Antiedema therapy in ischemic stroke. *Stroke*, 38(11), 3084-3094. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.107.490193>
- Barnay, J. L., Wauquiez, G., Bonnin-Koang, H. Y., Anquetil, C., Perennou, D., Piscicelli, C., Lucas-Pineau, B., Muja, L., le Stunff, E., de Boissezon, X., Terracol, C., Rousseaux, M., Bejot, Y., Binquet, C., Antoine, D., Devilliers, H. et Benaim, C. (2014, Aug-Sep). Feasibility of the cognitive assessment scale for stroke patients (CASP) vs. MMSE and MoCA in aphasic left hemispheric stroke patients. *Ann Phys Rehabil Med*, 57(6-7), 422-435. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2014.05.010>
- Basilakos, A., Hula, W. D., Johnson, L. P., Kiran, S., Walker, G. M. et Fridriksson, J. (2022, Mar). Defining the Neurobiological Mechanisms of Action in Aphasia Therapies: Applying the Rehabilitation Treatment Specification System Framework to Research and Practice in Aphasia. *Arch Phys Med Rehabil*, 103(3), 581-589. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2021.10.017>
- Bastiaanse, R., Wieling, M. et Wolthuis, N. (2015). The role of frequency in the retrieval of nouns and verbs in aphasia. *Aphasiology*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/02687038.2015.1100709>
- Behrens, T. E. et Sporns, O. (2012, Feb). Human connectomics. *Curr Opin Neurobiol*, 22(1), 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2011.08.005>
- Benghanem, S., Rosso, C., Arbizu, C., Moulton, E., Dormont, D., Leger, A., Pires, C. et Samson, Y. (2019, Jun). Aphasia outcome: the interactions between initial severity, lesion size and location. *J Neurol*, 266(6), 1303-1309. <https://doi.org/10.1007/s00415-019-09259-3>
- Bernhardt, J., Hayward, K. S., Kwakkel, G., Ward, N. S., Wolf, S. L., Borschmann, K., Krakauer, J. W., Boyd, L. A., Carmichael, S. T., Corbett, D. et Cramer, S. C. (2017, Jul). Agreed definitions and a shared vision for new standards in stroke recovery research: The Stroke Recovery and Rehabilitation Roundtable taskforce. *Int J Stroke*, 12(5), 444-450. <https://doi.org/10.1177/1747493017711816>
- Bhogal, S. K., Teasell, R. et Speechley, M. (2003, Apr). Intensity of aphasia therapy, impact on recovery. *Stroke*, 34(4), 987-993. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000062343.64383.DO>

- Bhogal, S. K., Teasell, R. W., Foley, N. C. et Speechley, M. R. (2003, Summer). Rehabilitation of aphasia: more is better. *Top Stroke Rehabil*, 10(2), 66-76. <https://doi.org/10.1310/RCM8-5TUL-NC5D-BX58>
- Bijsterbosch, J., Smith, S. M. et Beckmann, C. F. (2017). *An Introduction to Resting State fMRI Functional Connectivity*. Oxford University Press.
- Binder, J. R., Desai, R. H., Graves, W. W. et Conant, L. L. (2009, Dec). Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. *Cereb Cortex*, 19(12), 2767-2796. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp055>
- Binkofski, F. et Buxbaum, L. J. (2013, Nov). Two action systems in the human brain. *Brain Lang*, 127(2), 222-229. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2012.07.007>
- Bird, H., Howard, D. et Franklin, S. (2003). Verbs and nouns: the importance of being imageable. *Journal of Neurolinguistics*, 16, 113–149. [https://doi.org/10.1016/S0911-6044\(02\)00016-7](https://doi.org/10.1016/S0911-6044(02)00016-7)
- Birn, R. M., Cox, R. W. et Bandettini, P. A. (2004, Nov). Experimental designs and processing strategies for fMRI studies involving overt verbal responses. *Neuroimage*, 23(3), 1046-1058. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.07.039>
- Bonini, M. V. et Radanovic, M. (2015, Oct). Cognitive deficits in post-stroke aphasia. *Arq Neuropsiquiatr*, 73(10), 840-847. <https://doi.org/10.1590/0004-282X20150133>
- Bose, A. (2013, Sep-Oct). Phonological therapy in jargon aphasia: effects on naming and neologisms. *Int J Lang Commun Disord*, 48(5), 582-595. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12038>
- Bose, A., Hobler, F. et Saddy, D. (2019, Jan). Deciphering the mechanisms of phonological therapy in jargon aphasia. *Int J Lang Commun Disord*, 54(1), 123-142. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12437>
- Boyle, M. (2010, Nov-Dec). Semantic feature analysis treatment for aphasic word retrieval impairments: what's in a name? *Top Stroke Rehabil*, 17(6), 411-422. <https://doi.org/10.1310/tsr1706-411>

- Boyle, M. et Coelho, C. A. (1995). Application of Semantic Feature Analysis as a Treatment for Aphasic Dysnomia. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 4(4), 94-98. <https://doi.org/10.1044/1058-0360.0404.94>
- Brady, M. C., Kelly, H., Godwin, J. et Enderby, P. (2012, May 16). Speech and language therapy for aphasia following stroke. *Cochrane Database Syst Rev*, (5), CD000425. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD000425.pub3>
- Brady, M. C., Kelly, H., Godwin, J., Enderby, P. et Campbell, P. (2016, Jun 1). Speech and language therapy for aphasia following stroke. *Cochrane Database Syst Rev*, (6), CD000425. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD000425.pub4>
- Braun, E. J. et Kiran, S. (2022, Oct 17). Stimulus- and Person-Level Variables Influence Word Production and Response to Anomia Treatment for Individuals With Chronic Poststroke Aphasia. *J Speech Lang Hear Res*, 65(10), 3854-3872. [https://doi.org/10.1044/2022\\_JSLHR-21-00527](https://doi.org/10.1044/2022_JSLHR-21-00527)
- Braver, T. S. (2012, Feb). The variable nature of cognitive control: a dual mechanisms framework. *Trends Cogn Sci*, 16(2), 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.12.010>
- Brodeur, M., Dion-Lessard, G., Chauret, M., Dionne-Dostie, E., Montreuil, T. et Lepage, M. (2011). The Bank of Standardized Stimuli (BOSS): a new normative dataset of 480 visual stimuli to be used in visual cognition research. *Journal of Vision*, 11(11), 825-825.
- Brodeur, M. B., Dionne-Dostie, E., Montreuil, T. et Lepage, M. (2010, May 24). The Bank of Standardized Stimuli (BOSS), a new set of 480 normative photos of objects to be used as visual stimuli in cognitive research. *PLoS One*, 5(5), e10773. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010773>
- Brodeur, M. B., Kehayia, E., Dion-Lessard, G., Chauret, M., Montreuil, T., Dionne-Dostie, E. et Lepage, M. (2012, Dec). The bank of standardized stimuli (BOSS): comparison between French and English norms. *Behav Res Methods*, 44(4), 961-970. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0184-7>
- Brodie, E. E., Wallace, A. M. et Sharrat, B. (1991, Winter). Effect of surface characteristics and style of production on naming and verification of pictorial stimuli. *Am J Psychol*, 104(4), 517-545. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1793125>

- Brysbart, M. et Ellis, A. W. (2015). Aphasia and age of acquisition: are early-learned words more resilient? *Aphasiology*, 30(11), 1240-1263.  
<https://doi.org/10.1080/02687038.2015.1106439>
- Burzynska, A. Z., Nagel, I. E., Preuschhof, C., Gluth, S., Backman, L., Li, S. C., Lindenberger, U. et Heekeren, H. R. (2012, Jul). Cortical thickness is linked to executive functioning in adulthood and aging. *Hum Brain Mapp*, 33(7), 1607-1620.  
<https://doi.org/10.1002/hbm.21311>
- Caramazza, A. (1997). How Many Levels of Processing Are There in Lexical Access? *Cognitive Neuropsychology*, 14(1), 177-208. <https://doi.org/10.1080/026432997381664>
- Carey, L. M. et Seitz, R. J. (2007). Functional Neuroimaging in Stroke Recovery and Neurorehabilitation: Conceptual Issues and Perspectives. *International Journal of Stroke*, 2(4), 245-264. <https://doi.org/10.1111/j.1747-4949.2007.00164.x>
- Carter, A. R., Shulman, G. L. et Corbetta, M. (2012, Oct 1). Why use a connectivity-based approach to study stroke and recovery of function? *Neuroimage*, 62(4), 2271-2280.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.02.070>
- Catani, M., Dell'acqua, F., Vergani, F., Malik, F., Hodge, H., Roy, P., Valabregue, R. et Thiebaut de Schotten, M. (2012, Feb). Short frontal lobe connections of the human brain. *Cortex*, 48(2), 273-291. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.12.001>
- Cheiloudaki, E. et Alexopoulos, E. C. (2019, Jan 11). Adherence to Treatment in Stroke Patients. *Int J Environ Res Public Health*, 16(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph16020196>
- Cherney, L. R., Patterson, J. P. et Raymer, A. M. (2011, Dec). Intensity of aphasia therapy: evidence and efficacy. *Curr Neurol Neurosci Rep*, 11(6), 560-569.  
<https://doi.org/10.1007/s11910-011-0227-6>
- Cloutman, L. L. (2013, Nov). Interaction between dorsal and ventral processing streams: where, when and how? *Brain Lang*, 127(2), 251-263.  
<https://doi.org/10.1016/j.bandl.2012.08.003>
- Coelho, C. A., Liles, B. Z. et Duffy, R. J. (1995, Jul). Impairments of discourse abilities and executive functions in traumatically brain-injured adults. *Brain Inj*, 9(5), 471-477.  
<https://doi.org/10.3109/02699059509008206>



- Collins, A. M. et Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407-428. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.82.6.407>
- Conroy, P. J., Snell, C., Sage, K. E. et Lambon Ralph, M. A. (2012, Jan). Using phonemic cueing of spontaneous naming to predict item responsiveness to therapy for anomia in aphasia. *Arch Phys Med Rehabil*, 93(1 Suppl), S53-60. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2011.07.205>
- Copland, D., McNeil, M. et Meinzer, M. (2018). Aphasia theory, models, and classification. *Aphasia and related neurogenic language disorders*, 23-34.
- Cramer, S. C. (2008, Mar). Repairing the human brain after stroke: I. Mechanisms of spontaneous recovery. *Ann Neurol*, 63(3), 272-287. <https://doi.org/10.1002/ana.21393>
- Crinion, J., Holland, A. L., Copland, D. A., Thompson, C. K. et Hillis, A. E. (2013, Jun). Neuroimaging in aphasia treatment research: quantifying brain lesions after stroke. *Neuroimage*, 73(Supplement C), 208-214. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.07.044>
- Crinion, J. T. et Leff, A. P. (2015, Aug). Using functional imaging to understand therapeutic effects in poststroke aphasia. *Curr Opin Neurol*, 28(4), 330-337. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000217>
- Cruice, M., Worrall, L., Hickson, L. et Murison, R. (2003). Finding a focus for quality of life with aphasia: Social and emotional health, and psychological well-being. *Aphasiology*, 17(4), 333-353. <https://doi.org/10.1080/02687030244000707>
- Dalton, S. G. et Richardson, J. D. (2015, Nov). Core-Lexicon and Main-Concept Production During Picture-Sequence Description in Adults Without Brain Damage and Adults With Aphasia. *Am J Speech Lang Pathol*, 24(4), S923-938. [https://doi.org/10.1044/2015\\_AJSLP-14-0161](https://doi.org/10.1044/2015_AJSLP-14-0161)
- Dalton, S. G. H., Hubbard, H. I. et Richardson, J. D. (2020, Jan). Moving Toward Non-transcription based Discourse Analysis in Stable and Progressive Aphasia. *Semin Speech Lang*, 41(1), 32-44. <https://doi.org/10.1055/s-0039-3400990>
- Dash, T., Berroir, P., Ghazi-Saidi, L., Adrover-Roig, D. et Ansaldo, A. I. (2021). A new look at the question of the bilingual advantage. *Linguistic Approaches to Bilingualism*, 11(4), 520-550. <https://doi.org/10.1075/lab.18036.das>

- Dash, T. et Joannette, Y. (2016). Neurocognitive markers in aging. *Encyclopedia of geropsychology*, 1-10.
- Dash, T., Masson-Trottier, M. et Ansaldo, A. I. (2020, Nov 1). Efficiency of attentional processes in bilingual speakers with aphasia. *Aphasiology*, 34(11), 1363-1387.  
<https://doi.org/10.1080/02687038.2020.1719970>
- Delgado-Losada, M. L., Rubio-Valdehita, S., Lopez-Higes, R., Rodriguez-Rojo, I. C., Prados Atienza, J. M., Garcia-Cid, S. et Montenegro, M. (2019, Sep-Oct). How cognitive reserve influences older adults' cognitive state, executive functions and language comprehension: A structural equation model. *Arch Gerontol Geriatr*, 84, 103891.  
<https://doi.org/10.1016/j.archger.2019.05.016>
- Dell, G. S., Lawler, E. N., Harris, H. D. et Gordon, J. K. (2004, Mar 1). Models of errors of omission in aphasic naming. *Cogn Neuropsychol*, 21(2), 125-145.  
<https://doi.org/10.1080/02643290342000320>
- Dell, G. S., Schwartz, M. F., Martin, N., Saffran, E. M. et Gagnon, D. A. (1997, Oct). Lexical access in aphasic and nonaphasic speakers. *Psychol Rev*, 104(4), 801-838.  
<https://doi.org/10.1037/0033-295x.104.4.801>
- DeLuca, V., Rothman, J., Bialystok, E. et Pliatsikas, C. (2019, Apr 9). Redefining bilingualism as a spectrum of experiences that differentially affects brain structure and function. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 116(15), 7565-7574. <https://doi.org/10.1073/pnas.1811513116>
- Dick, A. S., Bernal, B. et Tremblay, P. (2014, Oct). The language connectome: new pathways, new concepts. *Neuroscientist*, 20(5), 453-467.  
<https://doi.org/10.1177/1073858413513502>
- Dick, A. S. et Tremblay, P. (2012, Dec). Beyond the arcuate fasciculus: consensus and controversy in the connective anatomy of language. *Brain*, 135(Pt 12), 3529-3550.  
<https://doi.org/10.1093/brain/aws222>
- Dignam, J., Copland, D., McKinnon, E., Burfein, P., O'Brien, K., Farrell, A. et Rodriguez, A. D. (2015, Aug). Intensive Versus Distributed Aphasia Therapy: A Nonrandomized, Parallel-Group, Dosage-Controlled Study. *Stroke*, 46(8), 2206-2211.  
<https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.115.009522>

