

Stratégies de réorganisation cognitive pour la production de parole d'un patient ayant été opéré d'une glossectomie suivie d'une reconstruction linguale : une étude d'IRM fonctionnelle.

C. Vilain¹, M. Baciú², C. Savariaux¹, J. Lebeau³, C. Segebarth⁴, C. Abry¹, P. Perrier¹

1- Institut de la Communication Parlée, Univ. Stendhal, BP 25, 38040 Grenoble cedex 09

{cvilain, perrier, savariaux, abry}@icp.inpg.fr

2 - Laboratoire de Psychologie et Neurocognition, Univ. P. Mendès-France, BP 47, 38040 Grenoble Cedex 9

monica.baciú@upmf-grenoble.fr

3- Service Maxillo-faciale, CHU Grenoble, BP 217, 38043 Grenoble Cedex 9

JLebeau@chu-grenoble.fr

4- Unité Mixte INSERM/UJF 594 - "Neuroimagerie Fonctionnelle et Métabolique", CHU Grenoble, BP 217, 38043 Grenoble Cedex 09

Christoph.Segebarth@ujf-grenoble.fr

1/ Introduction

Dans le schéma classique de production de parole, l'appareil de production dit périphérique est piloté par un système central de commande et de contrôle : le système nerveux central (SNC). L'appareil périphérique est constitué des poumons, de la trachée, du larynx, du conduit vocal, de la cavité buccale et du conduit nasal. Le SNC est constitué du cerveau et des fibres nerveuses reliant ce dernier aux différents muscles et capteurs de l'appareil de production. Dans ce schéma, la cavité buccale est primordiale, au sein du système périphérique, pour sa capacité à produire la grande variété d'articulations permettant de moduler les sons. A l'intérieur de la cavité buccale, la langue est un bon exemple de cette variabilité puisqu'elle permet de moduler les volumes de la cavité pour la production des voyelles et de créer les constriction nécessaires à la production des fricatives ou de plosives. Dans l'exemple de la langue, les contrôles du SNC sur les muscles effecteurs doivent être très précis puisque une petite perturbation des constriction peut avoir des conséquences importantes sur le son produit.

Les perturbations de ce système périphérique de production de parole peuvent avoir des conséquences très variables sur la parole produite. Pour certains types de perturbations, le SNC modifie les commandes motrices quasi instantanément sans que la production acoustique ne soit altérée. En revanche, dans certains cas la perturbation est très difficile à compenser. Par exemple, une mâchoire bloquée en position fermée rend très difficile la production d'une voyelle ouverte comme le /a/. Savariaux et coll. ([Savariaux et coll., 1995]) ont étudié les stratégies articulatoires de compensation pour la production de la voyelle /u/ avec un tube aux lèvres (lip-tube). Dans cette étude, des sujets avaient entre les lèvres un tube creux imposant une aire labiale importante et devaient prononcer la voyelle /u/ nécessitant une aire labiale faible. Cette étude a montré la diversité des stratégies articulatoires utilisées par chaque sujet pour accomplir la tâche souhaitée, notamment le recul de la langue.

Suite à ces travaux, une étude d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) a été menée pour comprendre quelles sont les implications de ces perturbations du système périphérique sur le SNC. Cette étude visait à mesurer les activités cérébrales pendant une tâche d'articulation normale de la voyelle /u/ et pendant une tâche d'articulation avec compensation d'une perturbation par tube aux lèvres. L'étude a montré que lors de la production normale du /u/, l'activité cérébrale concernait principalement la région périsylvienne gauche, allant du cortex prémoteur (BA 6) au gyrus supramarginal (BA 40). A un moindre niveau, certaines zones de l'hémisphère droit étaient elles aussi recrutées comme le précunéus droit BA 7, impliqué dans des tâches de mémoire verbale et le gyrus supramarginal droit (BA 40). L'absence de l'aire de Broca (BA 44,45) dans ces activations est

