



HAL
open science

Evolution des activations cérébrales lors de la production de parole après exérèse au niveau de la cavité orale

Audrey Acher, Marc Sato, Laurent Lamalle, Coriandre Emmanuel Vilain, Christophe Savariaux, Silvain Gerber, Arnaud Attye, Alexandre Krainik, Georges V. Bettega, Christian Adrien Righini, et al.

► To cite this version:

Audrey Acher, Marc Sato, Laurent Lamalle, Coriandre Emmanuel Vilain, Christophe Savariaux, et al.. Evolution des activations cérébrales lors de la production de parole après exérèse au niveau de la cavité orale. JEP 2014 - 30e Journées d'Etudes sur la Parole, Jun 2014, Le Mans, France. Paper 28. hal-01057237

HAL Id: hal-01057237

<https://hal.science/hal-01057237>

Submitted on 21 Aug 2014

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

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

Evolution des activations cérébrales lors de la production de parole après exérèse au niveau de la cavité orale

Audrey Acher¹ Marc Sato¹ Laurent Lamalle^{2,3,4,5} Coriandre Vilain¹ Christophe Savariaux¹
Silvain Gerber¹ Arnaud Attyé^{3,6} Alexandre Krainik^{3,4,6,7} Georges Bettega⁸ Christian
Adrien Righini⁹ Brice Carlot¹⁰ Muriel Brix¹¹ et Pascal Perrier¹

(1) GIPSA-Lab, UMR 5216 CNRS/Université Grenoble-Alpes, France

(2) Inserm, US 017 – Grenoble, France

(3) Université Joseph Fourier – Grenoble, France

(4) CHU de Grenoble, UMS IRMaGe – Grenoble, France

(5) CNRS, UMS 3552 – Grenoble, France

(6) Clinique Universitaire de Neuroradiologie et d'IRM – CHU Grenoble, France

(7) Grenoble Institute of Neurosciences, INSERM U836 – Grenoble, France

(8) Service de chirurgie plastique et maxillo-faciale – CHU Grenoble, France

(9) Clinique Universitaire d'ORL, Pôle Tête et cou et Chirurgie Réparatrice – CHU Grenoble, France

(10) Hôpital Privé de la Casamance – Aubagne, France

(11) Service de chirurgie maxillo-faciale et plastique – CHU Nancy, France

Audrey.Acher@gipsa-lab.grenoble-inp.fr, Pascal.Perrier@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

RESUME

A partir de données d'IRM fonctionnelle, acoustiques et praxiques, nous avons étudié les corrélats cérébraux de l'adaptation de la parole après une modification structurelle importante du conduit vocal lors de trois tâches : mouvements oro-faciaux silencieux, voyelles et syllabes. Onze patients ont été enregistrés lors de trois sessions, pré-opératoire et post-opératoire à 1 mois et 3 mois (pour sept d'entre eux aussi à 9 mois). Onze sujets contrôles ont été enregistrés en parallèle. Une analyse de groupe (patients/contrôles) « cerveau entier » révèle des patrons d'activation spécifiques aux patients au cours des différentes sessions en particulier pour la tâche de production de voyelles. De plus, une moindre activation cérébrale par rapport aux sujets sains a été observée pour toutes les tâches dans des régions motrices, sensorielles et d'intégration sensori-motrice. Nous interprétons ces résultats en relation avec la redéfinition des buts de parole et l'adaptation de modèles internes du système moteur périphérique.

ABSTRACT

Evolution of brain activations during speech production after intra-oral surgery

Using functional MRI, acoustic data and motor oral assessment, brain correlates of speech recovery after dramatic structural changes in the vocal tract have been investigated during three tasks: orofacial movements and speech production (vowels and syllables). Eleven patients were recorded during three sessions, preoperatively and postoperatively, 1 month and 3 months after surgery (for seven of them also 9 months after surgery). Eleven healthy subjects were recorded in parallel. A "whole brain" group analysis (patients/healthy subjects) reveals a specific activation pattern for patients, in particular during vowel task, which is session-dependent. Moreover, global lower brain activation compared to healthy subjects was found for all tasks in primary, secondary and integrative sensorimotor regions. Differences are interpreted in relation with the emergence of new speech motor goals and changes in the internal models.

