



Production de parole chez l'enfant de 4 ans :
données articulatoires et modélisation biomécanique de la langue,
pistes et applications pour la rééducation orthophonique

Guillaume Barbier¹, Pascal Perrier¹, Lucie Ménard², Yohan Payan³,

Louis-Jean Boë¹, Guillaume Captier⁴

¹Département Parole et Cognition, GIPSA-lab, CNRS & Grenoble Universités, Grenoble, France

²Laboratoire de Phonétique, Université du Québec À Montréal, Montréal, Québec, Canada

³TIMC-IMAG Laboratoire, CNRS & Grenoble Universités, Grenoble, France

⁴Laboratoire d'Anatomie, Université de Montpellier, Montpellier, France

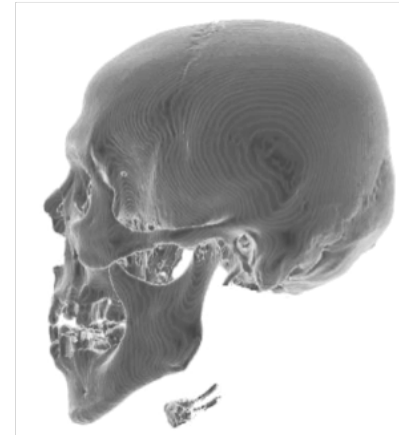
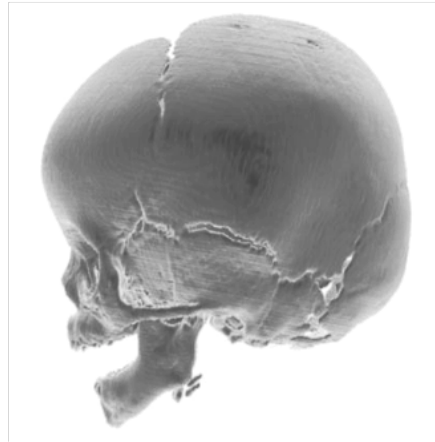
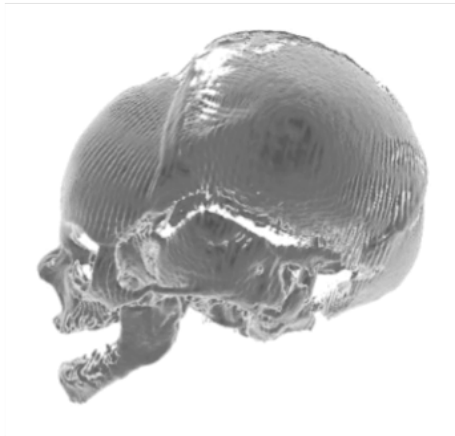
Plan de l'exposé

- La production de la parole chez l'enfant
- Recueil et analyse de données articulatoires
- Résultats expérimentaux
- Un outil supplémentaire : la modélisation biomécanique
- Conclusion

La parole chez le jeune enfant : quelques spécificités

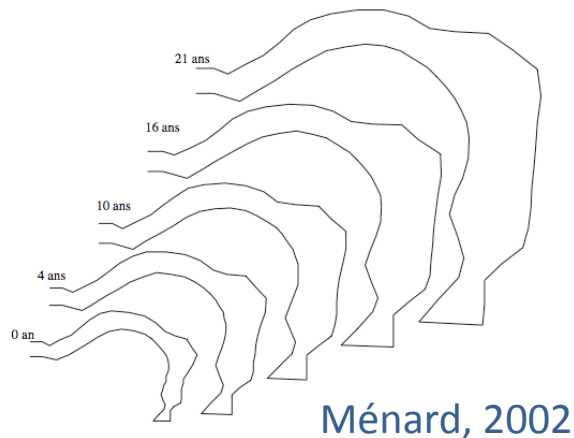
- Un appareil de production différent
- Une perception catégorielle de la parole différente
- Un contrôle moteur moins précis
- Des relations sensori-motrices en construction
- En bref, un cadre bien différent de celui de l'adulte