à remarquer. Cela rejoint d'autres études menées à cette époque mettant en cause le schéma classique de l'aire de Broca comme zone de production de la parole ([Wise et coll., 1999]). Cette absence de l'aire de Broca a été confirmée par la suite par l'équipe d'Ackerman ([Riecker et coll., 2000]) et l'équipe de Guenther ([Guenther et coll., 2003]). En revanche, lors de la prononciation d'un /u/ compensé, l'activité périsylvienne gauche disparaissait se reportant sur plusieurs zones de l'hémisphère droit incluant une partie de l'homologue droit de l'aire de Broca (BA 45), de l'homologue droit de l'aire de Wernicke (BA 22) ainsi que le gyrus supramarginal droit (BA 40). Ce phénomène de changement de dominance hémisphérique dans la réalisation d'une équivalence motrice acoustique donnait à voir pour la première fois la stratégie neurale de compensation pour les sons du langage ([Baciu et coll., 2000]).

L'étude que nous présentons dans cet article poursuit l'étude précédente. Cependant, au lieu de considérer une perturbation artificielle comme c'était le cas avec un tube aux lèvres, nous considérons maintenant une perturbation pathologique due à une glossectomie. Ce travail se situe dans le cadre d'un projet général de collaboration entre le service de Chirurgie Maxillo-Faciale du CHU Grenoble et l'ICP. Dans ce projet, nous cherchons à développer une méthodologie de caractérisation articulatoire et cognitive de la parole après exérèse des tumeurs cancéreuses suivie d'une reconstruction. L'objectif à long terme étant de faire évoluer les techniques de reconstruction à visée fonctionnelle facilitant en particulier le ré-apprentissage de la parole. Dans cet article, nous présentons les résultats de l'étude IRMf effectuée sur un patient ayant accepté de participer à cette série d'exams. Parallèlement à l'étude IRMf, nous avons effectué une étude articulatoire-acoustique que nous ne détaillerons pas dans cet article mais qui fera l'objet d'une publication ultérieure.

Après la présentation de la méthode expérimentale utilisée, nous présenterons et analyserons les activités cérébrales mesurées. Cette analyse nous permettra de proposer un schéma de réorganisation cognitive après perturbation.

2/ Matériel et méthodes

L'étude IRMf a été effectuée sur le patient KH, âgé de 53 ans, de sexe masculin et droitier. Ce patient a été opéré suite à une tumeur cancéreuse de la langue. Il a bénéficié d'une glossectomie subtotale avec une reconstruction immédiate utilisant un lambeau libre réinnervé de gracilis, un muscle de la cuisse. Les enregistrements IRMf ont été réalisés à 3 dates : un enregistrement préopératoire 2 jours avant l'opération, un enregistrement postopératoire 50 jours après l'opération et un enregistrement postopératoire 9 mois après l'opération. Par la suite, nous nommerons ces trois séances d'acquisition respectivement préopératoire, postopératoire 1 et postopératoire 2.

a/ Corpus

Dans chaque enregistrement, les tâches réalisées par le patient étaient les mêmes. Elles consistaient à articuler de façon tenue mais sans production sonore les 3 voyelles cardinales /i/, /a/ et /u/. Une séance d'enregistrement consistait en 3 sessions d'acquisition fonctionnelle correspondant aux 3 voyelles et une session d'acquisition anatomique. Les sessions d'acquisition fonctionnelles suivaient un paradigme de type bloc durant lequel les tâches d'articulation alternaient avec des tâches de contrôle pendant lesquelles le sujet restait au repos.

b/ Acquisition des données

Les enregistrements ont été effectués dans l'imager clinique Philips NT, 1.5 Tesla du CHU de Grenoble. Cet imager est équipé avec des techniques d'imagerie rapide de type EPI. Le volume mesuré était centré sur la limite supérieure du thalamus et orienté parallèlement au

plan bi-commissural CA-CP. Le positionnement du volume mesuré pendant les acquisitions fonctionnelles a été effectué sur la base d'une séance de repérage anatomique à faible résolution spatiale dans le plan sagittal acquise en début d'examen. Lors des mesures, l'intégralité du cerveau était mesuré en 26 coupes de 5 mm chacune. La durée d'enregistrement d'un volume complet était égale à 3.096 s et chaque volume était mesuré 14 fois par tâche. Chaque tâche durait 43 sec et l'alternance de tâches de contrôle avec les tâches d'articulation était répétée 4 fois dans chaque session d'acquisition.