- Dijkers, M. P., Ferraro, M. K., Hart, T., Packel, A., Whyte, J. et Zanca, J. M. (2014, Mar). Toward a rehabilitation treatment taxonomy: summary of work in progress. *Phys Ther*, 94(3), 319-321. <https://doi.org/10.2522/ptj.20130999>
- Donnelly, S., Brooks, P. J. et Homer, B. D. (2019, Aug). Is there a bilingual advantage on interference-control tasks? A multiverse meta-analysis of global reaction time and interference cost. *Psychon Bull Rev*, 26(4), 1122-1147. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01567-z>
- Doogan, C., Dignam, J., Copland, D. et Leff, A. (2018, Oct 15). Aphasia Recovery: When, How and Who to Treat? *Curr Neurol Neurosci Rep*, 18(12), 90. <https://doi.org/10.1007/s11910-018-0891-x>
- Duffy, J. R. (2020). Managing Apraxia of Speech. Dans *Motor speech disorders : substrates, differential diagnosis, and management* (Fourth edition. <sup>e</sup> éd.). Elsevier.
- Duncan, E. S. et Small, S. L. (2018, Aug). Changes in dynamic resting state network connectivity following aphasia therapy. *Brain Imaging Behav*, 12(4), 1141-1149. <https://doi.org/10.1007/s11682-017-9771-2>
- Durand, E. (2019). *Développement d'une nouvelle thérapie ciblant l'anomie des verbes d'action Validation comportementale et exploration des corrélats neurofonctionnels de ses effets dans les cas d'aphasie* [Thesis, Université de Montréal]. <http://hdl.handle.net/1866/24622>
- Durand, E., Berroir, P. et Ansaldo, A. I. (2018). The Neural and Behavioral Correlates of Anomia Recovery following Personalized Observation, Execution, and Mental Imagery Therapy: A Proof of Concept. *Neural Plast*, 2018, 5943759. <https://doi.org/10.1155/2018/5943759>
- Durand, E., Masson-Trottier, M., Sontheimer, A. et Ansaldo, A. I. (2021, Mar). Increased links between language and motor areas: A proof-of-concept study on resting-state functional connectivity following Personalized Observation, Execution and Mental imagery therapy in chronic aphasia. *Brain Cogn*, 148, 105659. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2020.105659>
- Edmonds, L. A. et Babb, M. (2011, May). Effect of verb network strengthening treatment in moderate-to-severe aphasia. *Am J Speech Lang Pathol*, 20(2), 131-145. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2011/10-0036\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2011/10-0036))

- Edmonds, L. A., Mammino, K. et Ojeda, J. (2014, May). Effect of Verb Network Strengthening Treatment (VNeST) in persons with aphasia: extension and replication of previous findings. *Am J Speech Lang Pathol*, 23(2), S312-329.  
[https://doi.org/10.1044/2014\\_AJSLP-13-0098](https://doi.org/10.1044/2014_AJSLP-13-0098)
- El Hachoui, H., Lingsma, H. F., van de Sandt-Koenderman, M. W., Dippel, D. W., Koudstaal, P. J. et Visch-Brink, E. G. (2013, Mar). Long-term prognosis of aphasia after stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 84(3), 310-315. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2012-302596>
- Ellis, A. W., Lum, C. et Lambon Ralph, M. A. (1996, 1996/07/01/). On the use of regression techniques for the analysis of single case aphasic data. *Journal of Neurolinguistics*, 9(3), 165-174. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0911-6044\(96\)00008-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0911-6044(96)00008-5)
- Ellis, C., Simpson, A. N., Bonilha, H., Mauldin, P. D. et Simpson, K. N. (2012, May). The one-year attributable cost of poststroke aphasia. *Stroke*, 43(5), 1429-1431.  
<https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.111.647339>
- Eriksen, B. A. et Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & psychophysics*, 16(1), 143-149.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Fossella, J., Flombaum, J. I. et Posner, M. I. (2005, Jun). The activation of attentional networks. *Neuroimage*, 26(2), 471-479.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.02.004>
- Fernandez, B., Cardebat, D., Demonet, J. F., Joseph, P. A., Mazaux, J. M., Barat, M. et Allard, M. (2004, Sep). Functional MRI follow-up study of language processes in healthy subjects and during recovery in a case of aphasia. *Stroke*, 35(9), 2171-2176.  
<https://doi.org/10.1161/01.STR.0000139323.76769.b0>
- Fischl, B., Sereno, M. I. et Dale, A. M. (1999, 1999/02/01/). Cortical Surface-Based Analysis: II: Inflation, Flattening, and a Surface-Based Coordinate System. *Neuroimage*, 9(2), 195-207. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/nimg.1998.0396>
- Fjell, A. M., Walhovd, K. B., Reinvang, I., Lundervold, A., Salat, D., Quinn, B. T., Fischl, B. et Dale, A. M. (2006, Feb 1). Selective increase of cortical thickness in high-performing elderly--structural indices of optimal cognitive aging. *Neuroimage*, 29(3), 984-994.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.08.007>

- Fonseca, J., Raposo, A. et Martins, I. P. (2018, Mar). Cognitive performance and aphasia recovery. *Top Stroke Rehabil*, 25(2), 131-136.  
<https://doi.org/10.1080/10749357.2017.1390904>
- Forkel, S. J., Thiebaut de Schotten, M., Dell'Acqua, F., Kalra, L., Murphy, D. G., Williams, S. C. et Catani, M. (2014, Jul). Anatomical predictors of aphasia recovery: a tractography study of bilateral perisylvian language networks. *Brain*, 137(Pt 7), 2027-2039.  
<https://doi.org/10.1093/brain/awu113>
- Fougeyrollas, P. (2021). Classification internationale 'Modèle de développement humain- Processus de production du handicap' (MDH-PPH, 2018). *Kinésithérapie, la Revue*, 21(235), 15-19. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2021.04.003>
- Franzen-Dahlin, A., Karlsson, M. R., Mejhert, M. et Laska, A. C. (2010, Jul). Quality of life in chronic disease: a comparison between patients with heart failure and patients with aphasia after stroke. *J Clin Nurs*, 19(13-14), 1855-1860. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2702.2010.03219.x>
- Fridriksson, J. (2010, Sep 1). Preservation and modulation of specific left hemisphere regions is vital for treated recovery from anomia in stroke. *J Neurosci*, 30(35), 11558-11564.  
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2227-10.2010>
- Fridriksson, J., Basilakos, A., Boyle, M., Cherney, L. R., DeDe, G., Gordon, J. K., Harnish, S. M., Hoover, E. L., Hula, W. D., Pompon, R. H., Johnson, L. P., Kiran, S., Murray, L. L., Rose, M. L., Obermeyer, J., Salis, C., Walker, G. M. et Martin, N. (2022, Mar). Demystifying the Complexity of Aphasia Treatment: Application of the Rehabilitation Treatment Specification Systemx. *Arch Phys Med Rehabil*, 103(3), 574-580.  
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2021.08.025>
- Fridriksson, J., den Ouden, D. B., Hillis, A. E., Hickok, G., Rorden, C., Basilakos, A., Yourganov, G. et Bonilha, L. (2018, Mar 1). Anatomy of aphasia revisited. *Brain*, 141(3), 848-862.  
<https://doi.org/10.1093/brain/awx363>
- Fridriksson, J., Rorden, C., Elm, J., Sen, S., George, M. S. et Bonilha, L. (2018, Dec 1). Transcranial Direct Current Stimulation vs Sham Stimulation to Treat Aphasia After Stroke: A

- Randomized Clinical Trial. *JAMA Neurol*, 75(12), 1470-1476.  
<https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2018.2287>
- Geranmayeh, F., Leech, R. et Wise, R. J. S. (2016, Apr 5). Network dysfunction predicts speech production after left hemisphere stroke. *Neurology*, 86(14), 1296-1305.  
<https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000002537>
- Geschwind, N. (1965). Disconnexion syndromes in animals and man. *Brain*, 88(3), 585-585.
- Geschwind, N. (1970). The organization of language and the brain. Dans. Science.
- Ghoreyshi, Z., Nilipour, R., Bayat, N., Nejad, S. S., Mehrpour, M. et Azimi, T. (2022, Dec). The Incidence of Aphasia, Cognitive Deficits, Apraxia, Dysarthria, and Dysphagia in Acute Post Stroke Persian Speaking Adults. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg*, 74(Suppl 3), 5685-5695. <https://doi.org/10.1007/s12070-021-03006-9>
- Gialanella, B. et Prometti, P. (2009, Nov-Dec). Rehabilitation length of stay in patients suffering from aphasia after stroke. *Top Stroke Rehabil*, 16(6), 437-444.  
<https://doi.org/10.1310/tsr1606-437>
- Gili, T., Fiori, V., De Pasquale, G., Sabatini, U., Caltagirone, C. et Marangolo, P. (2017, Oct). Right sensory-motor functional networks subserve action observation therapy in aphasia. *Brain Imaging Behav*, 11(5), 1397-1411. <https://doi.org/10.1007/s11682-016-9635-1>
- Gilmore, N., Meier, E. L., Johnson, J. P. et Kiran, S. (2019, Jul). Nonlinguistic Cognitive Factors Predict Treatment-Induced Recovery in Chronic Poststroke Aphasia. *Arch Phys Med Rehabil*, 100(7), 1251-1258. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.12.024>
- Goldrick, M. et Rapp, B. (2002, Jan-Feb). A restricted interaction account (RIA) of spoken word production: The best of both worlds. *Aphasiology*, 16(1-2), 20-55. <https://doi.org/10.1080/02687040143000203>
- Goodglass, H. et Wingfield, A. (1997). *Anomia: Neuroanatomical and Cognitive Correlates*. Elsevier Science. <https://books.google.ca/books?id=CV6llekGPLgC>
- Haentjens, K. et Auclair-Ouellet, N. (2020, Aug 3). Naming gains and within-intervention progression following semantic feature analysis (SFA) and phonological components analysis (PCA) in adults with chronic post-stroke aphasia. *Aphasiology*, 35(8), 1024-1047.  
<https://doi.org/10.1080/02687038.2020.1763908>

- Halai, A. D., Woollams, A. M. et Lambon Ralph, M. A. (2017, Jan). Using principal component analysis to capture individual differences within a unified neuropsychological model of chronic post-stroke aphasia: Revealing the unique neural correlates of speech fluency, phonology and semantics. *Cortex*, 86(Supplement C), 275-289.  
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.016>
- Haley, K. L., Cunningham, K. T., Barry, J. et de Riesthal, M. (2019, Feb 21). Collaborative Goals for Communicative Life Participation in Aphasia: The FOURC Model. *Am J Speech Lang Pathol*, 28(1), 1-13. [https://doi.org/10.1044/2018\\_AJSLP-18-0163](https://doi.org/10.1044/2018_AJSLP-18-0163)
- [Record #228 is using a reference type undefined in this output style.]
- Harasty, J., Double, K. L., Halliday, G. M., Kril, J. J. et McRitchie, D. A. (1997). Language-Associated Cortical Regions Are Proportionally Larger in the Female Brain. *Archives of Neurology*, 54(2), 171-176. <https://doi.org/10.1001/archneur.1997.00550140045011>
- Hart, T., Dijkers, M. P., Whyte, J., Turkstra, L. S., Zanca, J. M., Packel, A., Van Stan, J. H., Ferraro, M. et Chen, C. (2019, Jan). A Theory-Driven System for the Specification of Rehabilitation Treatments. *Arch Phys Med Rehabil*, 100(1), 172-180.  
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.09.109>
- Hart, T., Tsaousides, T., Zanca, J. M., Whyte, J., Packel, A., Ferraro, M. et Dijkers, M. P. (2014, Jan). Toward a theory-driven classification of rehabilitation treatments. *Arch Phys Med Rehabil*, 95(1 Suppl), S33-44 e32. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.05.032>
- Hartwigsen, G. et Saur, D. (2019, Apr 15). Neuroimaging of stroke recovery from aphasia - Insights into plasticity of the human language network. *Neuroimage*, 190, 14-31.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.11.056>
- Harvey, D. Y., Parchure, S. et Hamilton, R. H. (2021). Factors predicting long-term recovery from post-stroke aphasia. *Aphasiology*, 36(11), 1351-1372.  
<https://doi.org/10.1080/02687038.2021.1966374>
- Hashimoto, N. (2012, Jun). The use of semantic- and phonological-based feature approaches to treat naming deficits in aphasia. *Clin Linguist Phon*, 26(6), 518-553.  
<https://doi.org/10.3109/02699206.2012.663051>

- Hashimoto, N. (2014). *Impact of Remnant Versus Pictographic Communication Books on Communicative Interactions for An Individual with Aphasia* [University of Wisconsin-River Falls].
- Hassan, M., Benquet, P., Biraben, A., Berrou, C., Dufor, O. et Wendling, F. (2015, Dec). Dynamic reorganization of functional brain networks during picture naming. *Cortex*, 73, 276-288. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.08.019>
- Hebb, D. O. (2005). *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781410612403>
- Helm-Estabrooks, N. et Albert, M. L. (2004). *Manual of aphasia and aphasia therapy* (2nd ed.<sup>e</sup> éd.). Pro-Ed.
- Herbet, G. et Duffau, H. (2020, Jul 1). Revisiting the Functional Anatomy of the Human Brain: Toward a Meta-Networking Theory of Cerebral Functions. *Physiol Rev*, 100(3), 1181-1228. <https://doi.org/10.1152/physrev.00033.2019>
- Hersh, D., Worrall, L., Howe, T., Sherratt, S. et Davidson, B. (2012, 2012/02/01). SMARTER goal setting in aphasia rehabilitation. *Aphasiology*, 26(2), 220-233. <https://doi.org/10.1080/02687038.2011.640392>
- Hickin, J., Best, W., Herbert, R., Howard, D. et Osborne, F. (2002, Oct). Phonological therapy for word-finding difficulties: A re-evaluation. *Aphasiology*, 16(10-11), 981-999. <https://doi.org/10.1080/02687030244000509>
- Hickok, G. (2009, Sep). The functional neuroanatomy of language. *Phys Life Rev*, 6(3), 121-143. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2009.06.001>
- Hickok, G. (2012, Jan 5). Computational neuroanatomy of speech production. *Nat Rev Neurosci*, 13(2), 135-145. <https://doi.org/10.1038/nrn3158>
- Hickok, G. et Poeppel, D. (2004). Dorsal and ventral streams: A framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition*, 92, 67-99. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.10.011>
- Hickok, G. et Poeppel, D. (2007, May). The cortical organization of speech processing. *Nat Rev Neurosci*, 8(5), 393-402. <https://doi.org/10.1038/nrn2113>



