

## MASTER Sciences Cognitives - 2019-2020

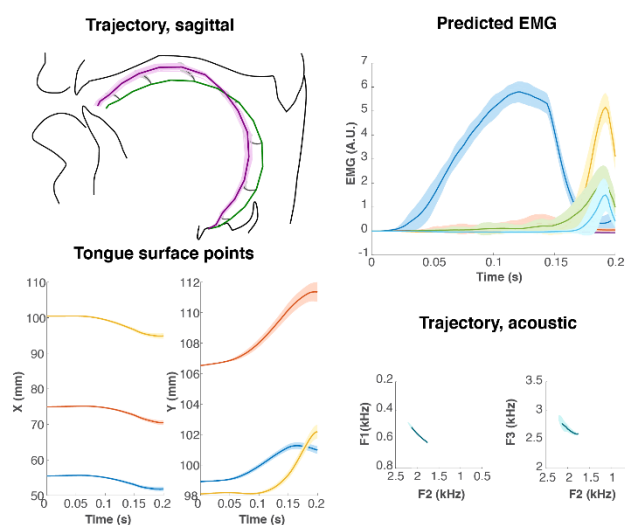
### Deep Tongue : parole et contrôle prédictif des mouvements de la langue par le cerveau

#### Résumé

On peut parler en courant, en sautillant, la tête en bas ou en mâchouillant un chewing-gum, autant d'activités qui sont de nature à perturber le comportement dynamique des articulateurs de la parole. D'où vient cette étonnante robustesse aux perturbations ? Le stage cherche à répondre à cette question par un travail de modélisation. L'objectif sera de proposer une explication de la façon dont le cerveau humain produit la parole dans des conditions dynamiques variées, et de rendre compte des résultats expérimentaux obtenus dans ce domaine. On testera l'idée que le cerveau utilise un modèle interne de la dynamique des articulateurs de la parole pour en prédire à tout instant la position, et intègre en temps réel cette prédiction avec l'information sensorielle bruitée et retardée pour assurer la bonne précision de la prononciation des sons en toute circonstance, tout en minimisant l'effort. Le stage consistera à implémenter cette hypothèse dans un modèle de contrôle exploitant les principes du "Contrôle Feedback Optimal". Ce travail est effectué dans le cadre de la chaire "*Bayesian Cognition and Machine Learning for Speech Communication*" du *Multidisciplinary Institute in Artificial Intelligence* de l'université Grenoble Alpes et pourra déboucher sur une thèse financée dans ce cadre.

#### Contexte

La production de la parole est une tâche qui requiert une grande dextérité. Certains sons, comme le /i/, le /s/ ou le /l/ nécessitent un positionnement très précis de la langue dans l'espace buccal au cours du temps. Pourtant, sauf situation pathologique, chaque humain est capable de cette tâche motrice, depuis son plus jeune âge jusqu'à un âge très avancé. Cette tâche peut être exécutée avec précision dans des conditions très variables : en marchant, courant ou sautant, en mangeant, allongé ou debout, en apesanteur... Par ailleurs, la parole est une tâche très rapide, dont les transitions entre sons peuvent être de l'ordre que quelques dizaines de millisecondes, alors même que des retards du même ordre de grandeur affectent l'acheminement des signaux sensoriels et



Predictions d'un modèle de contrôle optimal de la langue pour une transition entre deux voyelles (/ə/ → /i/)

moteurs, ainsi que leur traitement cérébral. Ces retards dans la boucle « action-retour sensoriel » ne permettent pas que le contrôle précis de la production de la parole puisse se baser exclusivement sur un contrôle de type feedback, qui chercherait à annuler l'écart entre les signaux de parole que l'on souhaite produire et ceux qui sont effectivement produits. Le contrôle de la parole nécessite donc une forme de prédiction des conséquences sensorielles de l'action, en fonction des caractéristiques de l'environnement et de la possibilité de perturbations.

D'autre part, si l'on étudie tous les articulateurs de la parole et leur anatomie, on remarque que le cerveau contrôle de nombreux muscles dont l'activité doit être coordonnée, et qu'il existe une infinité de manières possibles de réaliser un mouvement donné (p.ex. de la langue).

Pour ces raisons, nous faisons l'hypothèse que le cerveau se comporte comme un contrôleur feedback optimal. Le principe du contrôle feedback optimal consiste à prendre en compte (1) les retours sensoriels avec leur retard et leur imprécision, (2) des prédictions de l'état effectif instantané du système de production à l'aide d'un modèle interne de la dynamique de ce système, et (3) des principes de minimisation d'un coût (effort, imprécision...) pour assurer le choix judicieux des commandes, la stabilité de la tâche et la correction des commandes motrices dans le cas d'un choix initial inapproprié des commandes motrices ou dans le cas de perturbations externes inattendues. Une solution formelle à ce problème a été démontrée dans un cas simple (Todorov et Jordan, 2002).

L'objectif du travail dans le cadre du master sera d'explorer les prédictions d'un tel modèle en fonction des hypothèses formulées sur le coût à minimiser, l'imprécision des signaux sensorimoteurs, et les modalités sensorielles disponibles (audition, proprioception, toucher). En fonction de l'aisance mathématique du candidat, celui-ci pourra tester des formulations plus ou moins complexes du contrôle optimal. A l'aide de ces modèles, on cherchera en particulier à tester l'effet de perturbations du retour auditif ou de perturbations mécaniques de la langue. Ces prédictions seront confrontées aux données de la littérature expérimentale sur la compensation de perturbations inattendues de la production de la parole, et pourront motiver de nouvelles expériences à réaliser au laboratoire.

Ce stage vient à la suite d'une thèse en sciences cognitives (2018) qui a étudié les possibilités de traitements de perturbations soudaines de la production de la parole, et d'une étude présentée au congrès annuel de la *Society for Neuroscience* (cf. Figure). Il pourra se poursuivre en une thèse combinant la modélisation et la validation expérimentale ; cette thèse sera financée par la chaire "*Bayesian Cognition and Machine Learning for Speech Communication*" du *Multidisciplinary Institute in Artificial Intelligence* de l'université Grenoble Alpes (voir <http://miai.univ-grenoble-alpes.fr>).

## Contacts

Pascal Perrier, PR Grenoble-INP, [Pascal.Perrier@grenoble-inp.fr](mailto:Pascal.Perrier@grenoble-inp.fr), 04 76 57 48 25

Pierre Baraduc, CR CNRS, [Pierre.Baraduc@grenoble-inp.fr](mailto:Pierre.Baraduc@grenoble-inp.fr), 04 76 82 71 50

## Financement

Chaire MIAI "Bayesian Cognition and Machine Learning for Speech communication".

## Références Bibliographiques

Todorov E, Jordan MI (2002). Optimal feedback control as a theory of motor coordination. *Nat Neurosci*, 5(11):1226-1235.

Guigon E, Baraduc P (2008). Optimality, stochasticity, and variability in motor behavior. *J Comput Neurosci*. 24(1):57-68.

Baraduc P, Perrier P (2017) Motor control of the tongue during speech: predictions of an optimization policy under sensorimotor noise. *Society for Neuroscience Annual Meeting*, Washington, USA, and *Speech Units Workshop: Perceptuo-motor relationships in speech communication*, Geneva, Switzerland (2018).