Les principaux paramètres d'acquisition étaient : angle le basculement = 90°, champ de vision = 256*256 mm², matrice d'acquisition = 64*64, matrice de reconstruction = 128*128.

En fin d'examen, une acquisition anatomique générant des images à haute résolution spatiale a été réalisée.

c/ Déroulement des séances d'acquisition

Le sujet était allongé dans l'aimant dans la position la plus confortable lui permettant de rester de 30 à 40 minutes sans bouger. Par le biais d'un système de miroirs, il recevait les consignes visuelles lui indiquant la tâche à réaliser. Les consignes étaient présentées par le logiciel PsyScope V.1.1 fonctionnant sur un ordinateur Power Macintosh 9600. Elles étaient projetées sur un écran au moyen d'un vidéo-projecteur (Eiki LC600). Le système de miroir situé dans l'aimant permettait au sujet de voir cet écran. Enfin, pour atténuer le bruit généré par l'imageur lors des acquisitions, le sujet portait des bouchons d'oreille et un casque anti-bruit.

d/ Traitement des données

Le traitement des données a été effectué grâce au logiciel SPM99 (*Statistical Parametric Mapping*, [Friston et coll., 1995]). Ce traitement s'est fait en deux phases : une phase de prétraitement puis une phase d'analyse statistique. Lors du prétraitement, les volumes fonctionnels acquis lors de chaque session ont d'abord été corrigés des décalages temporels entre chaque coupe. Ensuite, tous les volumes ont été réalignés sur le premier volume acquis pour corriger les artefacts liés aux mouvements de la tête du sujet. Après ce réalignement, les volumes ont été normalisés spatialement à l'aide d'une transformation non-linéaire afin qu'ils puissent coïncider avec le gabarit de référence du Montreal Neurologic Institute (MNI). Enfin, les scans ont été lissés spatialement avec un filtre gaussien pour limiter les corrélations entre les activités des voxels voisins.

Une fois effectuées les opérations de prétraitement, le Modèle Linéaire Généralisé a été appliqué sur chaque voxel. Ce modèle permet d'exprimer les évolutions temporelles de l'activation des voxels comme une combinaison linéaire de facteurs explicatifs à laquelle se rajoute un terme d'erreur supposé fluctuer normalement. Les inférences statistiques sont effectuées sur les coefficients multiplicatifs des facteurs explicatifs. Elles permettent de tester si un voxel est significativement plus activé par une condition expérimentale que par une autre. Les tests effectués sont des tests de Student utilisant comme seuil de significativité des p-valeurs, corrigées pour tenir compte des comparaisons multiples, égales à 0.05.

3/ Résultats et discussion

Dans un premier temps nous avons mesuré les différences d'activation entre les phases d'articulation et les phases de repos de l'ensemble des voyelles. La figure 1 (et la table 1 correspondante) présente l'évolution des activations cérébrales correspondant à l'articulation de l'ensemble des voyelles. Il est possible de distinguer 4 zones principales d'activation : Le pôle temporel bilatéral, le cervelet bilatéral, le cortex périsylyvien gauche autour du Gyrus

Temporal Supérieur (BA 22) et l'insula (BA 13) et le cortex prémoteur gauche autour de l'aire BA 6.