Un appareil de production différent



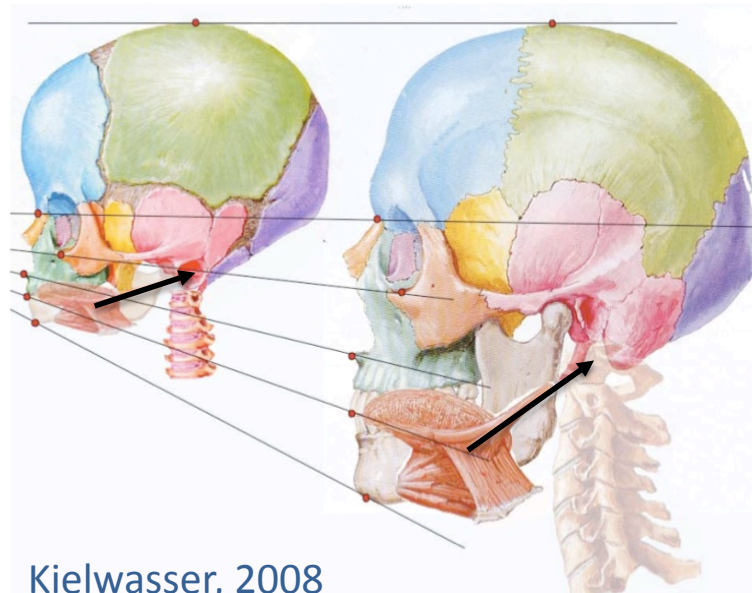
Une architecture osseuse en évolution qui modèle un tractus vocal différent de celui de l'adulte.

Dr Captier, 2011



Ménard, 2002

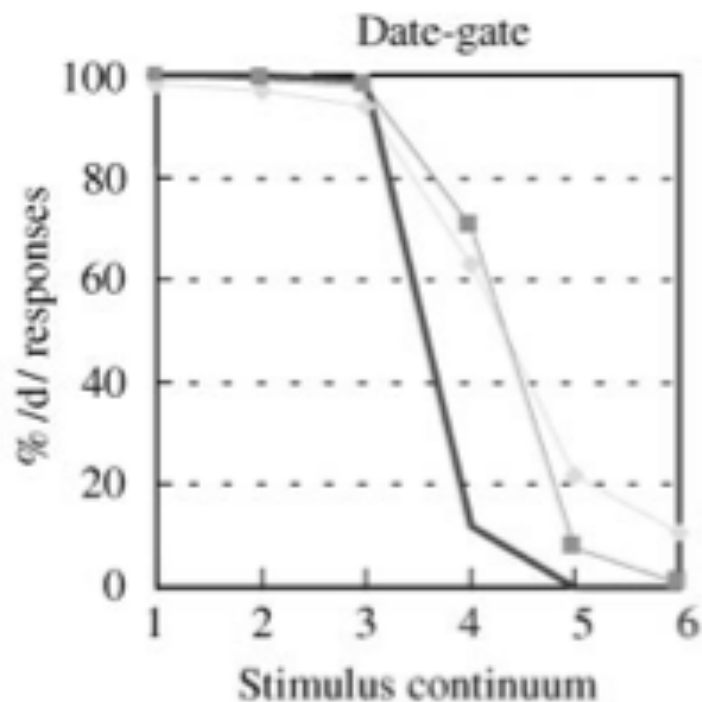
Une taille et une géométrie différentes de celles de l'adulte.



Kielwasser, 2008

Une orientation différente des fibres musculaires qui induit une utilisation différente des degrés de liberté

Une perception catégorielle différente



Les capacités de perception catégorielle ne sont pas les mêmes que chez l'adulte.

Pour ce contraste, qui porte sur le lieu d'articulation, la transition entre /d/ et /g/ est bien moins nette chez les enfants, y compris à 12 ans.

6-7 ans (gris clair), 11-12 ans (gris foncé)
et adultes (noir)

Hazan et Barrett, 2000

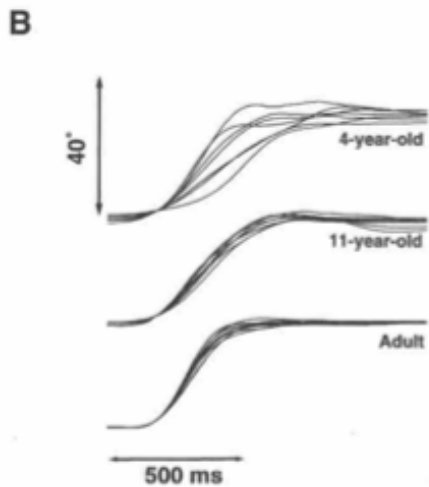
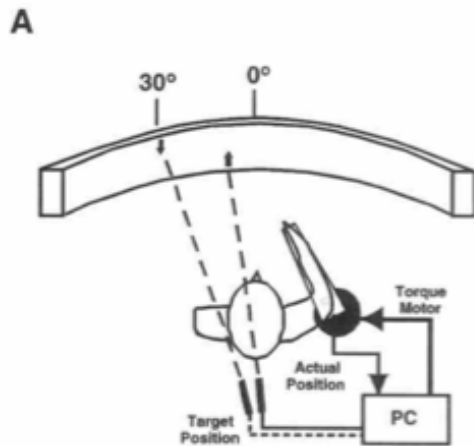
Un contrôle moteur moins précis

Konczak et al. 2003

4 ans (n=4)

11 ans (n=5)