MOTS-CLES : chirurgie de la cavité orale, glossectomie, IRMf, analyse en région d'intérêt, analyse acoustique, adaptation de la parole, neurophonétique.

KEYWORDS: oral surgery, glossectomy, fMRI, Region of Interest analysis, acoustic analysis, speech recovery, neurophonetics.

1 Introduction

La chirurgie de la cavité orale occasionne notamment des difficultés durables de l'articulation de la parole. De plus, l'effet de la radiothérapie, qui a généralement lieu entre le 1^{er} et le 3^{ème} mois après l'opération, se rajoute à celui de la chirurgie. Le processus de récupération dépend du type de lésion, de l'âge des patients et de l'impact de la chirurgie sur les muscles de la cavité orale (Buchallaard et al., 2007). Les patients doivent donc adapter leur parole à la nouvelle configuration de leur cavité orale. Haupage et al., 2010, ont réalisé une étude en IRM fonctionnelle (IRMf) sur six patients afin de connaître les activations cérébrales associées à la déglutition avant et six mois après glossectomie partielle. Les résultats montrent qu'après chirurgie les patients présentent une forte activation cérébrale dans le lobule pariétal supérieur (LPS), l'aire motrice supplémentaire (AMS) et le cortex cingulaire antérieur (CCA) par rapport à la condition pré-chirurgicale et en comparaison avec un groupe de sujets sains. De plus, une analyse en région d'intérêt (ROI) au niveau de l'aire linguale du gyrus précentral (M1) a montré un volume d'activation cérébrale moyen plus faible pour les patients par rapport aux sujets sains quelle que soit la session d'enregistrement. Le but de notre étude est d'étudier l'adaptation de la parole pour un groupe de patients opérés de la cavité orale.

2 Fondements théoriques et hypothèses

Des changements sont attendus dans les zones sensori-motrices classiquement associées aux mouvements oro-faciaux, le cortex moteur primaire (M1) dans le gyrus précentral, le cortex somatosensoriel primaire (S1) dans le gyrus postcentral, l'AMS et le cortex prémoteur dans le cortex frontal postérieur et moyen. Mais nous attendons aussi des patrons d'activation plus spécifiques à la parole, avec une hypothèse forte au niveau des aires temporo-pariétales, en particulier au niveau du lobule pariétal inférieur (LPI) où sont traitées conjointement les informations sensorielles et motrices (Hickok et Poeppel, 2007). La définition de nouveaux buts articulatoire-acoustiques, adaptés à la nouvelle morphologie du conduit vocal, pourrait ainsi être mise en évidence par une modulation spécifique des activations dans cette zone. De même, la réappropriation du conduit vocal perturbé pourrait impliquer une modulation de l'activité au niveau du cervelet, où s'élaborent les modèles internes du système moteur périphérique. Ces modèles internes transmettent à M1 les informations permettant de générer les commandes motrices appropriées à la réalisation d'un but moteur (Wolpert et al., 1998). Ils sont également impliqués dans la correction de ces commandes par des mécanismes de prédiction (Kawato, 1999).

3 Matériel et méthode

3.1 Evaluation IRMf

Les acquisitions des images IRM ont eu lieu sur l'imageur corps entier 3T (Philips Achieva TX) de la plateforme IRMaGe de Grenoble. Pour l'IRMf nous avons utilisé en réception une antenne « tête » à 32 canaux. Lors de l'expérience, les sujets étaient en position allongée, leur tête était