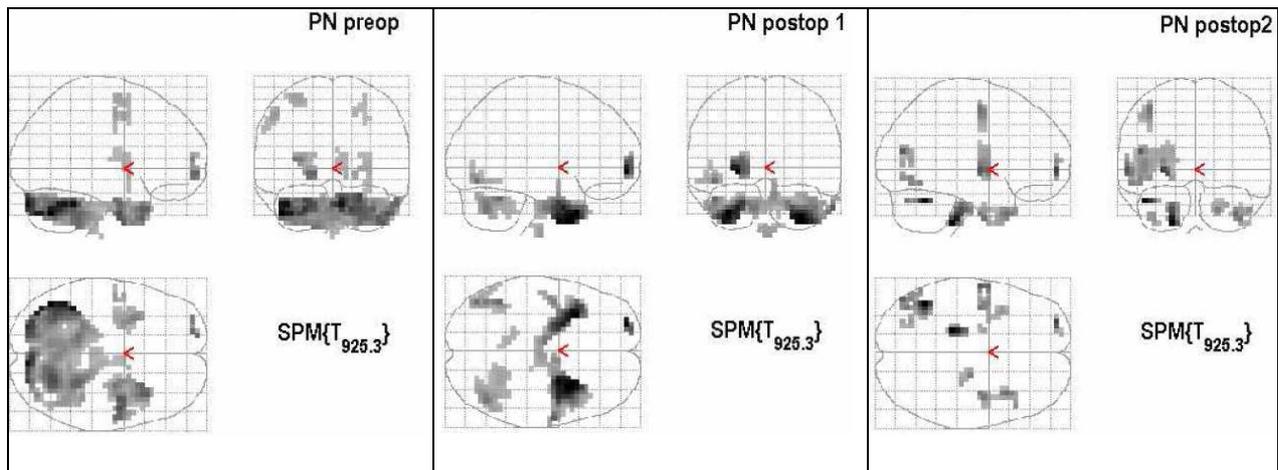


Figure 1 : Evolution de l'activation de l'articulation de toutes les voyelles relativement à la tâche de contrôle. P corrigé = 0.01. Affichage des groupes d'au moins 10 voxels (de gauche à droite : Préopératoire, postopératoire 1, postopératoire 2).

Nous pouvons relever l'activité du pôle temporal bilatéral lors des trois séances de mesure. Sachant que cette zone est reliée à l'insula et au cortex auditif associatif (partie antérieure du Gyrus Temporal Supérieur), il se pourrait que le sujet l'active en fonction des attentes auditives de son action articulatoire ([Gloor, 1997]).

Le cervelet est une zone connue pour son rôle dans la coordination motrice. Il sert d'horloge interne pour la synchronisation des mouvements lors de tâches motrices comme par exemple l'atteinte d'objet-cibles avec la main, ou plus proche de notre sujet, l'articulation de parole (voir [Ivry et al. 2001] pour une revue). Dans nos mesures, l'activation du cervelet est bilatérale. Elle est importante lors de l'enregistrement préopératoire et devient faible puis négligeable lors des enregistrements postopératoires 1 et 2. Une piste pour expliquer ce comportement pourrait être que le cervelet est plus activé lors de tâches automatiques n'ayant que peu besoin de recruter les zones du cortex supérieur. L'articulation d'une simple voyelle peut être considérée comme une tâche automatique, ce que traduirait une activité importante du cervelet lors de l'enregistrement préopératoire. En revanche, suite à la désorganisation articulatoire post opératoire, la parole serait désautomatisée et recruterait d'autres zones du cortex.

Table 1 : Coordonnées dans l'espace de Talairach des principaux clusters activés (Par ordre décroissant des scores Z de significativité)

	Region	Coordonnées Talairach (mm)			Z-scores
		x	y	z	
Préopératoire	Cervelet gauche	-44	-64	-30	Inf
	Cervelet droit	48	-6	-33	Inf
	Gyr. Frontal Supérieur Gauche (BA 10)	-16	62	-6	Inf
	Pôle Temporal Gauche (BA 38)	-32	6	-41	Inf
	Gyr. Précentral Gauche (cortex moteur primaire BA 4)	-51	-6	44	6.59
	Gyr. Frontal Moyen (cortex prémoteur gauche BA6)	-28	-1	55	6.19
Postopératoire 1	Gyr. Frontal Supérieur gauche (BA 10)	-24	58	-6	Inf
	Pôle Temporal Gauche (BA 38)	-32	14	-34	Inf
	Cervelet Gauche	-44	-52	-21	Inf
	Gyr. Occipital Moyen Gauche (BA 19)	-44	70	-7	Inf
	Cervelet droit	44	-64	-27	Inf