- Hilari, K. (2011). The impact of stroke: are people with aphasia different to those without? *Disabil Rehabil*, 33(3), 211-218. <https://doi.org/10.3109/09638288.2010.508829>
- Hilari, K., Needle, J. J. et Harrison, K. L. (2012, Jan). What are the important factors in health-related quality of life for people with aphasia? A systematic review. *Arch Phys Med Rehabil*, 93(1 Suppl), S86-95. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2011.05.028>
- Hillis, A. E., Beh, Y. Y., Sebastian, R., Breining, B., Tippett, D. C., Wright, A., Saxena, S., Rorden, C., Bonilha, L., Basilakos, A., Yourganov, G. et Fridriksson, J. (2018, Mar). Predicting recovery in acute poststroke aphasia. *Ann Neurol*, 83(3), 612-622. <https://doi.org/10.1002/ana.25184>
- Hillis, A. E. et Caramazza, A. (2007). Converging evidence for the interaction of semantic and sublexical phonological information in accessing lexical representations for spoken output. *Cognitive Neuropsychology*, 12(2), 187-227. <https://doi.org/10.1080/02643299508251996>
- Hoffman, K. L., Gothard, K. M., Schmid, M. C. et Logothetis, N. K. (2007, May 1). Facial-expression and gaze-selective responses in the monkey amygdala. *Curr Biol*, 17(9), 766-772. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.03.040>
- Holland, A. L., Fromm, D. S., DeRuyter, F. et Stein, M. (1996). Treatment Efficacy. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 39(5), S27-S36. <https://doi.org/doi:10.1044/jshr.3905.s27>
- Honey, C. J., Sporns, O., Cammoun, L., Gigandet, X., Thiran, J. P., Meuli, R. et Hagmann, P. (2009, Feb 10). Predicting human resting-state functional connectivity from structural connectivity. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 106(6), 2035-2040. <https://doi.org/10.1073/pnas.0811168106>
- Hope, T. M. H. et Price, C. J. (2016). Why the left posterior inferior temporal lobe is needed for word finding. *Brain*, 139(11), 2823-2826. <https://doi.org/10.1093/brain/aww240>
- Huettel, S. A., Song, A. W. et McCarthy, G. (2014). *Functional Magnetic Resonance Imaging*. Sinauer. <https://books.google.ca/books?id=CUrVoAEACAAJ>

- Humphreys, G. W., Price, C. J. et Riddoch, M. J. (1999, 1999/07/01). From objects to names: A cognitive neuroscience approach. *Psychological Research*, 62(2), 118-130.  
<https://doi.org/10.1007/s004260050046>
- Hybbinette, H., Schalling, E., Plantin, J., Nygren-Deboussard, C., Schutz, M., Ostberg, P. et Lindberg, P. G. (2021). Recovery of Apraxia of Speech and Aphasia in Patients With Hand Motor Impairment After Stroke. *Front Neurol*, 12, 634065.  
<https://doi.org/10.3389/fneur.2021.634065>
- Innocenti, G. M. (2022). Defining neuroplasticity. *Handb Clin Neurol*, 184, 3-18.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819410-2.00001-1>
- Ischebeck, A., Indefrey, P., Usui, N., Nose, I., Hellwig, F. et Taira, M. (2004, Jun). Reading in a regular orthography: an fMRI study investigating the role of visual familiarity. *J Cogn Neurosci*, 16(5), 727-741. <https://doi.org/10.1162/089892904970708>
- Jarret, J., Ferre, P., Chedid, G., Bedetti, C., Bore, A., Joannette, Y., Rouleau, I. et Maria Brambati, S. (2022, Aug). Functional network and structural connections involved in picture naming. *Brain Lang*, 231, 105146. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2022.105146>
- Joannette, Y., Ansaldo, A. I., Lazaro, E. et Ska, B. (2018). L'aphasie : une réalité en évolution. *Rééducation orthophonique*, 55(274), 27-40.
- Jobard, G., Crivello, F. et Tzourio-Mazoyer, N. (2003, Oct). Evaluation of the dual route theory of reading: a meta-analysis of 35 neuroimaging studies. *Neuroimage*, 20(2), 693-712.  
[https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00343-4](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00343-4)
- Johnson, C. J., Paivio, A. et Clark, J. M. (1996). Cognitive components of picture naming. *Psychological Bulletin*, 120, 113-139. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.120.1.113>
- Johnson, L., Basilakos, A., Yourganov, G., Cai, B., Bonilha, L., Rorden, C. et Fridriksson, J. (2019). Progression of Aphasia Severity in the Chronic Stages of Stroke. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 28(2), 639-649. [https://doi.org/doi:10.1044/2018\\_AJSLP-18-0123](https://doi.org/doi:10.1044/2018_AJSLP-18-0123)
- Kagan, A. (2011). A-FROM in Action at the Aphasia Institute. *Seminars in Speech and Language*, 32(03), 216-228. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1286176>

- Kagan, A., Simmons-Mackie, N., Rowland, A., Huijbregts, M., Shumway, E., McEwen, S., Threats, T. et Sharp, S. (2008). Counting what counts: A framework for capturing real-life outcomes of aphasia intervention. *Aphasiology*, 22(3), 258-280.
- Kertesz, A. et McCabe, P. (1977, 1977/03//). Recovery patterns and prognosis in aphasia. *Brain : a journal of neurology*, 100 Pt 1, 1-18. <https://doi.org/10.1093/brain/100.1.1>
- Kertesz, A. et Phipps, J. B. (1977, 1977/01/01//). Numerical taxonomy of aphasia. *Brain and Language*, 4(1), 1-10. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0093-934X\(77\)90001-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0093-934X(77)90001-3)
- Kiran, S. et Thompson, C. K. (2019). Neuroplasticity of Language Networks in Aphasia: Advances, Updates, and Future Challenges. *Front Neurol*, 10, 295. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00295>
- Kittredge, A. K., Dell, G. S., Verkuilen, J. et Schwartz, M. F. (2008, Jun). Where is the effect of frequency in word production? Insights from aphasic picture-naming errors. *Cogn Neuropsychol*, 25(4), 463-492. <https://doi.org/10.1080/02643290701674851>
- Kleim, J. A. et Jones, T. A. (2008, Feb). Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage. *J Speech Lang Hear Res*, 51(1), S225-239. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/018\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/018))
- Klingbeil, J., Wawrzyniak, M., Stockert, A. et Saur, D. (2019, Apr). Resting-state functional connectivity: An emerging method for the study of language networks in post-stroke aphasia. *Brain Cogn*, 131, 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.08.005>
- Kret, M. E., Denollet, J., Grezes, J. et de Gelder, B. (2011, Apr). The role of negative affectivity and social inhibition in perceiving social threat: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 49(5), 1187-1193. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.02.007>
- Kristensson, J. et Saldert, C. (2018). Naming of Objects and Actions after Treatment with Phonological Components Analysis in Aphasia. *Clinical Archives of Communication Disorders*, 3(2), 137-150. <https://doi.org/10.21849/cacd.2018.00367>
- Kristinsson, S. (2021). *Towards Understanding Therapy Response In Chronic Aphasia* (publication n° 28645463) [Doctoral, University of South Carolina].
- Kristinsson, S., Basilakos, A., Elm, J., Spell, L. A., Bonilha, L., Rorden, C., den Ouden, D. B., Cassarly, C., Sen, S., Hillis, A., Hickok, G. et Fridriksson, J. (2021). Individualized response

to semantic versus phonological aphasia therapies in stroke. *Brain Commun*, 3(3), fcab174. <https://doi.org/10.1093/braincomms/fcab174>

Kristinsson, S., den Ouden, D. B., Rorden, C., Newman-Norlund, R., Neils-Strunjas, J. et Fridriksson, J. (2022, May). Predictors of Therapy Response in Chronic Aphasia: Building a Foundation for Personalized Aphasia Therapy. *J Stroke*, 24(2), 189-206.

<https://doi.org/10.5853/jos.2022.01102>

Kyrozis, A., Potagas, C., Ghika, A., Tsimpouris, P. K., Virvidaki, E. S. et Vemmos, K. N. (2009, Jun). Incidence and predictors of post-stroke aphasia: the Arcadia Stroke Registry. *Eur J Neurol*, 16(6), 733-739. <https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2009.02580.x>

Lahiri, D., Ardila, A., Dubey, S., Mukherjee, A., Chatterjee, K. et Ray, B. K. (2020, Aug 3). Effect of bilingualism on aphasia recovery. *Aphasiology*, 35(8), 1103-1124.

<https://doi.org/10.1080/02687038.2020.1812032>

Lam, J. M. et Wodchis, W. P. (2010, Apr). The relationship of 60 disease diagnoses and 15 conditions to preference-based health-related quality of life in Ontario hospital-based long-term care residents. *Med Care*, 48(4), 380-387.

<https://doi.org/10.1097/MLR.0b013e3181ca2647>

Lambon Ralph, M. A. et Fillingham, J. K. (2006). The importance of memory and executive function

in aphasia: Evidence from the treatment of anomia using errorless and

errorful learning. Dans A. Meyer, L. Wheeldon et A. Krott (dir.), *Automaticity and Control in Language Processing*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203968512>

Lambon Ralph, M. A., Snell, C., Fillingham, J. K., Conroy, P. et Sage, K. (2010, Apr). Predicting the outcome of anomia therapy for people with aphasia post CVA: both language and cognitive status are key predictors. *Neuropsychol Rehabil*, 20(2), 289-305.

<https://doi.org/10.1080/09602010903237875>

LaPointe, L. L. (2005). *Aphasia and related neurogenic language disorders* (3rd<sup>e</sup> éd.). Thieme.

<http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb399526606>

LaPointe, L. L. et Stierwalt, J. A. G. (2018). *Aphasia and related neurogenic language disorders* (Fifth edition.<sup>e</sup> éd.). Thieme.

- Laska, A. C., Hellblom, A., Murray, V., Kahan, T. et Von Arbin, M. (2001, May). Aphasia in acute stroke and relation to outcome. *J Intern Med*, 249(5), 413-422.  
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2796.2001.00812.x>
- Laska, A. C., Kahan, T., Hellblom, A., Murray, V. et von Arbin, M. (2011, Jan-Dec). A randomized controlled trial on very early speech and language therapy in acute stroke patients with aphasia. *Cerebrovasc Dis Extra*, 1(1), 66-74. <https://doi.org/10.1159/000329835>
- Lazar, R. M. et Antoniello, D. (2008). Variability in Recovery from Aphasia. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 8, 497–502.
- Lazar, R. M., Minzer, B., Antoniello, D., Festa, J. R., Krakauer, J. W. et Marshall, R. S. (2010, Jul). Improvement in aphasia scores after stroke is well predicted by initial severity. *Stroke*, 41(7), 1485-1488. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.109.577338>
- Lazar, R. M., Speizer, A. E., Festa, J. R., Krakauer, J. W. et Marshall, R. S. (2008, May). Variability in language recovery after first-time stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 79(5), 530-534. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2007.122457>
- Leloup, G., Chomel-Guillaume, S. et Bernard, I. (2012). *Les aphasies: Évaluation et rééducation*. Elsevier Health Sciences France. [https://books.google.ca/books?id=dLO\\_F84btC8C](https://books.google.ca/books?id=dLO_F84btC8C)
- Leonard, C., Rochon, E. et Laird, L. (2008). Treating naming impairments in aphasia: Findings from a phonological components analysis treatment. *Aphasiology*, 22(9), 923-947.  
<https://doi.org/10.1080/02687030701831474>
- Levelt, W. J. (1999, Jun). Models of word production. *Trends Cogn Sci*, 3(6), 223-232.  
[https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(99\)01319-4](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(99)01319-4)
- Li, L., Abutalebi, J., Emmorey, K., Gong, G., Yan, X., Feng, X., Zou, L. et Ding, G. (2017, Aug). How bilingualism protects the brain from aging: Insights from bimodal bilinguals. *Hum Brain Mapp*, 38(8), 4109-4124. <https://doi.org/10.1002/hbm.23652>
- Lichteim, L. (1885). On aphasia. *Brain*, 7(4), 433-484.
- Lipskaya-Velikovsky, L., Zeilig, G., Weingarden, H., Rozental-Iluz, C. et Rand, D. (2018, Jun). Executive functioning and daily living of individuals with chronic stroke: measurement and implications. *Int J Rehabil Res*, 41(2), 122-127.  
<https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000272>

- Lomas, J., Pickard, L., Bester, S., Elbard, H., Finlayson, A. et Zoghaib, C. (1989, Feb). The communicative effectiveness index: development and psychometric evaluation of a functional communication measure for adult aphasia. *J Speech Hear Disord*, 54(1), 113-124. <https://doi.org/10.1044/jshd.5401.113>
- Lorenz, A. et Nickels, L. (2007). Orthographic cueing in anomic aphasia: How does it work? *Aphasiology*, 21(6-8), 670-686. <https://doi.org/10.1080/02687030701192182>
- Maas, M. B., Lev, M. H., Ay, H., Singhal, A. B., Greer, D. M., Smith, W. S., Harris, G. J., Halpern, E. F., Koroshetz, W. J. et Furie, K. L. (2012, Jul). The prognosis for aphasia in stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 21(5), 350-357. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2010.09.009>
- Mackie, M. A., Van Dam, N. T. et Fan, J. (2013, Aug). Cognitive control and attentional functions. *Brain Cogn*, 82(3), 301-312. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.05.004>
- Macoir, J., Beaudoin, C., Bluteau, J., Potvin, O. et Wilson, M. A. (2017). TDQ-60—a color picture-naming test for adults and elderly people: validation and normalization data. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 1-14.
- Macoir, J., Routhier, S., Simard, A. et Picard, J. (2011). Maintenance and Generalization Effects of Semantic and Phonological Treatments of Anomia. *Communication Disorders Quarterly*, 33(2), 119-128. <https://doi.org/10.1177/1525740110387412>
- Mancini, A., de Iure, A. et Picconi, B. (2022). Basic mechanisms of plasticity and learning. *Handb Clin Neurol*, 184, 21-34. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819410-2.00002-3>
- Marangolo, P., Fiori, V., Sabatini, U., De Pasquale, G., Razzano, C., Caltagirone, C. et Gili, T. (2016, May). Bilateral Transcranial Direct Current Stimulation Language Treatment Enhances Functional Connectivity in the Left Hemisphere: Preliminary Data from Aphasia. *J Cogn Neurosci*, 28(5), 724-738. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00927](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00927)
- Marcotte, K. (2011). *Intervention orthophonique et neurobiologie du cerveau : Apports de la neuroimagerie à la prise en charge de l'aphasie chronique*. [Dissertation, Université de Montréal].
- Marcotte, K., Adrover-Roig, D., Damien, B., de Preaumont, M., Genereux, S., Hubert, M. et Ansaldo, A. I. (2012, Jul). Therapy-induced neuroplasticity in chronic aphasia.

*Neuropsychologia*, 50(8), 1776-1786.

<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.04.001>

Marcotte, K. et Ansaldo, A. I. (2010, Feb). The neural correlates of semantic feature analysis in chronic aphasia: discordant patterns according to the etiology. *Semin Speech Lang*, 31(1), 52-63. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1244953>

Marcotte, K., Laird, L., Bitan, T., Meltzer, J. A., Graham, S. J., Leonard, C. et Rochon, E. (2018). Therapy-Induced Neuroplasticity in Chronic Aphasia After Phonological Component Analysis: A Matter of Intensity. *Front Neurol*, 9, 225.