maintenue dans l'antenne avec des mousses latérales. Ils portaient des bouchons d'oreille et un système casque-microphone compatible IRM utilisé pour communiquer avec eux et enregistrer leurs productions. Les consignes visuelles de la tâche ont été projetées à l'aide du logiciel Presentation (Neurobehavioral Systems, Albany, EU) sur un écran situé derrière le sujet allongé qui pouvait le voir par réflexion sur un miroir placé à l'aplomb de ses yeux. Un monitoring des réalisations des tâches de parole était effectué par un expérimentateur en temps réel. Les enregistrements en IRMf étaient basés sur le paradigme de *sparse sampling* (Gracco et al., 2005), afin de minimiser de possibles artefacts de mouvement sur les images fonctionnelles et d'éviter la production de parole dans le bruit. Cette technique exploite le délai existant entre l'activité neuronale liée à une tâche motrice et la réponse hémodynamique associée (signal BOLD). Les paramètres des images fonctionnelles étaient les suivants : séquence d'acquisition EPI (imagerie échoplanaire) en écho de gradient FE-EPI (pondérée en $T2^*$), temps de répétition 10 s^1 , temps d'acquisition 2.7 s, temps d'écho 30 ms, angle de rotation 90° . Les paramètres d'encodage spatial de base étaient les suivants : 53 coupes d'épaisseur 3 mm, adjacentes, parallèles au plan bi-commissural CA-CP, acquises en mode non entrelacé avec une résolution dans le plan de 3 mm isotrope (champ de vue 216 mm de côté, encodé par une matrice de 72×72). Pour l'IRM anatomique des images tridimensionnelles à haute résolution spatiale (1 mm isotrope), pondérées en T1 ont été acquises. 3 tâches motrices, une tâche oro-faciale silencieuse et 2 tâches de parole, devaient être réalisées de façon aléatoire dans 2 runs fonctionnels de 14 minutes chacun. La tâche oro-faciale silencieuse était explicitement présentée comme « non parole » et impliquait soit la langue (rétraction et protraction), dans une tâche considérée comme complexe pour les patients soit les lèvres (étirement et protrusion, tâche plus simple). Certaines tâches de production de parole (voyelles et syllabes) n'exigeant pas une forte précision articulatoire étaient considérés comme simples (/a/, /ə/ ; /fa/, /pa/) ; d'autres plus complexes car nécessitant un positionnement lingual précis (/i/, /u/ ; /sa/, /fa/). Une tâche de repos (sans mouvement ni production sonore) servait de tâche de référence. Une consigne visuelle d'une durée d'une seconde indiquait pour chaque essai le stimulus à produire. Chaque tâche était produite à partir d'une position initiale bouche fermée, mandibule et langue relâchées, vers laquelle le sujet retournait après la tâche. Un item était produit toutes les 10 secondes selon un ordre pseudo-aléatoire et maintenu pendant une seconde. Pour les syllabes, il était demandé aux locuteurs de maintenir la consonne. Les participants savaient qu'ils ne devaient pas bouger afin d'éviter les artefacts de mouvement. Ils ont été entraînés à réaliser les différentes tâches quelques jours avant la date de l'expérience et le jour de l'expérience. Aucun participant n'a fait part de difficulté à réaliser les tâches. Chaque tâche a été répétée 24 fois. 168 scans fonctionnels ont ainsi été acquis (6 tâches * 24 répétitions + 1 tâche de repos * 24 répétitions) pour une durée totale d'environ 50 minutes. 3 scans ont été ajoutés au début de chaque session pour équilibrer le signal IRM. Ils ne sont pas inclus dans les analyses.

3.2 Evaluation acoustique et praxique

Les données acoustiques du protocole ont été acquises dans une pièce calme avec un micro électroacoustique placé à environ 20 cm de la bouche du sujet et relié à un enregistreur PMD MARANTZ 671. La fréquence d'échantillonnage choisie était de 44.1kHz. Le corpus comprenait les 10 voyelles du français [i, e, ε, a, y, ø, œ, u, o, ɔ] en isolé et 12 consonnes du français [p, b, t, d, s, z, ʃ, ʒ, k, g, l, ʁ] en contexte symétrique aCa, iCa et aCi. 10 répétitions de chaque item ont été enregistrées. L'évaluation praxique a pour but d'examiner les mouvements des articulateurs de la

¹ Le temps de répétition de 10 secondes est dû à l'utilisation du *sparse sampling*.

parole lors de la réalisation de tâches motrices simples à complexes². Elle évalue le mouvement de 3 articulateurs (mandibule, lèvres et langue) selon une cotation à 5 degrés (0 point pour un mouvement impossible, 1 point pour un mouvement très altéré, 2 points pour un mouvement modérément altéré, 3 points pour un mouvement légèrement altéré et 4 points pour un mouvement correct). La sous-partie mandibule est notée sur 40, celle sur les lèvres sur 32, et celle sur la langue sur 96. Les sous-totaux ont été additionnés afin d'obtenir un score global sur 168.