Postopératoire 2	Cervelet Gauche	-44	-55	-21	Inf
	Gyr. Frontal Moyen Gauche (BA 10)	-28	58	-3	7.53
	Gyr. Temporal Supérieur Gauche (BA 22)	-59	-8	0	6.97
	Gyr. Temporal Moyen Gauche (BA 39)	-48	-73	18	6.75
	Pôle Temporal Gauche (BA 38)	36	14	-34	6.37
	Gyr. Précentral Gauche (Cortex Prémoteur, BA 6)	-40	-5	48	6.20
	Pôle Temporal Droit	20	-17	-29	5.80
	Gyrus Occipital Moyen Gauche (BA 37)	-48	-66	-3	5.79
	Insula Gauche (BA 13)	-20	-3	15	4.98

Ce retour de l'activation du cortex prémoteur dans l'enregistrement postopératoire 2 s'accompagne d'une activité très marquée du cortex insulaire gauche (BA 13). L'importance de ce dernier en parole a été mise en avant par de nombreux travaux ([Dronkers, 1996], [Bennett & Netsell, 1999], [Ackerman & Riecker, 2004]). En particulier, lors de ses travaux sur l'apraxie de la parole, Dronkers a montré que parmi 25 patients ayant un déficit de planification articulaire (apraxie) consécutif à un accident vasculo-cérébral de l'hémisphère gauche, la zone du cortex insulaire précentral gauche était systématiquement lésée. Elle en a déduit le rôle central de cette aire pour les tâches de planification motrice dans la parole ([Dronkers, 1996]). Depuis, Hillis et coll. ([Hillis et coll., 2004]) ont modéré ces conclusions en montrant que les patients suivis par Dronkers avaient subi leur accident vasculo-cérébral plusieurs mois avant l'étude et que des modifications anatomiques pouvaient avoir eu lieu durant cette période. Cependant, Ackermann et coll. ([Ackerman et Riecker ; 2004]) ont eux-aussi pointé le rôle central de l'insula lors de l'exécution du geste de parole. En ce qui nous concerne, il est surprenant de constater que si l'activation de l'insula est importante pour la planification ou l'exécution de parole, elle ne soit activée que lors de l'enregistrement postopératoire 2. Si l'on fait abstraction de l'enregistrement postopératoire 1 pour lequel les stratégies articulaires peuvent être complètement désorganisées, il semblerait logique d'observer une activation de l'insula en enregistrement préopératoire. Or, même si l'on considère spécifiquement l'activation liée à l'articulation de toutes les voyelles lors de l'enregistrement préopératoire relativement à l'enregistrement postopératoire 1, on n'obtient pas d'activation de l'insula (voir figure 2). Donc nous pouvons mettre en avant une autre explication concernant l'activation de l'insula. Nous proposons l'hypothèse que l'insula est activée lors de la tâche de réautomatisation du geste articulaire et que lorsque ce geste est automatisé, le cervelet reprend ce rôle.

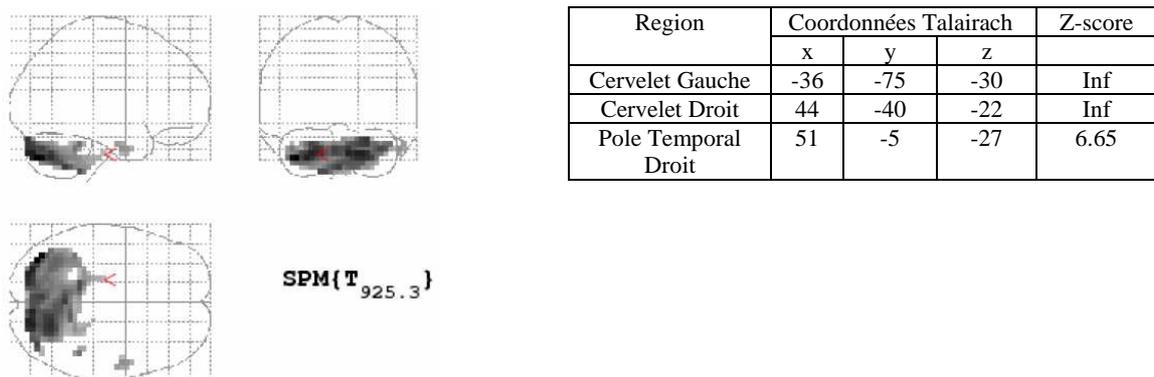


Figure 2 : Activations liées à l'articulation de toutes les voyelles en enregistrement préopératoire relativement à l'enregistrement postopératoire 1. P corrigé = 0.05. Affichage des groupes d'au moins 5 voxels.