<https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00225>

Marcotte, K., Perlberg, V., Marrelec, G., Benali, H. et Ansaldo, A. I. (2013, Jan). Default-mode network functional connectivity in aphasia: therapy-induced neuroplasticity. *Brain Lang*, 124(1), 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2012.11.004>

Marcotte, K., Vitali, P., Delgado, A. P. et Ansaldo, A. I. (2006). The neural correlates of therapy with semantic feature analysis in chronic anomia: An event-related fMRI study. *Brain and Language*, 99(1-2), 206-207. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2006.06.111>

Marin-Marin, L., Costumero, V., Avila, C. et Pliatsikas, C. (2022). Dynamic Effects of Immersive Bilingualism on Cortical and Subcortical Grey Matter Volumes. *Front Psychol*, 13, 886222. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.886222>

Martin, N. (2022). Disorder of Word Production. Dans I. Papathanasiou et P. Coppens (dir.), *Aphasia and related neurogenic communication disorders* (Third edition. 3<sup>e</sup> éd., p. 209-235). Jones & Bartlett Learning.

Masson-Trottier, M., Dash, T., Berroir, P. et Ansaldo, A. I. (2022). French Phonological Component Analysis and aphasia recovery: A bilingual perspective on behavioral and structural data. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16.

<https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.752121>

Masson-Trottier, M., Marcotte, K., Rochon, E., Leonard, C. et Ansaldo, A. I. (en révision). Phonological Component Analysis therapy in French improves communication abilities in participants with chronic aphasia, but do personal factors influence this effect?

- Masson-Trottier, M., Sontheimer, A., Durand, E. et Ansaldo, A. I. (2021, Nov 2). Resting-State Functional Connectivity following Phonological Component Analysis: The Combined Action of Phonology and Visual Orthographic Cues. *Brain Sci*, 11(11).  
<https://doi.org/10.3390/brainsci11111458>
- McCandliss, B. D., Cohen, L. et Dehaene, S. (2003, Jul). The visual word form area: expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends Cogn Sci*, 7(7), 293-299.  
[https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(03\)00134-7](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(03)00134-7)
- Meier, E. L., Johnson, J. P., Pan, Y. et Kiran, S. (2019, Dec). The utility of lesion classification in predicting language and treatment outcomes in chronic stroke-induced aphasia. *Brain Imaging Behav*, 13(6), 1510-1525. <https://doi.org/10.1007/s11682-019-00118-3>
- Merzenich, M. M., Van Vleet, T. M. et Nahum, M. (2014). Brain plasticity-based therapeutics. *Front Hum Neurosci*, 8, 385. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00385>
- Mesulam, M.-M. (1990). Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language, and memory. *Annals of Neurology*, 28(5), 597-613.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ana.410280502>
- Meteyard, L. et Bose, A. (2018, Mar 15). What Does a Cue Do? Comparing Phonological and Semantic Cues for Picture Naming in Aphasia. *J Speech Lang Hear Res*, 61(3), 658-674.  
[https://doi.org/10.1044/2017\\_JSLHR-L-17-0214](https://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-L-17-0214)
- Meteyard, L. et Davies, R. A. I. (2020). Best practice guidance for linear mixed-effects models in psychological science. *Journal of Memory and Language*, 112.  
<https://doi.org/10.1016/j.jml.2020.104092>
- Mirman, D. et Thye, M. (2018). Uncovering the Neuroanatomy of Core Language Systems Using Lesion-Symptom Mapping. *Current Directions in Psychological Science*, 27(6), 455-461.  
<https://doi.org/10.1177/0963721418787486>
- Mohr, B. (2017). Neuroplasticity and Functional Recovery after Intensive Language Therapy in Chronic Post Stroke Aphasia: Which Factors Are Relevant? *Front Hum Neurosci*, 11, 332.  
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00332>



- Mooijman, S., Schoonen, R., Roelofs, A. et Ruiter, M. B. (2021, Jan). Executive control in bilingual aphasia: a systematic review. *Bilingualism: Language and Cognition*, 25(1), 13-28.  
<https://doi.org/10.1017/s136672892100047x>
- Murman, D. L. (2015, Aug). The Impact of Age on Cognition. *Semin Hear*, 36(3), 111-121.  
<https://doi.org/10.1055/s-0035-1555115>
- Na, Y., Jung, J., Tench, C. R., Auer, D. P. et Pyun, S. B. (2022). Language systems from lesion-symptom mapping in aphasia: A meta-analysis of voxel-based lesion mapping studies. *Neuroimage Clin*, 35, 103038. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2022.103038>
- Naeser, M. A., Martin, P. I., Baker, E. H., Hodge, S. M., Sczerzenie, S. E., Nicholas, M., Palumbo, C. L., Goodglass, H., Wingfield, A., Samaraweera, R., Harris, G., Baird, A., Renshaw, P. et Yurgelun-Todd, D. (2004, May). Overt propositional speech in chronic nonfluent aphasia studied with the dynamic susceptibility contrast fMRI method. *Neuroimage*, 22(1), 29-41. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.11.016>
- Nakagawa, Y., Sano, Y., Funayama, M. et Kato, M. (2019, Oct). Prognostic factors for long-term improvement from stroke-related aphasia with adequate linguistic rehabilitation. *Neurol Sci*, 40(10), 2141-2146. <https://doi.org/10.1007/s10072-019-03956-7>
- Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bedirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J. L. et Chertkow, H. (2005, Apr). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *J Am Geriatr Soc*, 53(4), 695-699.  
<https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x>
- Neumann, Y. (2018). A case series comparison of semantically focused vs. phonologically focused cued naming treatment in aphasia. *Clin Linguist Phon*, 32(1), 1-27.  
<https://doi.org/10.1080/02699206.2017.1326166>
- New, B. et Pallier, C. (2023). *Lexique 3.82*. <http://www.lexique.org/>
- New, B. et Pallier, C. (V 3.8). *Manuel de Lexique 3*. <http://www.lexique.org>
- Nguyen, L., Murphy, K. et Andrews, G. (2019, 2019/08/01/). Cognitive and neural plasticity in old age: A systematic review of evidence from executive functions cognitive training. *Ageing Research Reviews*, 53, 100912.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arr.2019.100912>

- Nickels, L. (1995, 1995/02/01). Getting it right? Using aphasic naming errors to evaluate theoretical models of spoken word recognition. *Language and Cognitive Processes*, 10(1), 13-45. <https://doi.org/10.1080/01690969508407086>
- Nickels, L. (2002, Oct). Therapy for naming disorders: Revisiting, revising, and reviewing. *Aphasiology*, 16(10-11), 935-979. <https://doi.org/10.1080/02687030244000563>
- Nickels, L. et Howard, D. (1995, 1995/10/01/). Aphasic naming: What matters? *Neuropsychologia*, 33(10), 1281-1303. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00102-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00102-9)
- Nozari, N., Kittredge, A. K., Dell, G. S. et Schwartz, M. F. (2010, Nov 1). Naming and repetition in aphasia: Steps, routes, and frequency effects. *J Mem Lang*, 63(4), 541-559. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2010.08.001>
- Nunn, K., Vallila-Rohter, S. et Middleton, E. L. (2023, Feb 13). Errorless, Errorful, and Retrieval Practice for Naming Treatment in Aphasia: A Scoping Review of Learning Mechanisms and Treatment Ingredients. *J Speech Lang Hear Res*, 66(2), 668-687. [https://doi.org/10.1044/2022\\_JSLHR-22-00251](https://doi.org/10.1044/2022_JSLHR-22-00251)
- Oh, A., Duerden, E. G. et Pang, E. W. (2014, Aug). The role of the insula in speech and language processing. *Brain Lang*, 135, 96-103. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2014.06.003>
- Okada, K., Matchin, W. et Hickok, G. (2018, Oct). Phonological Feature Repetition Suppression in the Left Inferior Frontal Gyrus. *J Cogn Neurosci*, 30(10), 1549-1557. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_01287](https://doi.org/10.1162/jocn_a_01287)
- Olulade, O. A., Jamal, N. I., Koo, D. S., Perfetti, C. A., LaSasso, C. et Eden, G. F. (2016, Jul). Neuroanatomical Evidence in Support of the Bilingual Advantage Theory. *Cereb Cortex*, 26(7), 3196-3204. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhv152>
- Organisation internationale de la Francophonie. (s. d.). *Combien de francophones dans le monde ?*
- Osa Garcia, A., Brambati, S. M., Brisebois, A., Desilets-Barnabe, M., Houze, B., Bedetti, C., Rochon, E., Leonard, C., Desautels, A. et Marcotte, K. (2020, 2020-02-21). Predicting Early Post-stroke Aphasia Outcome From Initial Aphasia Severity. *Front Neurol*, 11, 120. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00120>

- Papathanasiou, I. et Coppens, P. (2022). *Aphasia and related neurogenic communication disorders* (Third edition. <sup>e</sup> éd.). Jones & Bartlett Learning.  
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=2912481>
- Papathanasiou, I., Coppens, P. et Davidson, B. (2022). Aphasia and Related Neurogenic Communication Disorders: Basic Concepts, Management, and Use of Technology. Dans I. Papathanasiou et P. Coppens (dir.), *Aphasia and related neurogenic communication disorders* (Third edition. <sup>e</sup> éd.). Jones & Bartlett Learning.  
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=2912481>
- Papathanasiou, I., Coppens, P., Durand, E. et Ansaldo, A. I. (2022). Plasticity and Recovery in Aphasia. Dans I. Papathanasiou et P. Coppens (dir.), *Aphasia and related neurogenic communication disorders* (Third edition. <sup>e</sup> éd.). Jones & Bartlett Learning.
- Paplikar, A., Mekala, S., Bak, T. H., Dharamkar, S., Alladi, S. et Kaul, S. (2018). Bilingualism and the severity of poststroke aphasia. *Aphasiology*, 33(1), 58-72.  
<https://doi.org/10.1080/02687038.2017.1423272>
- Park, H., Iverson, G. K. et Park, H. J. (2011, Dec). Neural correlates in the processing of phoneme-level complexity in vowel production. *Brain Lang*, 119(3), 158-166.  
<https://doi.org/10.1016/j.bandl.2011.05.010>
- Pedersen, P. M., Vinter, K. et Olsen, T. S. (2004). Aphasia after stroke: type, severity and prognosis. The Copenhagen aphasia study. *Cerebrovasc Dis*, 17(1), 35-43.  
<https://doi.org/10.1159/000073896>
- Piai, V. et Eikelboom, D. (2023). Brain Areas Critical for Picture Naming: A Systematic Review and Meta-Analysis of Lesion-Symptom Mapping Studies. *Neurobiol Lang (Camb)*, 4(2), 280-296. [https://doi.org/10.1162/nol\\_a\\_00097](https://doi.org/10.1162/nol_a_00097)
- Pizzamiglio, L., Mammucari, A. et Razzano, C. (1985, 1985/07/01/). Evidence for sex differences in brain organization in recovery in aphasia. *Brain and Language*, 25(2), 213-223.  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0093-934X\(85\)90081-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0093-934X(85)90081-1)

- Price, C. J. (2010, Mar). The anatomy of language: a review of 100 fMRI studies published in 2009. *Ann N Y Acad Sci*, 1191, 62-88. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05444.x>
- Price, C. J. (2012, Aug 15). A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *Neuroimage*, 62(2), 816-847. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.04.062>
- Price, C. J. et Crinion, J. (2005, Aug). The latest on functional imaging studies of aphasic stroke. *Curr Opin Neurol*, 18(4), 429-434. <https://doi.org/10.1097/01.wco.0000168081.76859.c1>
- Price, C. J., Crinion, J. et Friston, K. J. (2006, Jun). Design and analysis of fMRI studies with neurologically impaired patients. *J Magn Reson Imaging*, 23(6), 816-826. <https://doi.org/10.1002/jmri.20580>
- Price, C. J. et Devlin, J. T. (2003, Jul). The myth of the visual word form area. *Neuroimage*, 19(3), 473-481. [https://doi.org/10.1016/s1053-8119\(03\)00084-3](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(03)00084-3)
- Price, C. J., Hope, T. M. et Seghier, M. L. (2017, Jan 15). Ten problems and solutions when predicting individual outcome from lesion site after stroke. *Neuroimage*, 145(Pt B), 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.08.006>
- Price, C. J. et Humphreys, G. W. (1989, 1989/11/01). The effects of surface detail on object categorization and naming. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 41(4), 797-828. <https://doi.org/10.1080/14640748908402394>
- Prigatano, G. P., Braga, L. W., Johnson, S. F. et Souza, L. M. N. (2021). Neuropsychological rehabilitation, neuroimaging and neuroplasticity: A clinical commentary. *NeuroRehabilitation*, 49(2), 255-265. <https://doi.org/10.3233/NRE-218024>
- Raymer, A. M., Beeson, P., Holland, A., Kendall, D., Maher, L. M., Martin, N., Murray, L., Rose, M., Thompson, C. K., Turkstra, L., Altmann, L., Boyle, M., Conway, T., Hula, W., Kearns, K., Rapp, B., Simmons-Mackie, N. et Gonzalez Rothi, L. J. (2008, Feb). Translational research in aphasia: from neuroscience to neurorehabilitation. *J Speech Lang Hear Res*, 51(1), S259-275. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/020\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/020))
- Release Collaborators. (2021, May). Predictors of Poststroke Aphasia Recovery: A Systematic Review-Informed Individual Participant Data Meta-Analysis. *Stroke*, 52(5), 1778-1787. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.120.031162>

- Release Collaborators. (2022, Mar). Dosage, Intensity, and Frequency of Language Therapy for Aphasia: A Systematic Review-Based, Individual Participant Data Network Meta-Analysis. *Stroke*, 53(3), 956-967. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.121.035216>
- Release Collaborators, Brady, M. C., Ali, M., VandenBerg, K., Williams, L. J., Williams, L. R., Abo, M., Becker, F., Bowen, A., Brandenburg, C., Breitenstein, C., Bruehl, S., Copland, D. A., Cranfill, T. B., Pietro-Bachmann, M. D., Enderby, P., Fillingham, J., Lucia Galli, F., Gandolfi, M., Glize, B., Godecke, E., Hawkins, N., Hilari, K., Hinckley, J., Horton, S., Howard, D., Jaecks, P., Jefferies, E., Jesus, L. M., Kambanaros, M., Kyoung Kang, E., Khedr, E. M., Pak-Hin Kong, A., Kukkonen, T., Laganaro, M., Lambon Ralph, M. A., Charlotte Laska, A., Leemann, B., Leff, A. P., Lima, R. R., Lorenz, A., MacWhinney, B., Shisler Marshall, R., Mattioli, F., Mavis, I., Meinzer, M., Nilipour, R., Noe, E., Paik, N. J., Palmer, R., Papathanasiou, I., Patricio, B., Pavao Martins, I., Price, C., Prizl Jakovac, T., Rochon, E., Rose, M. L., Rosso, C., Rubi-Fessen, I., Ruiter, M. B., Snell, C., Stahl, B., Szaflarski, J. P., Thomas, S. A., van de Sandt-Koenderman, M., van der Meulen, I., Visch-Brink, E., Worrall, L. et Harris Wright, H. (2022, Dec). Precision rehabilitation for aphasia by patient age, sex, aphasia severity, and time since stroke? A prespecified, systematic review-based, individual participant data, network, subgroup meta-analysis. *Int J Stroke*, 17(10), 1067-1077. <https://doi.org/10.1177/17474930221097477>
- Reuter-Lorenz, P. A. et Cappell, K. A. (2008, Jun). Neurocognitive aging and the compensation hypothesis. *Current Directions in Psychological Science*, 17(3), 177-182. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00570.x>
- Richardson, J. D. et Dalton, S. G. (2016, Jan 2). Main concepts for three different discourse tasks in a large non-clinical sample. *Aphasiology*, 30(1), 45-73. <https://doi.org/10.1080/02687038.2015.1057891>
- Richardson, J. T. E. (1976). Imageability and concreteness. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 7(5), 429-431. <https://doi.org/10.3758/BF03337237>
- Riddoch, M. J. et Humphreys, G. W. (1993). *BORB: Birmingham object recognition battery*. LEA.
- Riehl, C. M. (2010, Sep). The mental representation of bilingualism. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci*, 1(5), 750-758. <https://doi.org/10.1002/wcs.74>