3.3 Participants

11 patients (dont quatre femmes ; moyenne d'âge : 56.18 ans) et 11 volontaires sains appariés en âge et en genre ont donné leur consentement écrit pour leur participation à l'étude. Une visite médicale de pré-inclusion a été réalisée par un médecin afin de vérifier que les participants ne présentaient aucune contre-indication à l'étude. Tous les participants avaient une vision normale ou corrigée, étaient de langue maternelle française et aucun antécédent de troubles du langage, d'audition, de déficit neurologique ou de pathologie psychiatrique n'a été rapporté. La latéralité droite a été vérifiée grâce à la version française du questionnaire de latéralité manuelle d'Olfield (Olfield, 1971). Différents types de chirurgie ont été réalisés en fonction de la localisation de la tumeur cancéreuse. 4 patients ont subi une hémiglossectomie (exérèse de l'hémi-langue dans le sens longitudinal) ; 3 patients ont subi une pelvi-glosso-mandibulectomie interromptrice (exérèse d'une partie du plancher de la bouche, d'une partie de la langue et d'une partie de la mandibule interrompant sa continuité) ; enfin, 4 pelvi-glossectomies ont été réalisées (exérèse d'une partie du plancher et d'une partie de la langue). Les patients inclus ne présentaient pas d'antécédent de cancer des voies aéro-digestives supérieures ni de maladie neurologique. 9 des patients de la cohorte ont suivi 6 semaines de radiothérapie post-opératoire. Cette étude a reçu un avis favorable du Comité de Protection des Personnes Sud Est V et de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé. 7 patients ont été suivis selon le protocole longitudinal complet au cours de 4 sessions d'enregistrement. La cohorte complète de patients (11) a passé les trois premières sessions. Les 11 sujets sains ont passé seulement la partie IRMf du protocole.

4 Analyse des données

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel SPM8 (Statistical Parametric Mapping; Wellcome Department of Imaging Neuroscience, Institute of Neurology, London, UK) sous Matlab 7.13 (Mathworks, Natick, MA, USA) et du logiciel R (R Core Team, 2012).

4.1 Prétraitements individuels

Pour chacun des participants, les images fonctionnelles ont d'abord été réalignées après estimation des 6 paramètres de mouvements afin de contrôler les mouvements de tête entre les scans. L'image anatomique a été recalée sur l'image fonctionnelle moyenne après segmentation pour correspondre à un cerveau normalisé dans l'espace commun du Montreal Neurological Institute (MNI). Les images fonctionnelles ont ensuite été normalisées (repère MNI) et lissées via un filtre gaussien

² La grille d'évaluation a été réalisée en collaboration avec le Pr Vacher (Hôpital Beaujon APHP, Paris) et le Dr Deneuze (Centre Léon Bérard, Lyon) et est inspirée de la partie « Evaluation de la motricité bucco-linguo-faciale » du Test de récupération Fonctionnelle après chirurgie bucco-pharyngée (T.R.F.) élaboré par le département de phoniatry-orthophonie du Centre Lacassagne de Nice.

passé-bas de 6 mm³ afin d'augmenter le rapport signal sur bruit et de compenser la variabilité anatomique des cerveaux des participants. Pour chaque participant, les corrélats neuronaux reliés aux 6 tâches ont été analysés selon un modèle linéaire général (GLM ; Friston et al., 1995). Le modèle linéaire général inclut des régresseurs d'intérêt reliés aux tâches et des régresseurs de non-intérêt liés aux paramètres de réaligement ; les tâches de repos forment une ligne de base. Chaque tâche (régresseurs d'intérêt) était représentée par 24 images fonctionnelles. La réponse de type hémodynamique associée à chaque événement a été modélisée par une réponse impulsionnelle finie de type impulsion unique (FIR) pour chaque scan fonctionnel. Avant l'estimation du modèle, un filtre des basses fréquences a priori non-relies aux conditions expérimentales (variations lentes d'origine physiologique) a été appliqué (passé-haut de fréquence de coupure de 1/128 Hz). Des cartes d'analyse statistique individuelles ont été calculées pour chaque participant, pour les 6 tâches.