5/ Conclusion

Nous avons étudié le cas d'un patient ayant subi une opération de glossectomie suivie d'une reconstruction. L'enregistrement des activités cérébrales de ce patient lors de tâches d'articulation silencieuse de parole nous a permis de proposer un schéma cognitif pour la production de voyelles simples. Ce schéma est le suivant : lors de l'enregistrement préopératoire, l'articulation des voyelles est une tâche cognitive simple et automatisée. Elle recrute massivement le cervelet et le cortex prémoteur gauche. Juste après opération, l'articulation d'une simple voyelle devient une tâche complexe nécessitant de modifier certaines stratégies préalablement utilisées. L'activité cérébrale est alors diffuse et aucune zone n'émerge vraiment. Neuf mois après l'opération, l'articulation se réautomatise au moyen de l'insula gauche mais le cervelet n'est pas encore massivement recruté.

Il est ainsi possible de retrouver les signes d'une reprise de contrôle de « l'incorporation » d'un « nouveau muscle lingual », lus dans l'activité de l'insula, et ceci avant même que la production articulatoire-acoustique du sujet ait retrouvé ses qualités préopératoires (notamment, comme le montre par ailleurs l'étude acoustique, en ce qui concerne les consonnes). On peut espérer que lorsque l'activité du cervelet aura retrouvé elle-aussi son niveau préopératoire, ce sera le signe de l'acquisition maîtrisée d'une nouvelle habileté de la langue avec de nouveaux moyens musculaires. Ce que nous montrera peut être un jour ce patient.

Références bibliographiques :

1. H. Ackermann and A. Riecker (2004) : « The contribution of the insula to motor aspects of speech production: A review and a hypothesis ». *Brain and Language*, 89(2):320-328, 2004.
2. M. Baciú, C. Abry, and C. Segebarth (2000) : "Équivalence motrice et dominance hémisphérique, le cas de la voyelle [u]. Etude irmf ». In *Proceedings of the Journée d'Etude en Parole*, pages 213-216, Aussois, France, June 2000.
3. S. Bennett and R.W. Netsell (1999) : "Possible roles of the insula in speech and language processing: direction for research". *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 7(4):253-270, 1999.
4. Dronkers, N.F. (1996) : "A new brain region for coordinating speech articulation". *Nature*, 384:159-161, 1996.
5. Friston, K. J., Holmes, A. P., Worsley, K. J., Poline, J.-B., Frith, C. D., and Frackowiak, R. S. J. (1995) : "Statistical parametric maps in functional imaging: A general linear approach." *Human Brain Mapping*, 2:189-210, 1995.
6. Gloor P. (1997) : "The Temporal Lobe and Limbic System". Oxford University Press, Oxford, 1997
7. F.H. Guenther, S.S. Ghosh, and A. Nieto-Castanon (2003) : "A neural model of speech production". In *Proceedings of the 6th International Seminar on Speech Production*, Sydney, Australia, December 2003.
8. A. E. Hillis, M. Work, P. B. Barker, M. A. Jacobs, E. L. Breese, and K. Maurer (2004) : "Re-examining the brain regions crucial for orchestrating speech articulation". *Brain*, 127:1479-1487, 2004.
9. R.B. Ivry, T.C. Justus, and C. Middleton (2001) : "The cerebellum, timing, and language: implications for the study of dyslexia". In M. Wolf, editor, *Dyslexia, fluency, and the brain*, pages 189-211. Timonium, MD: York Press, 2001.

10. Riecker, A., Ackermann, H., Wildgruber, D., Dogil, G., & Grodd, W. (2000). Opposite hemispheric lateralization effects during speaking and singing at motor cortex, insula and cerebellum. *Neuroreport*, 11, 1997–2000.
11. C. Savariaux, P. Perrier et J.P. Orliaguet (1995) : “Compensation strategies for the perturbation of the rounded vowel [u] using a lip tube: A study of the control space in speech production.” *Journal of the Acoustical Society of America*, 98 (5), 2428-2442, 1995