- Rijntjes, M., Weiller, C., Bormann, T. et Musso, M. (2012). The dual loop model: its relation to language and other modalities. *Front Evol Neurosci*, 4, 9.  
<https://doi.org/10.3389/fnevo.2012.00009>
- Robey, R. R. (2004, Sep-Oct). A five-phase model for clinical-outcome research. *J Commun Disord*, 37(5), 401-411. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2004.04.003>
- Rochon, E., Leonard, C., Burianova, H., Laird, L., Soros, P., Graham, S. et Grady, C. (2010, Sep). Neural changes after phonological treatment for anomia: An fMRI study. *Brain Lang*, 114(3), 164-179. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2010.05.005>
- Rorden, C. et Karnath, H. O. (2004, Oct). Using human brain lesions to infer function: a relic from a past era in the fMRI age? [Perspective]. *Nat Rev Neurosci*, 5(10), 813-819.  
<https://doi.org/10.1038/nrn1521>
- Roseberry-McKibbin, C. et Hegde, M. N. (2016). *An advanced review of speech-language pathology : preparation for the Praxis and comprehensive examination* (Fourth edition.<sup>e</sup> éd.). PRO-ED, An International Publisher.
- Ross, K. et Wertz, R. (2010). Quality of life with and without aphasia. *Aphasiology*, 17(4), 355-364. <https://doi.org/10.1080/02687030244000716>
- Sadeghi, Z., Baharloeii, N., Moddarres Zadeh, A. et Ghasisin, L. (2017). Comparative Effectiveness of Semantic Feature Analysis (SFA) and Phonological Components Analysis (PCA) for Anomia Treatment in Persian Speaking Patients With Aphasia. *Iranian Rehabilitation Journal*, 15(3), 259-268. <https://doi.org/10.29252/nrip.irj.15.3.259>
- Saur, D., Lange, R., Baumgaertner, A., Schraknepper, V., Willmes, K., Rijntjes, M. et Weiller, C. (2006, Jun). Dynamics of language reorganization after stroke. *Brain*, 129(Pt 6), 1371-1384. <https://doi.org/10.1093/brain/awl090>
- Schmahmann, J. D., Pandya, D. N., Wang, R., Dai, G., D'Arceuil, H. E., de Crespigny, A. J. et Wedeen, V. J. (2007, Mar). Association fibre pathways of the brain: parallel observations from diffusion spectrum imaging and autoradiography. *Brain*, 130(Pt 3), 630-653.  
<https://doi.org/10.1093/brain/awl359>

- Simic, T., Bitan, T., Turner, G., Chambers, C., Goldberg, D., Leonard, C. et Rochon, E. (2019, Dec). The role of executive control in post-stroke aphasia treatment. *Neuropsychol Rehabil*, 30(10), 1853-1892. <https://doi.org/10.1080/09602011.2019.1611607>
- Simic, T., Chambers, C., Bitan, T., Stewart, S., Goldberg, D., Laird, L., Leonard, C. et Rochon, E. (2020, Nov - Dec). Mechanisms underlying anomia treatment outcomes. *J Commun Disord*, 88, 106048. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2020.106048>
- Simic, T., Leonard, C., Laird, L., Stewart, S. et Rochon, E. (2021, Sep-Oct). The effects of intensity on a phonological treatment for anomia in post-stroke aphasia. *J Commun Disord*, 93, 106125. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2021.106125>
- Simic, T., Rochon, E., Greco, E. et Martino, R. (2019, Apr). Baseline executive control ability and its relationship to language therapy improvements in post-stroke aphasia: a systematic review. *Neuropsychol Rehabil*, 29(3), 395-439. <https://doi.org/10.1080/09602011.2017.1307768>
- Simmons-Mackie, N. (1998, 1998/03/01). A solution to the discharge dilemma in aphasia: Social approaches to aphasia management. *Aphasiology*, 12(3), 231-239. <https://doi.org/10.1080/02687039808249451>
- Simmons-Mackie, N. (2018). *Aphasia in North America*. <https://www.aphasiaaccess.org/white-paper>
- Skidmore, E. R., Eskes, G. et Brodtmann, A. (2023, Jan). Executive Function Poststroke: Concepts, Recovery, and Interventions. *Stroke*, 54(1), 20-29. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.122.037946>
- Sporns, O. (2012). *Discovering the human connectome*. MIT press.
- Stark, J. (1998). *Everyday life activities: ELA. Photo series: Set 3: Part C. Manual: French version; Italian version; Spanish version*. na.
- Steffener, J. et Stern, Y. (2012, Mar). Exploring the neural basis of cognitive reserve in aging. *Biochim Biophys Acta*, 1822(3), 467-473. <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2011.09.012>
- Stern, Y. (2013). Cognitive reserve: implications for assessment and intervention. *Folia Phoniatr Logop*, 65(2), 49-54. <https://doi.org/10.1159/000353443>

- Sterr, A., Dean, P. J., Vieira, G., Conforto, A. B., Shen, S. et Sato, J. R. (2013). Cortical thickness changes in the non-lesioned hemisphere associated with non-paretic arm immobilization in modified CI therapy. *Neuroimage Clin*, 2, 797-803.  
<https://doi.org/10.1016/j.nicl.2013.05.005>
- Stuss, D. T., Bisschop, S. M., Alexander, M. P., Levine, B., Katz, D. et Izukawa, D. (2001, Jun). The Trail Making Test: a study in focal lesion patients. *Psychol Assess*, 13(2), 230-239.  
<https://doi.org/10.1037/1040-3590.13.2.230>
- Sze, W. P., Hameau, S., Warren, J. et Best, W. (2020, Jan 2). Identifying the components of a successful spoken naming therapy: a meta-analysis of word-finding interventions for adults with aphasia. *Aphasiology*, 35(1), 33-72.  
<https://doi.org/10.1080/02687038.2020.1781419>
- Tombaugh, T. N. (2004, Mar). Trail Making Test A and B: normative data stratified by age and education. *Arch Clin Neuropsychol*, 19(2), 203-214. [https://doi.org/10.1016/S0887-6177\(03\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0887-6177(03)00039-8)
- Tremblay, P. et Dick, A. S. (2016, Nov). Broca and Wernicke are dead, or moving past the classic model of language neurobiology. *Brain Lang*, 162, 60-71.  
<https://doi.org/10.1016/j.bandl.2016.08.004>
- Ulm, L., Copland, D. et Meinzer, M. (2016). A new era of systems neuroscience in aphasia? *Aphasiology*, 1-23.
- van den Noort, M., Struys, E., Bosch, P., Jaswetz, L., Perriard, B., Yeo, S., Barisch, P., Vermeire, K., Lee, S. H. et Lim, S. (2019, Mar 13). Does the Bilingual Advantage in Cognitive Control Exist and If So, What Are Its Modulating Factors? A Systematic Review. *Behav Sci (Basel)*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/bs9030027>
- van Hees, S., Angwin, A., McMahon, K. et Copland, D. (2013). A comparison of semantic feature analysis and phonological components analysis for the treatment of naming impairments in aphasia. *Neuropsychol Rehabil*, 23(1), 102-132.  
<https://doi.org/10.1080/09602011.2012.726201>



- van Hees, S., McMahon, K., Angwin, A., de Zubicaray, G. et Copland, D. A. (2014, Feb). Neural activity associated with semantic versus phonological anomia treatments in aphasia. *Brain Lang*, 129, 47-57. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2013.12.004>
- van Hees, S., McMahon, K., Angwin, A., de Zubicaray, G., Read, S. et Copland, D. A. (2014, Aug). A functional MRI study of the relationship between naming treatment outcomes and resting state functional connectivity in post-stroke aphasia. *Hum Brain Mapp*, 35(8), 3919-3931. <https://doi.org/10.1002/hbm.22448>
- Veldsman, M., Cumming, T. et Brodtmann, A. (2015, Apr). Beyond BOLD: optimizing functional imaging in stroke populations. *Hum Brain Mapp*, 36(4), 1620-1636. <https://doi.org/10.1002/hbm.22711>
- Viader, F. (2015). La classification des aphasies : un bref historique. *Revue de neuropsychologie*, 7(1). <https://doi.org/10.3917/rne.071.0005>
- Vygotskij, L. S. (1978). *Mind in society : the development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wambaugh, J. L., Wright, S., Nessler, C., Mauszycki, S. C., Bunker, L., Boss, E., Zhang, Y., Hula, W. D. et Doyle, P. J. (2020, Feb 7). Further Study of the Effects of Treatment Intensity on Outcomes of Sound Production Treatment for Acquired Apraxia of Speech: Does Dose Frequency Matter? *Am J Speech Lang Pathol*, 29(1), 263-285. [https://doi.org/10.1044/2019\\_AJSLP-19-00005](https://doi.org/10.1044/2019_AJSLP-19-00005)
- Ware, A. T., Kirkovski, M. et Lum, J. A. G. (2020). Meta-Analysis Reveals a Bilingual Advantage That Is Dependent on Task and Age. *Front Psychol*, 11, 1458. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01458>
- Watila, M. M. et Balarabe, S. A. (2015, May 15). Factors predicting post-stroke aphasia recovery. *J Neurol Sci*, 352(1-2), 12-18. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2015.03.020>
- Webster, J., Whitworth, A. et Morris, J. (2015). Is it time to stop “fishing”? A review of generalisation following aphasia intervention. *Aphasiology*, 29(11), 1240-1264. <https://doi.org/10.1080/02687038.2015.1027169>
- Weiller, C., Bormann, T., Kuemmerer, D., Musso, M. et Rijntjes, M. (2016). Chapter 27 - The Dual Loop Model in Language. Dans G. Hickok et S. L. Small (dir.), *Neurobiology of Language*

- (p. 325-337). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407794-2.00027-4>
- Weiller, C., Musso, M., Rijntjes, M. et Saur, D. (2009, 2009/09/01/). Please don't underestimate the ventral pathway in language. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(9), 369-370. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.06.007>
- Weiller, C., Reisert, M., Glauche, V., Musso, M. et Rijntjes, M. (2022, Nov). The dual-loop model for combining external and internal worlds in our brain. *Neuroimage*, 263, 119583. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.119583>
- Weiller, C., Reisert, M., Peto, I., Hennig, J., Makris, N., Petrides, M., Rijntjes, M. et Egger, K. (2021, Jul 1). The ventral pathway of the human brain: A continuous association tract system. *Neuroimage*, 234, 117977. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.117977>
- Whitfield-Gabrieli, S. et Nieto-Castanon, A. (2012). CONN: a functional connectivity toolbox for correlated and anticorrelated brain networks. *Brain Connect*, 2(3), 125-141. <https://doi.org/10.1089/brain.2012.0073>
- Whyte, J., Dijkers, M. P., Hart, T., Zanca, J. M., Packel, A., Ferraro, M. et Tsaousides, T. (2014, Jan). Development of a theory-driven rehabilitation treatment taxonomy: conceptual issues. *Arch Phys Med Rehabil*, 95(1 Suppl), S24-32 e22. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.05.034>
- Willenbockel, V., Sadr, J., Fiset, D., Horne, G. O., Gosselin, F. et Tanaka, J. W. (2010, Aug). Controlling low-level image properties: the SHINE toolbox. *Behav Res Methods*, 42(3), 671-684. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.3.671>
- Williams, S. E. (1983, 1983/09/01/). Factors influencing naming performance in aphasia: A review of the literature. *Journal of Communication Disorders*, 16(5), 357-372. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0021-9924\(83\)90018-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0021-9924(83)90018-7)
- Willmes, K. et Poeck, K. (1993). To what extent can aphasic syndromes be localized? *Brain*, 116(6), 1527-1540. <https://doi.org/10.1093/brain/116.6.1527>
- Wilson, R. S., Yu, L., Lamar, M., Schneider, J. A., Boyle, P. A. et Bennett, D. A. (2019). Education and cognitive reserve in old age. *Neurology*, 92(10), e1041-e1050. <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000007036>

- Wilson, S. M. et Hula, W. D. (2019, Jun 27). Multivariate Approaches to Understanding Aphasia and its Neural Substrates. *Curr Neurol Neurosci Rep*, 19(8), 53.  
<https://doi.org/10.1007/s11910-019-0971-6>
- Wisenburn, B. et Mahoney, K. (2009, 2009/10/15). A meta-analysis of word-finding treatments for aphasia. *Aphasiology*, 23(11), 1338-1352. [https://doi.org/Pii 915031269](https://doi.org/Pii%20915031269)  
10.1080/02687030902732745
- Woolley, C. S. (2021, Jan-Feb). His and Hers: Sex Differences in the Brain. *Cerebrum*, 2021.
- World Health Organization. (2001). International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF).
- Worrall, L. et Foster, A. (2017). Does intensity matter in aphasia rehabilitation? *The Lancet*, 389(10078), 1494-1495. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(17\)30546-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(17)30546-9)
- Wren, Y., Hambly, H. et Roulstone, S. (2012). A review of the impact of bilingualism on the development of phonemic awareness skills in children with typical speech development. *Child Language Teaching and Therapy*, 29(1), 11-25.  
<https://doi.org/10.1177/0265659012464880>
- Wu, C., Qin, Y., Lin, Z., Yi, X., Wei, X., Ruan, Y. et He, J. (2020, May). Prevalence and Impact of Aphasia among Patients Admitted with Acute Ischemic Stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 29(5), 104764. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.104764>
- Yourganov, G., Smith, K. G., Fridriksson, J. et Rorden, C. (2015, Dec). Predicting aphasia type from brain damage measured with structural MRI. *Cortex*, 73, 203-215.  
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.09.005>
- Zanella, C., Laures-Gore, J., Dotson, V. M. et Belagaje, S. R. (2022, May 11). Incidence of post-stroke depression symptoms and potential risk factors in adults with aphasia in a comprehensive stroke center. *Top Stroke Rehabil*, 1-11.  
<https://doi.org/10.1080/10749357.2022.2070363>
- Zhu, D., Chang, J., Freeman, S., Tan, Z., Xiao, J., Gao, Y. et Kong, J. (2014). Changes of functional connectivity in the left frontoparietal network following aphasic stroke. *Front Behav Neurosci*, 8, 167. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00167>

## **Annexes**

Annexe 1.....	Description méthodologique des analyses de neuroimagerie	.....317
Annexe 2.....	Formulaire d'information de et consentement	.....323
Annexe 3.....	Livret informatif en préparation à l'évaluation en IRM	.....329

## **Annexe 1 Description méthodologique des analyses de neuroimagerie**

Dans le domaine de l'aphasiologie, la neuroimagerie pourrait aider à identifier des mécanismes de récupérations spécifiques qui soutiennent la récupération des habiletés langagières. Dans cette thèse, il sera surtout question d'imagerie par résonance magnétique (IRM). L'IRM permet de cueillir des données structurales, mais également des données fonctionnelles, et de l'imagerie de diffusion. L'imagerie de diffusion ne sera pas abordée dans cette thèse, mais elle permet de visualiser et étudier le mouvement des molécules d'eau dans le cerveau, permettant ainsi d'inférer l'intégrité de la matière blanche. Au-delà des différents types de données qui peuvent être cueillis, il existe différentes méthodologies pour les analyser. Chaque type de données et chaque type d'analyse sont complémentaires aux autres et fournissent des informations différentes qui permettent de faire avancer nos connaissances. La section qui suit se veut un aperçu de la neuroimagerie appliquée aux populations clinique comme les personnes qui vivent avec une aphasie.