4.2 Analyse de groupe cerveau entier 11 patients / 11 sujets sains

Nous avons réalisé cette analyse sur les 3 premières sessions incluant le maximum de sujets. Suite à l'estimation pour chaque participant des activations observées lors de la production des différentes tâches par rapport à la condition de repos, une analyse de groupe considérant le sujet comme effet aléatoire a été réalisée via une ANOVA à mesures répétées. 7 contrastes 'F' ont été calculés pour mettre en évidence l'effet principal du groupe, de la session et de la complexité et des interactions entre ces trois facteurs. Ces analyses ont été effectuées en respectant un seuil statistique défini à $p < 0.005$ non corrigé et une taille minimale des clusters de 10 voxels. Pour tous les contrastes, tous les pics d'activation ont été déterminés dans chaque cluster, leur localisation a ensuite été labellisée avec la boîte à outils Anatomy de SPM (Eickhoff et al., 2005). Si une région n'avait pas pu être assignée avec Anatomy, elle a été déterminée avec le logiciel Talairach Daemon (Lancaster et al., 2000) grâce aux coordonnées du pic d'activation converties de l'espace MNI à l'espace stéréotaxique standard de Talairach & Tournoux (1988). Un masque explicite permettant de ne retenir que les activations situées dans la substance grise a été utilisé.

4.3 Analyse en régions d'intérêt avec intégration d'une covariable

Sur la base de données de la littérature sur les réseaux cérébraux de la production de la parole, des données confirmées par l'analyse cerveau entier de nos sujets, et de nos hypothèses sur les mécanismes sous-jacents à l'adaptation de la parole après chirurgie du conduit vocal nous avons sélectionné neuf régions d'intérêt bilatérales pour une analyse statistique spécifique : le lobule VI du cervelet contenant les représentations sensori-motrices de la région oro-faciale (Manni & Petrosini, 2004), M1 à l'origine des commandes motrices efférentes, S1 qui reçoit les informations oro-sensorielles, le gyrus temporal supérieur (GTS) qui reçoit les informations acoustiques, le gyrus frontal moyen (GFM) impliqué dans la planification motrice, l'AMS qui coordonne et séquence les actes moteurs complexes, le LPS impliqué notamment dans le séquençage des actions sensorimotrices, le LPI, contenant des zones d'interaction sensori-motrices responsables d'une redéfinition des buts sensori-moteurs de la parole, enfin la partie postéro-inférieure du gyrus frontal (pGFI, aire de Broca). Nous avons choisi de réaliser une analyse avec un modèle linéaire à effets mixtes. La définition du modèle a été réalisée avec la fonction lmer du package lme4 (Bates et al., 2013). Trois effets fixes, Session, Groupe et Complexité de la tâche ont été considérés. Un terme aléatoire, Sujet, a permis de prendre en compte le cas d'une analyse à mesures répétées. Nous avons réalisé une analyse séparée pour chaque région cérébrale. Nous avons étudié l'effet de

ces facteurs sur l'intensité du signal BOLD. L'inspection visuelle des résidus n'a pas révélé de déviations d'homoscédasticité ni de normalité. Les p-valeurs ont été obtenues grâce à la fonction `pamer.fnc` du package `LMERConvenienceFunctions` (Tremblay et al., 2013). Les tests *a posteriori* ont été réalisés avec la fonction `glht` du package `multcomp` (Hothorn et al., 2008). Le seuil statistique a été fixé à $p \leq 0.05$, seuil classiquement utilisé en sciences humaines. L'analyse en régions d'intérêt présentée ici a été réalisée en intégrant une covariable par tâche prenant en compte l'impact de la chirurgie sur la parole et son amélioration. L'analyse a été réalisée pour les 7 patients et les 7 sujets sains ayant passé les 4 sessions d'enregistrement. La covariable pour la tâche de voyelles a été calculée à partir de l'aire du triangle vocalique ; pour la tâche syllabique, à partir de la différence des centres de gravité fréquentiels de /s/ et /ʃ/ et ; pour la motricité oro-faciale avec le score à l'examen des praxies bucco-linguo-faciales. Nous avons défini une covariable par patient, à partir de deux sous-indices (indice de dégradation calculé en faisant une différence de score entre les deux premières sessions et indice d'amélioration en faisant une différence de score entre la session à 1 mois et la session à 9 mois). Un indice élevé témoigne d'un fort impact de la chirurgie et d'une récupération significative. Un indice moyen témoigne d'un impact important de la chirurgie mais d'une récupération insatisfaisante. Un indice faible traduit un faible impact de la chirurgie. Pour les sujets sains, cet indice est égal à 0. Ainsi, tous les sujets sont caractérisés avec une variable continue, dont la valeur est d'autant plus haute que les mécanismes cérébraux engagés dans l'adaptation sont complexes (le facteur Groupe n'est ainsi plus utile).