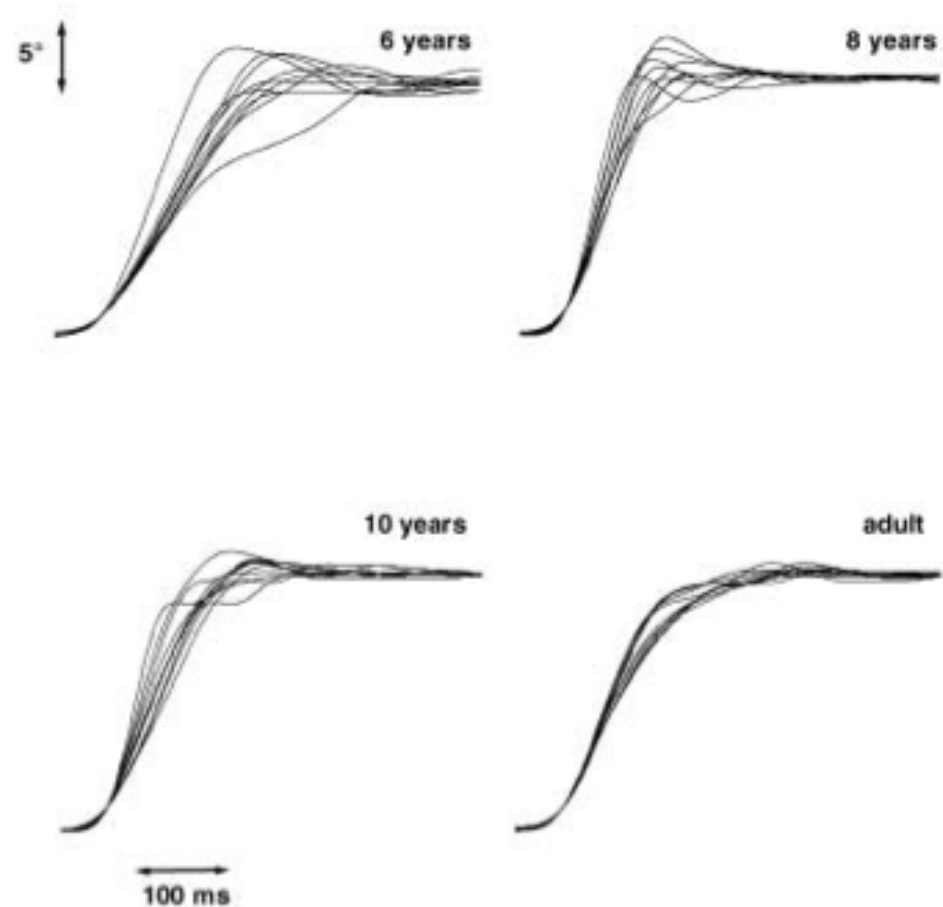
Adultes (n=7)



Jansen et al. 2002

6, 8, 10 ans et

adultes (n=10)