### **Imagerie structurelle**

L'imagerie structurelle permet de visualiser et d'analyser les structures du cerveau afin de bien comprendre l'anatomie. Dans le cas spécifique des personnes vivant avec une aphasie post-AVC, l'imagerie structurelle permet notamment de voir et d'évaluer la taille et la localisation de la lésion, ainsi que l'état des structures neuroanatomiques autour. Plusieurs équipes ont ensuite tenté de cartographier les symptômes des personnes vivant avec une aphasie sur les lésions (*lesion-symptom mapping*). Pour y parvenir, des masques de lésions sont tracés pour tous-tes les participant-e-s et des statistiques sont réalisées entre la performance de chacun-e des participant-e-s à un test donné en fonction de la présence ou l'absence de lésion à dans une région d'intérêt. La méthode *voxel-based lesion-symptom mapping* (VLSM) produit une carte qui montre les voxels pour lesquelles l'intégrité ou la nécrose est statistiquement liée à la performance à la tâche (Crinion et al., 2013). La méthode VLSM a l'avantage de reposer sur une image rapide à acquérir et souvent effectuée dans un contexte clinique. Comparativement à d'autres méthodes de cartographie de lésions, cette méthode a aussi l'avantage de ne pas

imposer de déterminer un seuil sain/déficit ou de délimiter une région d'intérêt (Crinion et al., 2013). La méthode de VLSM permet d'identifier des régions qui sont essentielles pour la réalisation d'une tâche spécifique, en comparaison à d'autres approches qui identifient plutôt un ensemble de régions recruté pour réaliser ladite tâche sans permettre de savoir si elles sont indispensables (Rorden et Karnath, 2004). L'approche VLSM présente tout de même certaines faiblesses. L'approche VLSM se base sur la théorie de la modularité qui assume que chaque module cérébral anatomique est responsable d'une fonction cognitive confinée à ce module (Rorden et Karnath, 2004) et l'approche VLSM suppose qu'en présence d'une lésion, les régions intactes continuent de fonctionner exactement comme avant. Aussi, l'imagerie utilisée pour effectuer l'analyse VLSM n'informe que sur l'intégrité morphologique, et non sur l'intégrité fonctionnelle, et certaines lésions ne sont pas détectées par les techniques actuelles (Price et al., 2017).

L'imagerie structurelle permet également de réaliser des analyses de la surface corticale (Fischl et al., 1999). En effet, il est possible de calculer l'épaisseur de la matière grise, soit en mesurant la distance entre la couche piaie et la matière blanche. Cette zone représente l'endroit où se trouvent notamment les corps cellulaires et représente la densité de neurones et les connexions neuronales. L'épaisseur corticale est souvent associée à l'intégrité de la matière grise (Meier et al., 2019). Cette mesure est sensible à la NPDE; des changements d'épaisseur corticale dans les aires sensorimotrices ont auparavant été mesurés par suite d'intervention ciblant le membre supérieur chez des personnes ayant une hémiparésie (Sterr et al., 2013). Ce type d'analyse s'avère donc intéressant pour bien comprendre les structures qui sont impliquées dans la récupération.

## **Imagerie fonctionnelle**

La neuroimagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) est basée sur le taux d'oxygénation du sang (signal *blood oxygen level dependent*; BOLD) qui permet de mesurer la réponse hémodynamique des différentes régions. Cette réponse hémodynamique sert ensuite d'indicateur indirect de l'activité neuronale sous-jacente à une activité cognitive (Bijsterbosch et al., 2017). Certaines séquences d'IRMf sont réalisées pendant que la personne réalise une

tâche – compréhension audition, identification de non-mots, jugement sémantique, dénomination, tâche exécutive – et d’autres séquences peuvent être réalisées à l’état de repos (*resting-state*).

Les mesures de signal BOLD peuvent être analysées de plusieurs façons; l’approche ségrégative, ou de localisation, cherche à identifier les aires dont l’activation peut être associée à une tâche particulière ou à un niveau de performance (Price et al., 2006). L’approche intégrative cherche les similitudes dans l’évolution chronologique du signal BOLD en suivant la supposition que si les aires ont une activité similaire, elles sont probablement liées fonctionnellement (Bijsterbosch et al., 2017; Price et al., 2006). Cette deuxième approche est aussi appelée l’étude de la connectivité fonctionnelle (*functional connectivity*) (Sporns, 2012). Il est pertinent de souligner que la connectivité fonctionnelle repose sur des dépendances statistiques qui peuvent exister que les régions soient anatomiquement reliées ou non (Behrens et Sporns, 2012; Sporns, 2012).

Les études explorant l’aphasie à l’aide d’IRMf emploient différents devis expérimentaux, allant d’études transversales avec un groupe contrôle (Geranmayeh et al., 2016) à des études longitudinales mesurant les changements des habiletés langagières par suite d’une thérapie (Marcotte et al., 2013).

#### Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle avec tâche

Initialement, les études utilisant l’IRMf tentaient surtout d’assigner les aires cérébrales à des processus cognitifs précis en employant des analyses de ségrégation (Bijsterbosch et al., 2017; Ulm et al., 2016). Pour ce faire, les conditions d’intérêt et contrôle<sup>8</sup> sont effectuées dans l’IRM. Le signal BOLD mesuré lors de la condition contrôle est contrasté, ou soustrait, à celui de la condition d’intérêt pour identifier les aires qui sont impliquées dans le processus cognitif ciblé.

---

<sup>8</sup> La condition contrôle est identique à la condition d’intérêt en termes de demandes sensorielles et motrices, mais en soustrayant le processus cognitif ciblé. Par exemple, si la condition d’intérêt est une tâche de jugement sémantique, alors une bonne tâche contrôle pourrait être une tâche de jugement de similitude visuelle. La personne doit regarder et identifier l’image, mais au lieu d’accéder à son réseau lexical pour identifier les traits sémantiques correspondant, elle doit juger de la similarité visuelle. La réponse par bouton est la même dans les deux tâches.

L'IRMf avec tâche peut être utilisée dans un devis longitudinal pour identifier la NPDE induite par un protocole ciblant l'anomie (Marcotte et al., 2012). Dans une revue de la littérature, Crinion et Leff (2015) identifient 14 études qui utilisent l'IRMf avec tâche pour identifier les corrélats neuronaux supportant les progrès par suite d'une intervention. Les auteur·rice·s soulignent que les protocoles et les devis de neuroimagerie varient considérablement, mais des patrons émergent tout de même des publications scientifiques. En effet, le cortex frontotemporal gauche est souvent activé et corrélé avec des améliorations (Crinion et Leff, 2015). Le gyrus frontal inférieur (IFG) droit est aussi souvent mentionné dans les articles, mais le débat persiste à savoir si c'est adaptatif ou mal-adaptatif (Crinion et Leff, 2015).

L'une des faiblesses plus propres à l'IRMf avec tâche est le besoin d'ajuster la tâche pour que les personnes ayant une aphasie soient en mesure de la compléter tout en ayant un nombre suffisant d'items réussis pour réaliser l'analyse (Price et al., 2006) et une performance similaire aux participant·e·s contrôles, s'il y a lieu. L'étude de la production du langage et de l'efficacité des interventions ciblant la production des mots nécessite une tâche qui recrute les mêmes processus et réseaux (Veldsman et al., 2015). Pour y parvenir, l'un des moyens est d'effectuer de la dénomination dans l'IRMf. Or, en faisant cela, on introduit du bruit supplémentaire causé par le mouvement des articulateurs et de la tête pendant la parole (Birn et al., 2004). La dénomination à voix haute (avec enregistrement pendant l'IRM) a l'avantage de nous permettre d'évaluer l'exactitude des réponses fournies et pourrait recruter des réseaux spécifiques comparativement à la dénomination silencieuse (Birn et al., 2004). Afin de limiter l'impact du mouvement sur la qualité des images, il est possible d'entraîner les participants à parler en minimisant les mouvements et utiliser un devis lié à l'événement (*event-related*) ayant des intervalles interstimuli variables (Birn et al., 2004).

#### Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle au repos

Depuis quelques années, la communauté scientifique se tourne davantage vers la connectivité fonctionnelle, cette méthode a l'avantage de considérer le fonctionnement en réseaux du cerveau. Les nombreux réseaux sont interreliés et interagissent (Ulm et al., 2016). La CF-r est une technique de neuroimagerie qui permet d'identifier les régions qui montrent une activité



similaire ; une corrélation statistique est effectuée avec l'évolution chronologique du signal BOLD entre deux voxels ou deux régions d'intérêt (Bijsterbosch et al., 2017; Price et al., 2006; Sporns, 2012).

L'activité neuronale dans le cerveau ne cesse jamais et certaines composantes de réseau, par exemple celles du réseau du mode par défaut (*default-mode network* ; DMN), montrent une très grande synchronicité dans leurs séries temporelles du signal BOLD, même lorsque les participant·e·s ne font rien dans l'IRM (Bijsterbosch et al., 2017). Ces réseaux sont relativement robustes dans le temps et entre les participant·e·s (Honey et al., 2009), ce qui rend l'IRMf au repos particulièrement adéquat pour l'étude de la connectivité fonctionnelle (Sporns, 2012). Par ailleurs, les réseaux identifiés au repos montrent une forte corrélation avec ceux qui ont déjà été identifiés dans des paradigmes expérimentaux comprenant une tâche. Or, tous ces réseaux au repos ne sont pas indépendants les uns des autres, la plupart partagent des nœuds ou des composantes (Sporns, 2012).

L'analyse de connectivité fonctionnelle est aussi possible avec le signal BOLD obtenu pendant une séquence d'IRMf avec tâche. Des études ont comparé l'état des réseaux entre des personnes vivant avec une aphasie et des participant·e·s contrôles durant des tâches de dénomination, décompte, décision et repos, en soulignant les différences au niveau de l'intégrité des réseaux et de la connectivité entre les réseaux (Geranmayeh et al., 2016). Ces différences ont par ailleurs été associées à des déficits comportementaux (Zhu et al., 2014).

Les données d'IRMf peuvent être analysées au niveau du voxel et de régions d'intérêt. Les analyses peuvent également être guidées par les données (*data-driven*) ou par des hypothèses (*hypothesis-driven*). Lorsqu'on effectue les analyses au niveau du voxel, on obtient une carte de connectivité indiquant le degré de connectivité pour chacun des voxels (Bijsterbosch et al., 2017). Dans la méthode d'analyse *seed-based correlation analysis* (SCA), une région d'intérêt est identifiée et une série temporelle du signal BOLD moyen est déterminé pour l'ensemble de la région. Ensuite, un coefficient de corrélation est calculé entre la série temporelle de la région d'intérêt et tous les autres voxels du cerveau (Bijsterbosch et al., 2017). Ces coefficients peuvent être normalisés et utilisés dans des études de groupes. Cette méthode d'analyse est

*hypothesis-driven* et permet de répondre à une question relativement précise, mais elle limite l'étude à une région d'intérêt précise.

Les analyses par nœuds, comparativement aux analyses par voxels, servent typiquement à analyser la connectivité entre une plus grande quantité de nœuds (unités fonctionnelles) qui occupent un espace plus restreint, mieux défini. Les nœuds peuvent également être répartis dans une seule partie du cerveau si un système en particulier est étudié. Pour effectuer ce type d'analyse, il faut déterminer les nœuds et la série temporelle du signal BOLD moyen pour l'ensemble de la région. L'étape de déterminer les nœuds est particulièrement cruciale parce que si une région est mal délimitée, déterminer la série temporelle du signal BOLD moyen qui sera généré ne représentera pas une région fonctionnellement unie et ces combinaisons ont un effet nuisible sur la précision des calculs (Bijsterbosch et al., 2017).

En résumé, l'IRM offre un bon choix de séquences qui permettent d'étudier des questions complémentaires. L'IRM structurelle permet de bien visualiser la neuroanatomie alors que l'IRM fonctionnelle permet d'étudier le fonctionnement du cerveau. Il est possible d'étudier l'activation en contrastant différentes conditions ou différents moments d'acquisition, comme il est possible d'étudier les corrélations temporelles d'activation au sein du cerveau pour dégager la connectivité fonctionnelle. Ces méthodes ont chacune leurs avantages et faiblesses.

## Annexe 2 Formulaire d'information de et consentement

Titre du projet de recherche :	Marqueurs neurofonctionnels d'une thérapie orthophonique efficace pour le traitement du manque du mot.
Chercheur responsable du projet de recherche :	Ana Inès ANSALDO, Ph. D. Directrice du laboratoire de plasticité cérébrale, communication et vieillissement au Centre de recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal.
Membre du personnel de recherche :	Michèle MASSON-TROTTIER, Orthophoniste, M.P.O.(c), Candidate au doctorat en Sciences Biomédicales, Université de Montréal.
Organisme subventionnaire :	Instituts de Recherche en Santé du Canada.

### Préambule

Nous vous invitons à participer à un projet de recherche. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet et de signer ce formulaire d'information et de consentement, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur responsable de ce projet ou à un membre de son personnel de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

### Nature et objectifs du projet de recherche

L'aphasie est un trouble acquis du langage suite à une lésion cérébrale, qui a des conséquences sur la participation sociale des personnes atteintes. La récupération de l'aphasie dépend des mécanismes de plasticité cérébrale. La plasticité cérébrale désigne la capacité du cerveau à s'adapter et à se remodeler tout au long de la vie et notamment, suite à cet accident.