5 Résultats

Dans cette section seuls les résultats statistiquement significatifs seront présentés.

5.1 Analyse de groupe cerveau entier 11 patients / 11 sujets sains

Avant de débiter l'analyse des effets principaux, nous avons vérifié les effets simples sur la population de patients et de sujets sains. Ils sont congruents avec le réseau du contrôle moteur de la parole classiquement observé dans des études précédentes (Grabski et al., 2013, Acher et al., 2012). Pour les trois tâches, le réseau implique des activations bilatérales dans les zones motrices, sensorielles et d'intégration sensori-motrice. Pour les tâches de parole, en plus de ces activations, on trouve une activation du cortex auditif (GTS et gyrus de Heschl).

5.1.1 Effet principal du groupe

L'effet majeur est, dans certaines régions, une activation cérébrale inférieure chez les patients par rapport aux sujets sains pour toutes les sessions. Ce phénomène touche, pour toutes les tâches, le cortex sensori-moteur bilatéral et l'opercule pariétal droit, l'insula (à gauche pour la parole, à droite pour les mouvements silencieux) et le gyrus supramarginal droit. Pour la parole spécifiquement, on retrouve en plus, parmi ces régions, le GTS et le LPS (droit pour les voyelles, bilatéral pour les syllabes), le GFI, le GFM et le gyrus angulaire gauches et les lobules IV, V, VI, VIIa et VIIIa du cervelet. Enfin, pour la tâche de mouvements oro-faciaux, le GFI (aire 9) droit présente aussi moins d'activation.

5.1.2 Interaction Groupe, Session et Complexité

Au cours de la session pré-opératoire, lors de la production des mouvements silencieux, nous

observons chez les patients une activité plus forte dans le LPS et le cortex cingulaire postérieur droits pour les mouvements linguaux comparés aux mouvements labiaux. Ce phénomène n'existe pas pour les sujets sains. A 1 mois, une activation moindre dans le GFM et le lobule VIII droits est observée chez les patients pour les voyelles complexes par rapport aux voyelles simples. A 3 mois, le LPS droit est de nouveau plus activé pour les patients lors de la production des mouvements linguaux. Au cours de cette session à 3 mois, pour la tâche de production des voyelles complexes, on observe une nouvelle fois plus d'activation pour les patients, dans les lobules VIII et IX du cervelet, le CCA et le GFM droits. Aucune interaction entre Groupe, Session et Complexité n'est observée pour les syllabes.

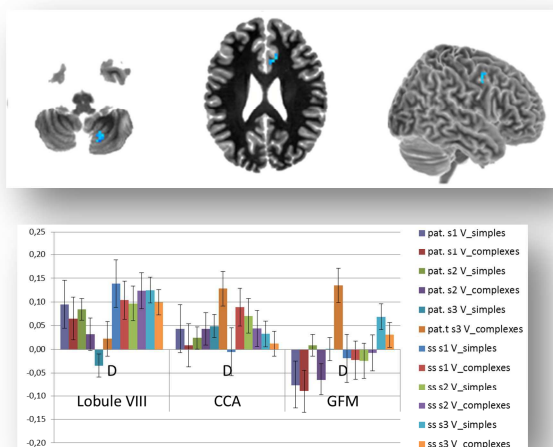


FIGURE 1: Interaction groupe, session et complexité lors de la production des voyelles ($p < 0.005$ non corrigé, taille minimale des clusters : 10 voxels), abréviations : D : droit, CCA : cortex cingulaire antérieur, GFM : gyrus frontal moyen, pat. : patients, ss : sujets sains, s : session, V : voyelles. Réseaux cérébraux des activations observées, vues : $z = -45$, $z = -25$, hémisphère droit, en bleu foncé les pics les plus activés avec représentation graphique des niveaux d'activation, les barres d'erreur représentent une erreur type.