Dans ce projet de recherche, nous nous intéressons à l'efficacité d'une thérapie en orthophonie auprès de personnes présentant une aphasie. Ce projet de recherche, nous l'espérons, nous apportera une meilleure compréhension des effets de la thérapie du langage sur la plasticité cérébrale permettant ainsi de mieux cibler l'intervention orthophonique auprès des personnes présentant une aphasie pour la recherche d'une efficacité maximale.

Pour la réalisation de ce projet de recherche, nous comptons recruter 60 participants, hommes et femmes, âgés de 60 ans et plus.

Formulaire d'information et de consentement approuvé le 7 juillet 2016 par le Comité d'éthique de la recherche vieillissement-neuroimagerie.  
CMER RNQ 15-16-02 - version du 7 juillet 2016.

De ces 60 participants, 30 participants présenteront une aphasie depuis plus d'une année, suite à une lésion unique dans l'hémisphère gauche. Les 30 autres participants feront partie du groupe contrôle et ils seront appariés pour l'âge, le sexe et l'éducation au groupe de participants présentant une aphasie afin de comparer les deux groupes.

### **Qu'est-ce qu'une imagerie par résonance magnétique (IRM)?**

L'imagerie par résonance magnétique réalisée en recherche, donne des images du corps, du cerveau ainsi que de leur fonctionnement.

L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle permet, quant à elle, de voir les zones du cerveau qui deviennent actives lorsqu'on demande à une personne d'effectuer une tâche. En effet, lorsque la personne effectue la tâche demandée, il y a une augmentation de l'arrivée de sang dans la partie du cerveau qui contrôle cette activité. L'arrivée du sang provoque un changement dans le signal émis par le cerveau et cette modification de signal peut être détectée par l'appareil.

Pour la réalisation de l'IRM, aucune substance ne sera injectée. Vous serez allongé sur un matelas qui sera lentement glissé dans un grand tube. Le tube est ouvert aux deux extrémités. Un système d'interphone vous permet de communiquer avec le technicien au besoin. Pour votre confort, nous vous demanderons de porter soit un casque d'écoute, soit des bouchons protecteurs qui seront installés dans vos oreilles, et ce, afin de diminuer les bruits importants qui sont émis par l'appareil. Pendant que l'appareil fonctionne, il est important de demeurer immobile. Pour ce faire, un coussinet sera placé autour de votre tête afin d'assurer votre immobilité.

### **Déroulement du projet de recherche**

Ce projet de recherche se déroulera au Centre de recherche de l'IUGM et comprend trois étapes. Un membre de l'équipe viendra vous chercher à chaque rencontre dans la salle d'accueil du centre.

#### **I. Première étape – Évaluation avant la thérapie orthophonique**

a. Évaluation des fonctions cognitives et de la latéralité - Pour tous les participants. (Durée environ 60 minutes)

Quelques questionnaires pour évaluer votre mémoire, votre attention et pour savoir si vous êtes droitiers ou gauchers seront effectués.

b. Évaluation du langage - Pour tous les participants (Durée environ 60 minutes).

Nous procéderons à une évaluation du langage, afin d'évaluer plus précisément votre compréhension et votre capacité à nommer des mots et des verbes, à produire des phrases, à tenir une conversation.

c. Séance d'IRM - Pour tous les participants. (Durée environ 60 minutes)

Au cours des séances d'IRM, nous vous demanderons selon le moment approprié de nommer un objet et une action observée sur une image présentée sur un moniteur. Vous devrez nommer l'objet et l'action à haute voix et le plus vite et précisément possible.

#### **II. Deuxième étape - Thérapie orthophonique pour les participants présentant une aphasie.**

a. Thérapie orthophonique – seulement les participants ayant une aphasie

Lors de cette deuxième étape, les participants seront invités à participer à une thérapie orthophonique durant 3 mois maximum à raison d'une session de 60 minutes 3 fois par semaine.

Lors des sessions de thérapie, nous vous demanderons de nommer les objets et les actions correspondant aux images à haute voix et aussi vite et précisément que possible. L'orthophoniste vous posera des questions dans le but de vous aider à trouver les réponses.

b. Séance d'IRM - Pour tous les participants. (Durée environ 45 minutes)

Cette séance d'IRM aura lieu 6 semaines maximum après la première séance d'IRM et le plus tôt possible après la

fin des séances de thérapie le tout en tenant compte des défis de synchronisation des horaires des participants et de la disponibilité de la salle de résonance magnétique.

### **III. Troisième étape - Évaluation après la thérapie orthophonique**

a. Évaluation des fonctions cognitives et évaluation du langage - Pour tous les participants (Durée environ 60 minutes)

Nous procéderons aux mêmes évaluations que celles décrites dans la première étape.

b. Séance d'IRM - Pour tous les participants. (Durée environ 45 minutes)

Cette séance d'IRM aura lieu 6 mois après la fin des séances orthophonie et de la deuxième séance d'IRM.

#### **Découverte fortuite**

Bien qu'ils ne fassent pas l'objet d'une évaluation médicale formelle, les résultats de tous les tests, examens et procédures que vous aurez à faire durant votre participation à ce projet peuvent mettre en évidence des problèmes jusque-là ignorés, c'est ce que l'on appelle une découverte fortuite. C'est pourquoi, en présence d'une particularité, le chercheur responsable du projet vous appellera.

#### **Avantages associés au projet de recherche**

Il se peut que vous retiriez un bénéfice personnel de votre participation à ce projet de recherche, mais nous ne pouvons vous l'assurer. Par ailleurs, les résultats obtenus contribueront à l'avancement des connaissances scientifiques dans ce domaine de recherche.

#### **Inconvénients associés au projet de recherche**

Les conditions imposées par l'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique réalisée en recherche peuvent entraîner un inconfort du fait de devoir rester immobile et un inconfort pourrait également être associé au bruit qui est généré par le fonctionnement de l'appareil. Vous pourriez aussi ressentir un certain stress ou une sensation de claustrophobie.

Vous pourriez aussi ressentir un certain état de fatigue à cause de l'attention soutenue nécessaire lors de la réalisation de la thérapie en orthophonie.

#### **Risques associés au projet de recherche**

Selon les connaissances actuelles, votre participation à une imagerie par résonance magnétique réalisée en recherche ne vous fera courir aucun risque, sur le plan médical, si vous ne présentez aucune contre-indication.

À cause de la puissance du champ magnétique émis par l'appareil, il est nécessaire de prendre certaines précautions. C'est pourquoi vous devez obligatoirement remplir un questionnaire détaillé afin de détecter toute contre-indication, par exemple, la présence d'un stimulateur cardiaque, d'un clip d'anévrisme, de prothèse métallique, de prothèse ou clip valvulaire cardiaque, de présence de métal dans l'œil ou sur le corps, de tatouage, de piercing, de broches dentaires ou si vous souffrez de claustrophobie. La vérification rigoureuse de la présence de contre-indication sera assumée par le technologue en fonction à l'UNF.

#### **Participation volontaire et possibilité de retrait**

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer. Vous pouvez également vous retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en faisant connaître votre décision au chercheur responsable de ce projet ou à l'un des membres de son personnel de recherche.

Le chercheur responsable de ce projet, le Comité d'éthique de la recherche vieillissement-neuroimagerie ou l'organisme subventionnaire peuvent mettre fin à votre participation, sans votre consentement, si de nouvelles découvertes ou informations indiquent que votre participation au projet n'est plus dans votre intérêt, si vous ne respectez pas les consignes du projet de recherche ou s'il existe des raisons administratives d'abandonner le projet.

Si vous vous retirez ou êtes retiré du projet, l'information déjà obtenue dans le cadre de ce projet sera conservée aussi longtemps que nécessaire pour se conformer aux exigences réglementaires.

Toute nouvelle connaissance acquise durant le déroulement du projet qui pourrait affecter votre décision de continuer à participer à ce projet vous sera communiquée sans délai verbalement et par écrit.

### **Confidentialité**

Durant votre participation à ce projet de recherche, le chercheur responsable de ce projet ainsi que les membres de son personnel de recherche recueilleront, dans un dossier de recherche, les renseignements vous concernant. Seuls les renseignements nécessaires pour répondre aux objectifs scientifiques de ce projet seront recueillis.

Ces renseignements peuvent comprendre les informations concernant votre état de santé passé et présent, vos habitudes de vie ainsi que les réponses aux questionnaires et les résultats de tous les tests, examens et procédures qui seront réalisés. Votre dossier peut aussi comprendre d'autres renseignements tels que votre nom, votre sexe, votre date de naissance.

Tous les renseignements recueillis demeureront confidentiels dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver votre identité et la confidentialité de ces renseignements, vous ne serez identifié que par un numéro de code. La clé du code reliant votre nom à votre dossier de recherche sera conservée par le chercheur responsable de ce projet de recherche.

Les renseignements recueillis, à titre de données de recherche, seront utilisés par le chercheur responsable de ce projet dans le but de répondre aux objectifs scientifiques du projet décrits dans le formulaire d'information et de consentement.

Les données de recherche pourront être publiées dans des revues spécialisées ou faire l'objet de discussions scientifiques, mais il ne sera pas possible de vous identifier. Également, les données de recherche pourraient servir pour d'autres analyses de données reliées au projet ou pour l'élaboration de projets de recherches futurs. Par ailleurs, vos renseignements personnels, tels que votre nom ou vos coordonnées, seront conservés pendant 5 ans après la fin du projet par le chercheur responsable de ce projet de recherche et seront détruits par la suite.

À des fins de surveillance et de contrôle, votre dossier de recherche pourra être consulté par une personne mandatée par le Comité d'éthique de la recherche vieillissement-neuroimagerie ou par l'établissement ou par une personne mandatée par des organismes publics autorisés. Toutes ces personnes et ces organismes adhèrent à une politique de confidentialité.

À des fins de protection, notamment afin de pouvoir communiquer avec vous rapidement, vos noms et prénoms, vos coordonnées et la date de début et de fin de votre participation au projet seront conservés pendant un an après la fin du projet dans un répertoire à part maintenu par le chercheur responsable de ce projet de recherche.

En conformité avec la loi sur l'accès à l'information, vous avez le droit de consulter votre dossier de recherche pour vérifier les renseignements recueillis et les faire rectifier au besoin, et ce, aussi longtemps que le chercheur responsable de ce projet de recherche détient ces informations.

### **Études ultérieures**

Acceptez-vous que vos données de recherche soient utilisées pour réaliser d'autres projets de recherche soit dans le domaine de la neuroscience du vieillissement ou soit dans le domaine de la promotion de la santé, des soins et des interventions.

Ces projets de recherche seront évalués et approuvés par le Comité d'éthique de la recherche vieillissement-neuroimagerie avant leur réalisation. Vos données de recherche seront conservées de façon sécuritaire dans la Banque de données du Centre de recherche de l'IUGM, et ce, conformément au cadre de gestion de la Banque de données du Centre de recherche de l'IUGM. Afin de préserver votre identité et la confidentialité de vos données de recherche, vous ne serez identifié que par un numéro de code.

Vos données de recherche seront conservées aussi longtemps qu'elles peuvent avoir une utilité pour l'avancement des connaissances scientifiques. Lorsqu'elles n'auront plus d'utilité, vos données de recherche seront détruites. Par ailleurs, notez qu'en tout temps, vous pouvez demander la destruction de vos données de recherche en vous adressant au chercheur responsable de ce projet de recherche.

Acceptez-vous que vos données de recherche soient utilisées à ces conditions pour réaliser d'autres projets de recherche?  **Oui**  **Non**

### **Participation à des études ultérieures**

Acceptez-vous que le chercheur responsable de ce projet de recherche ou un membre de son personnel de recherche reprenne contact avec vous pour vous proposer de participer à d'autres projets de recherche? Bien sûr, lors de cet appel, vous serez libre d'accepter ou de refuser de participer aux projets de recherche proposés.  **Oui**  
 **Non**

### **Financement du projet de recherche**

Le chercheur responsable de ce projet de recherche a reçu un financement de l'organisme subventionnaire pour mener à bien ce projet de recherche.

### **Compensation**

Vous recevrez un montant de 50 dollars en guise de compensation pour votre déplacement et votre participation au projet de recherche. Si vous vous retirez ou si vous êtes retiré du projet avant qu'il ne soit complété, vous recevrez un montant proportionnel à votre participation.

### **Indemnisation en cas de préjudice et droits du participant à la recherche**

Si vous deviez subir quelque préjudice que ce soit dû à votre participation au projet de recherche, vous recevrez tous les soins et services requis par votre état de santé, sans frais de votre part.

En acceptant de participer à ce projet de recherche, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez le chercheur responsable de ce projet de recherche, l'organisme subventionnaire et l'établissement de leur responsabilité civile et professionnelle.

### **Procédures en cas d'urgence médicale**

Veuillez noter que l'IUGM n'est pas un centre hospitalier de soins de courte durée qui offre des services d'urgence et qui compte sur la présence sur place d'un médecin 24 heures sur 24. Par conséquent, advenant une condition médicale qui nécessiterait des soins immédiats, les premiers soins vous seront dispensés par le personnel en place et des dispositions seront prises afin de vous transférer, si nécessaire, aux urgences d'un hôpital avoisinant.

### **Identification des personnes-ressources**

Si vous avez des questions concernant le projet de recherche ou si vous éprouvez un problème que vous croyez relié à votre participation au projet de recherche, vous pouvez communiquer avec le membre du personnel de recherche Michèle Masson-Trottier, au [REDACTED], poste [REDACTED] ou le chercheur responsable du projet de recherche, Ana Inès Ansaldo, au [REDACTED], poste [REDACTED].

Pour toute question concernant vos droits en tant que participant à ce projet de recherche ou si vous avez des plaintes ou des commentaires à formuler, vous pouvez communiquer avec le commissaire aux plaintes et à la qualité des services du CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal, au [REDACTED].

### **Surveillance des aspects éthiques du projet de recherche**

Le Comité d'éthique de la recherche vieillissement-neuroimagerie a approuvé ce projet de recherche et en assure le suivi. De plus, il approuvera au préalable toute révision et toute modification apportée au protocole de recherche et au formulaire d'information et de consentement. Pour toute information, vous pouvez joindre le secrétariat du Comité, par téléphone, au [REDACTED], poste [REDACTED]. Vous pouvez également joindre le secrétariat du Comité par courriel à l'adresse suivante : [REDACTED]

## Consentement

**Titre du projet de recherche :** Marqueurs neurofonctionnels d'une thérapie orthophonique efficace pour le traitement du manque du mot.

### 1. Consentement du participant

J'ai pris connaissance du formulaire d'information et de consentement. Je reconnais qu'on m'a expliqué le projet, qu'on a répondu à mes questions et qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre une décision. Après réflexion, je consens à participer à ce projet de recherche aux conditions qui y sont énoncées.

---

Signature du participant

Date

### 2. Signature de la personne qui a obtenu le consentement si différent du chercheur responsable du projet de recherche.

J'ai expliqué au participant les termes du présent formulaire d'information et de consentement et j'ai répondu aux questions qu'il m'a posées.

---

Signature de la personne qui obtient le consentement

Date

### 3. Signature et engagement du chercheur responsable de ce projet de recherche

Je certifie qu'on a expliqué au participant les termes du présent formulaire d'information et de consentement, que l'on a répondu aux questions qu'il avait à cet égard et qu'on lui a clairement indiqué qu'il demeure libre de mettre un terme à sa participation, et ce, sans préjudice.

Je m'engage, avec l'équipe de recherche, à respecter ce qui a été convenu au formulaire d'information et de consentement et à en remettre une copie signée et datée au participant.

---

Signature du chercheur responsable du projet de recherche

Date



# Cahier d'information

IRM

Projet SFA-PCA

Michèle Masson-Trottier

**Michèle Masson-Trottier, Orthophoniste**

**Projet de recherche:** Marqueurs neurofonctionnels d'une thérapie orthophonique efficace pour le traitement du manque du mot

Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal

## Plan d'accès au CRIUGM (1)

4565, Chemin Queen-Mary  
Montréal (Québec) H3W 1W5



**Si vous vous perdez, n'hésitez pas à nous joindre:**

**Michèle:** [REDACTED]

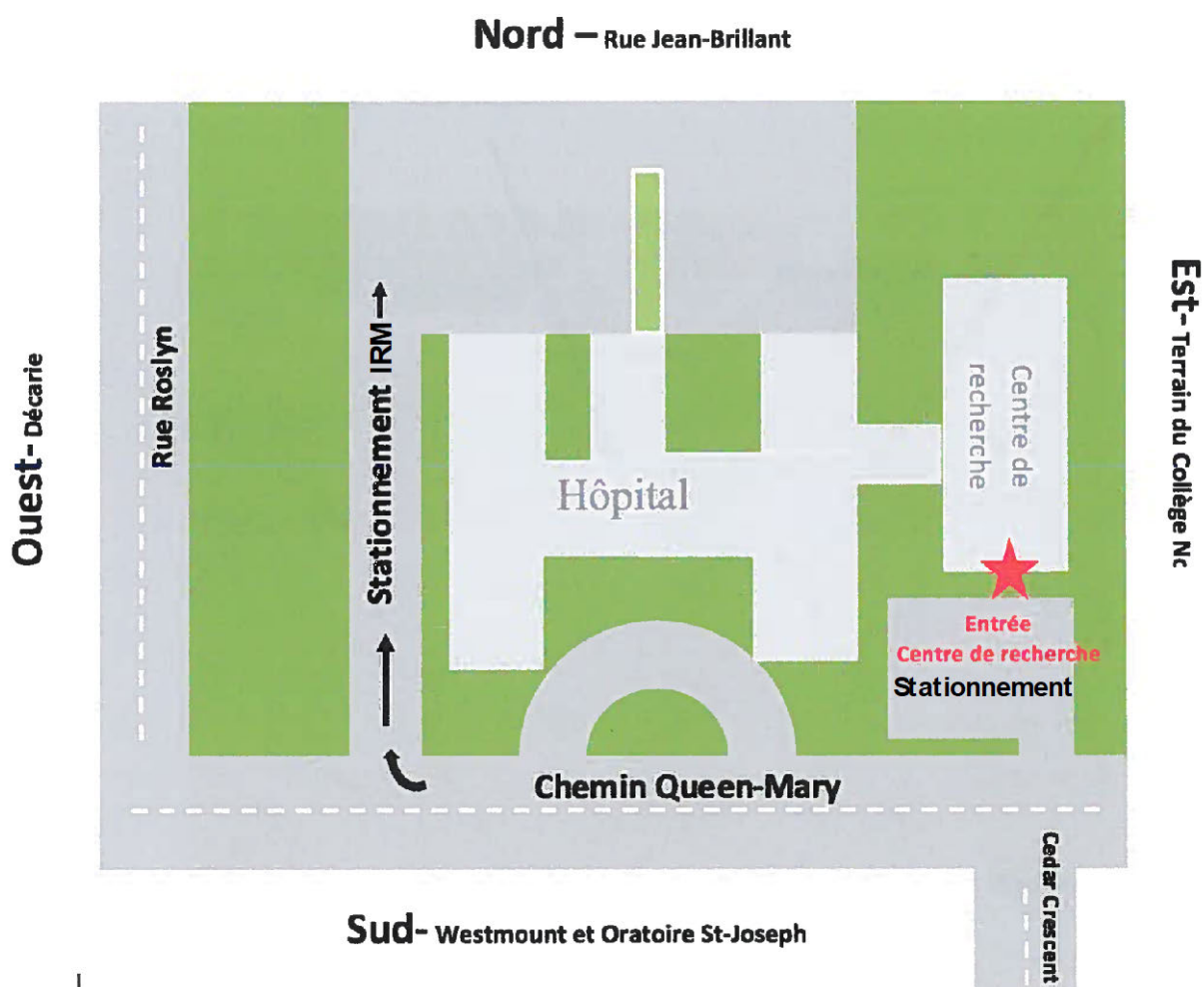
**Bureau:** [REDACTED] poste [REDACTED]

**Michèle Masson-Trottier, Orthophoniste**

**Projet de recherche:** Marqueurs neurofonctionnels d'une thérapie orthophonique efficace pour le traitement du manque du mot

Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal

## Plan d'accès au CRIUGM (2)



**Si vous vous perdez, n'hésitez pas à nous joindre:**

**Michèle:** [REDACTED]

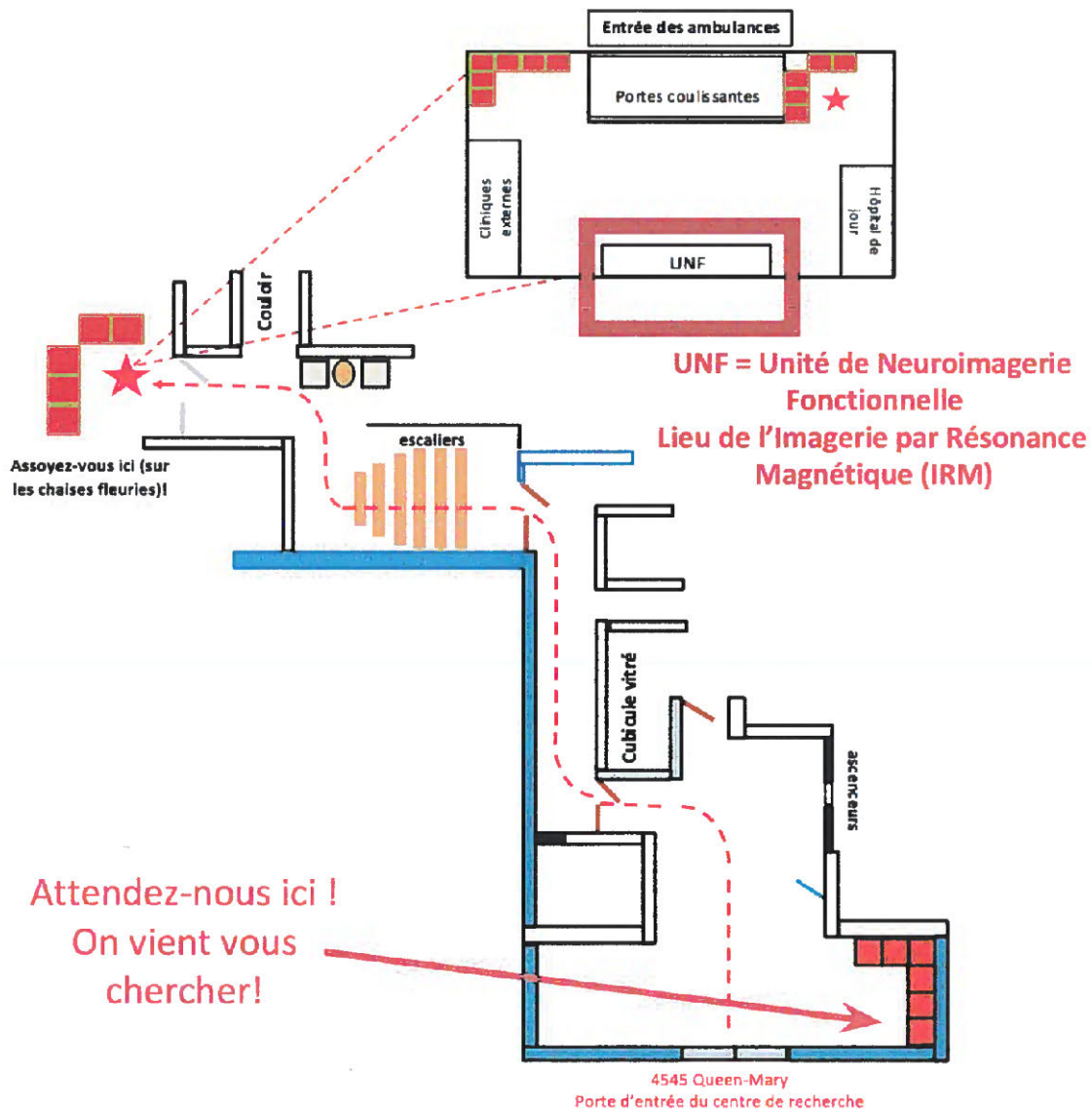
**Bureau:** [REDACTED] poste [REDACTED]

**Michèle Masson-Trottier**, Orthophoniste

**Projet de recherche:** Marqueurs neurofonctionnels d'une thérapie orthophonique efficace pour le traitement du manque du mot

Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal

### Plan d'accès au CRIUGM (3)



**Si vous vous perdez, n'hésitez pas à nous joindre:**

Michèle: [REDACTED]

Bureau: [REDACTED] poste [REDACTED]

**Michèle Masson-Trottier**, Orthophoniste

**Projet de recherche:** Marqueurs neurofonctionnels d'une thérapie orthophonique efficace pour le traitement du manque du mot

Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal

## Permis de stationnement

Un permis de stationnement est réservé aux participants des projets de recherche. Il vous sera remis lors de votre arrivée au stationnement si vous arrivez en voiture. Il sera à déposer sur le tableau de bord de votre voiture.

**PERMIS DE STATIONNEMENT  
D'UN JOUR**  
ONE DAY PARKING PERMIT

MONTREAU **479**

NE GRATTEZ QUE LE JOUR, LE MOIS ET L'ANNÉE D'UTILISATION  
DO NOT GRAB ONLY THE DAY, THE MONTH AND THE YEAR OF USE

JOUR

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
<b>13</b>	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	NUL RI PLUS D'UNE CASE GRATÉE DANS CHAQUE SECTION DO NOT GRAB MORE THAN ONE SPACE IN EACH SECTION				

MOIS

JAN	FEV	<b>MARS</b>	AVR	MAI	JUIN
JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC

ANNÉE

2007	2008	<b>2009</b>
------	------	-------------

**016443**

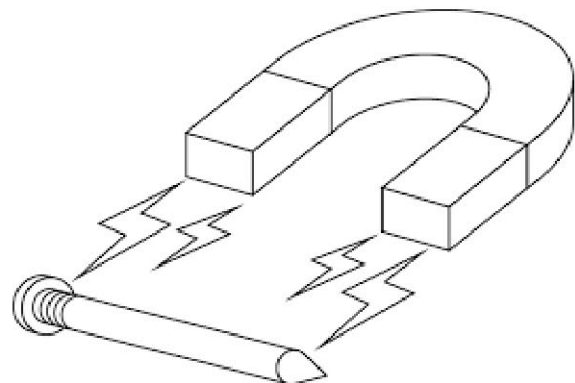
Chaque billet n'est valable que pour **une seule journée**. Il n'est donc pas réutilisable. Vous devez gratter une case pour le **jour**, le **mois** et l'**année**, correspondant à la **date de votre rendez-vous**, comme spécifié sur l'illustration.

**Si vous vous perdez, n'hésitez pas à nous joindre:**

Michèle: [REDACTED]

Bureau: [REDACTED] poste [REDACTED]

# IRM de recherche UNF



# Equipe de l'UNF



Carollyn Hurst, R.T.R. (MR)  
**MRI Technologist**



André Cyr, M.Ing., ing.  
**Technical Coordinator**

# Protocole IRM



## Qu'est-ce qu'on fait?

### 1. Préparation



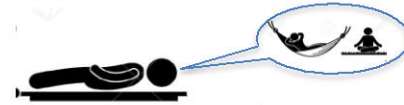
### 2. IRM anatomique



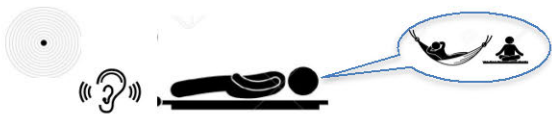
### 3. IRM fonctionnelle



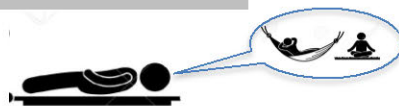
### 4. Perfusion sanguine cérébrale



### 5. Imagerie par Diffusion



### 6. Imagerie au repos



## Combien de temps ?



10 min

6 min

2x8:40 min

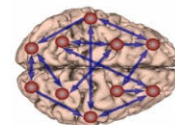
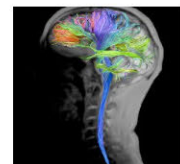
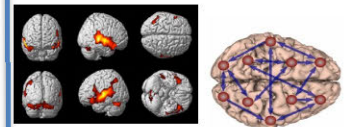
6 min

6 min

7 min

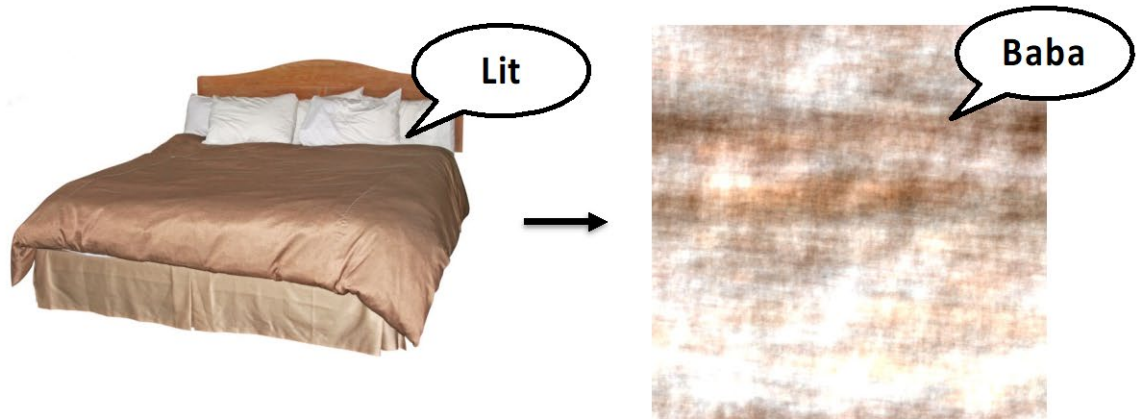
53 min

## Pourquoi ?





# TÂCHE DANS L'IRM - noms



# TÂCHE DANS L'IRM - verbes