5.2 Analyse en régions d'intérêt prenant en compte les résultats des évaluations acoustiques et praxiques

L'analyse avec intégration de covariable pour les voyelles montre plusieurs interactions significatives entre la session et l'indice de parole. L'activation du LPI droit croit avec cet indice au cours de la session à 3 mois uniquement. Pour M1 à gauche, une décroissance de l'activation est observée avec cet indice au cours de la session pré-opératoire alors que cette activité réaugmente avec cet indice 9 mois après l'opération. Le même phénomène est observé pour l'AMS bilatérale. Enfin, pour l'activité dans le GTS gauche, l'influence de l'indice de parole se caractérise ainsi : diminution en session pré-opératoire, augmentation à 1 mois puis de nouveau diminution à 3 et 9 mois. Pour les syllabes, l'analyse avec intégration de covariable montre que l'activité dans le LPS bilatéral croit avec l'indice de parole dans la session post-opératoire à 1 mois et baisse pour la session à 3 mois.

6 Discussion et perspectives

La diminution d'activation globale pour toutes les sessions et toutes les tâches observée chez les patients au niveau du cortex sensori-moteur primaire et de l'opercule pariétal (considéré comme le cortex somatosensoriel secondaire) pourrait être révélateur d'une baisse du retour sensoriel consécutif à la présence de la tumeur, puis à l'exérèse chirurgicale et aux effets à court terme de la radiothérapie. Notons que Mosier et al. (2005) et Haupage et al. (2010) avait déjà relevé une activité réduite dans M1 pour des patients similaires par rapport à des sujets contrôles lors de tâches de déglutition. La réduction d'activation au niveau des autres zones suggère que le traitement de la maladie pourrait affecter globalement le réseau de perception-production de la parole.

Les deux types d'analyses, « cerveau entier » et « régions d'intérêt avec intégration d'une covariable », ont permis de mettre en évidence l'effet de la session et du type de tâche spécifiquement pour le groupe des patients. Pour les voyelles complexes, les résultats montrent une activation moindre du cervelet (lobule VIII droit) à 1 mois de l'opération. Ceci pourrait s'interpréter comme le résultat d'un arrêt temporaire de l'usage des modèles internes devenus inadaptés, à cause de l'exérèse. L'activation en hausse à 3 mois dans la même zone cérébelleuse mais aussi dans le CCA et le GFM droits pourrait, à l'inverse, être le signe d'une construction de nouveaux modèles internes avec une hausse de l'attention pour le contrôle de l'action (*scaffolding-storage* évoqué par Petersen et al., 1998 en phase de récupération). Golfinopoulos et al., 2011, ont montré des activations bilatérales dans le cervelet postérieur (lobule VIII) et le CCA droit quand le feedback somatosensoriel est perturbé de façon non prédictible après blocage artificiel de la mandibule par un ballon gonflé d'air. Une forte activation du LPI droit est aussi retrouvée à 3 mois, ce qui pourrait être la marque d'une redéfinition des buts sensori-moteurs lors de l'adaptation des modèles internes. Toujours pour les voyelles, la forte activation de l'AMS bilatérale, de M1 à gauche et la baisse de l'activité du GTS gauche sont autant d'éléments cohérents avec notre hypothèse d'une réutilisation, 9 mois après la chirurgie, de modèles internes adaptés à la nouvelle morphologie du conduit vocal. En particulier, la moindre activation du cortex auditif correspond au phénomène de décharge corollaire, dans lequel les modèles internes pourraient être impliqués (Blakemore et al., 2000).

Remerciements

A la Fondation des Gueules Cassées et le Pôle Grenoble Cognition (projet REPARLE). A R. Laboissière et C. Pichat (LPNC, Grenoble) pour leur aide dans l'analyse statistique.

Références

- ACHER, A., SATO, M., LAMALLE, L., KRAINIK, A., & PERRIER, P (2012). Méthodologie en IRM fonctionnelle pour l'étude des activations corticales associées au réapprentissage de la parole. *In XXIXe Journées d'Études sur la Parole (JEP 2012)*, 1:723-730, Grenoble, France.
- BATES, D., MAECHLER, M., BOLKER, B. & WALKER, S. (2013). lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4. *R package version 1.0-5*.
- BLAKEMORE, S. J., WOLPERT, D. & FRITH, C. (2000). Why can't you tickle yourself? *Neuroreport*, 11, 11-16.

- BUCHAILLARD, S., BRIX, M., PERRIER, P. & PAYAN, Y. (2007). Simulations of the consequences of tongue surgery on tongue mobility: Implications for speech production in post-surgery conditions. *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 3(3):252-261.
- EICKHOFF, S.B., STEPHAN, K.E., MOHLBERG, H., GREFKES, C., FINK, G.R., AMUNTS, K. & ZILLES, K. (2005). A new SPM toolbox for combining probabilistic cytoarchitectonic maps and functional imaging data. *NeuroImage*, 25:1325-1335.
- FRISTON, K.J., HOLMES, A.P., POLINE, J.B., GRASBY, P.J., WILLIAMS, S.C., FRACKOWIAK, R.S. & TURNER, R. (1995). Analysis of fMRI time-series revisited. *NeuroImage*, 2:45-53.
- GOLFINOPOULOS, E., TOURVILLE, J. A., BOHLAND, J. W., GHOSH, S. S., NIETO-CASTANON, A. & GUENTHER, F. H. (2011). fMRI investigation of unexpected somatosensory feedback perturbation during speech. *Neuroimage*, 55, 1324-1338.
- GRABSKI, K., SCHWARTZ, J.-L., LAMALLE, L., VILAIN, C., VALLEE, N., BACIU, M. LE BAS, J.-F & SATO, M. (2013). Shared and distinct neural correlates of vowel perception and production. *Journal of Neurolinguistics*, 26(3):384-408.
- GRACCO, V.L., TREMBLAY, P. & PIKE, G.B. (2005). Imaging speech production using fMRI. *Neuroimage*, 26:294-301.
- HAUPAGE, S., PECK, K.K., BRANSKI, R.C., HSU, M., HOLODNY, A. & KRAUS, D. (2010). Functional MRI of tongue motor tasks in patients with tongue cancer: observation before and after partial glossectomy. *Neuroradiology*, 52:1185-1191.
- HOTHORN, T., BRETZ, F. & WESTFALL, P. (2008). Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal*, 50:3, 346-363.
- HICKOK, G. & POEPEL, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 8:393-402.
- KAWATO, M. (1999). Internal models for motor control and trajectory planning. *Current Opinion in Neurobiology*, 9:718-772.
- LANCASTER, J.L., WOLDORFF, M.G., PARSONS, L.M., LIOTTI, M., FREITAS, C.S., RAINEY, L., KOCHUNOV, P.V., NICKERSON, D., MIKITEN, S.A. & FOX, P.T. (2000). Automated Talairach atlas labels for functional brain mapping. *Human Brain Mapping*, 10:120-131.
- MANNI, E., & PETROSINI, L. (2004). A century of cerebellar somatotopy: a debated representation. *Nature Reviews Neuroscience*, 5:241-249.
- MOSIER, K., LIU, W.-C., BEHIN, B., LEE, C. & BAREDES, S. (2005). Cortical adaptation following partial glossectomy with primary closure: implications for reconstruction of the oral tongue. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 114, 681-687.
- OLDFIELD, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9:97-114.
- PETERSEN, S. E., VAN MIER, H., FIEZ, J. A. & RAICHLE, M. E. (1998). The effects of practice on the functional anatomy of task performance. *Proc Natl Acad Sci USA*, 95, 853-860.
- R CORE TEAM (2012). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>

TALAIRACH, J., TOURNOUX, P. (1988). *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain*. Thieme, New York.

TREMBLAY, A., DALHOUSIE UNIVERSITY, RANSIJN, J. & UNIVERSITY OF COPENHAGEN (2013). LMERConvenienceFunctions: A suite of functions to back-fit fixed effects and forward-fit random effects, as well as other miscellaneous functions. *R package version 2.5*.

WOLPERT, D. M., MIALL, R. C. & KAWATO, M. (1998). Internal models in the cerebellum. *Trends in Cognitive Sciences*, 2 :338-347.