Un contrôle moteur moins précis

Smith et Zelaznik 2004

180 enfants
30 par groupe d'âge

4 ans

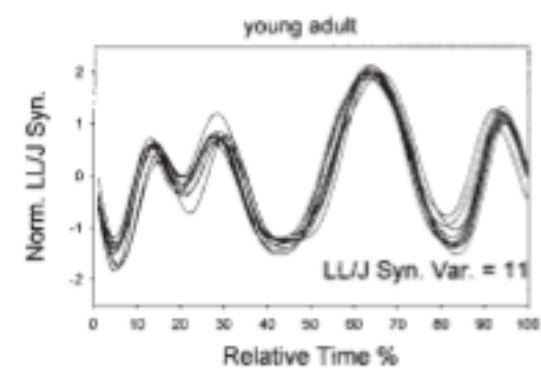
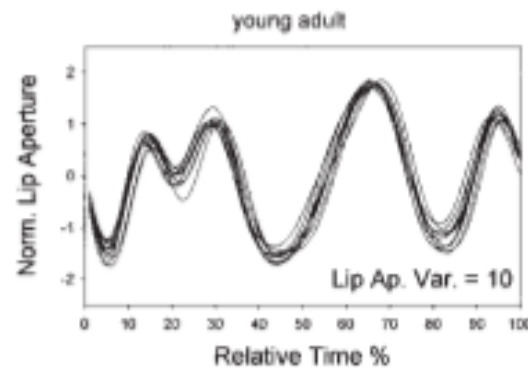
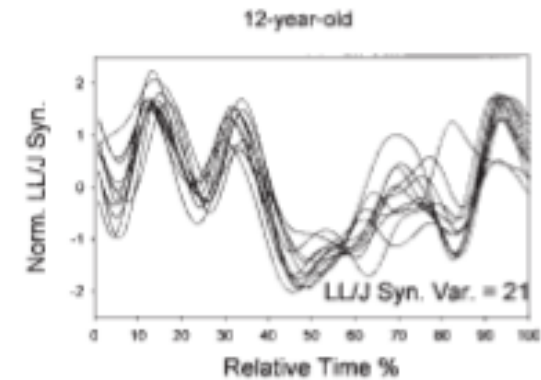
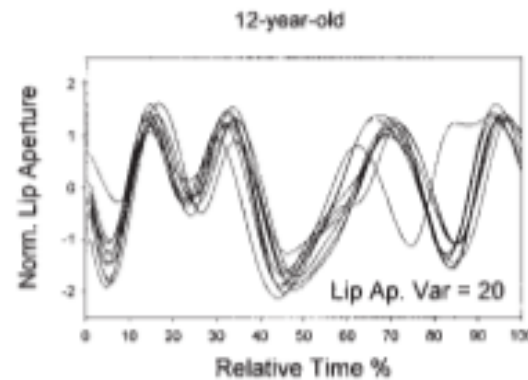
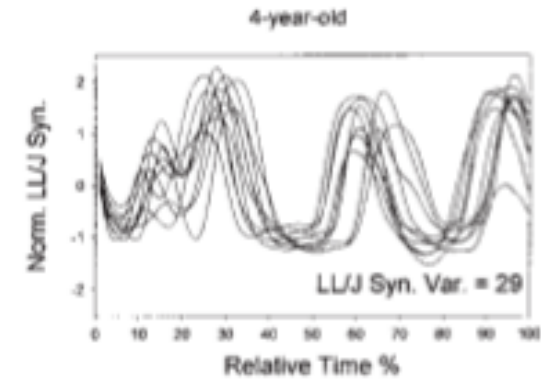
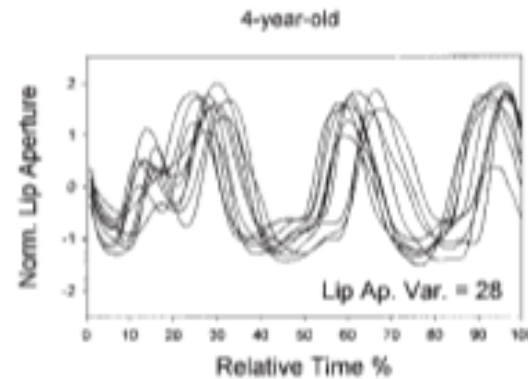
5 ans

7 ans

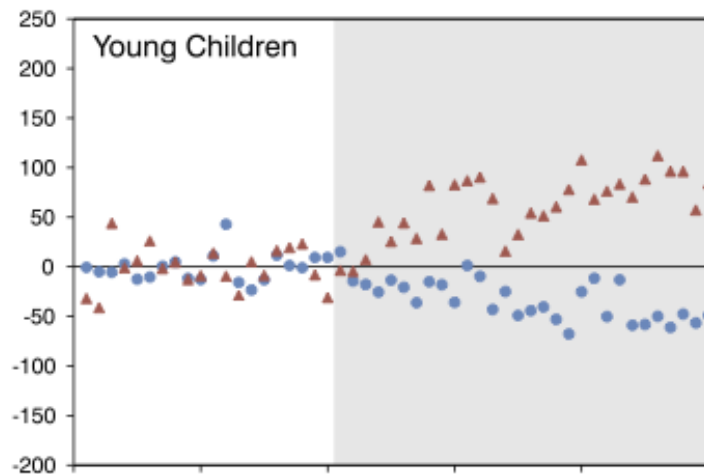
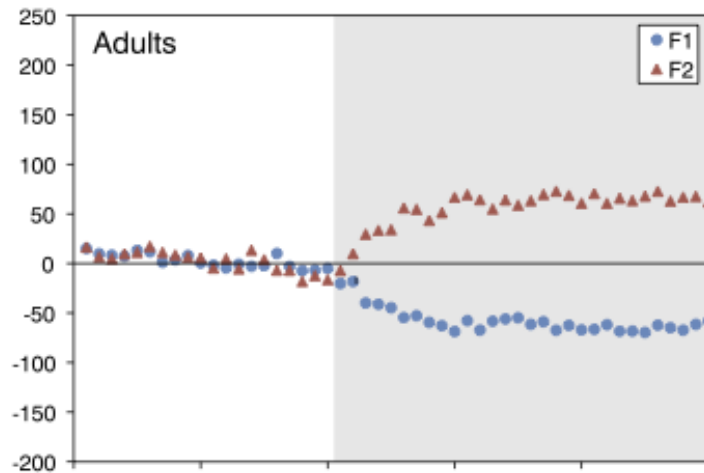
12 ans

14 ans

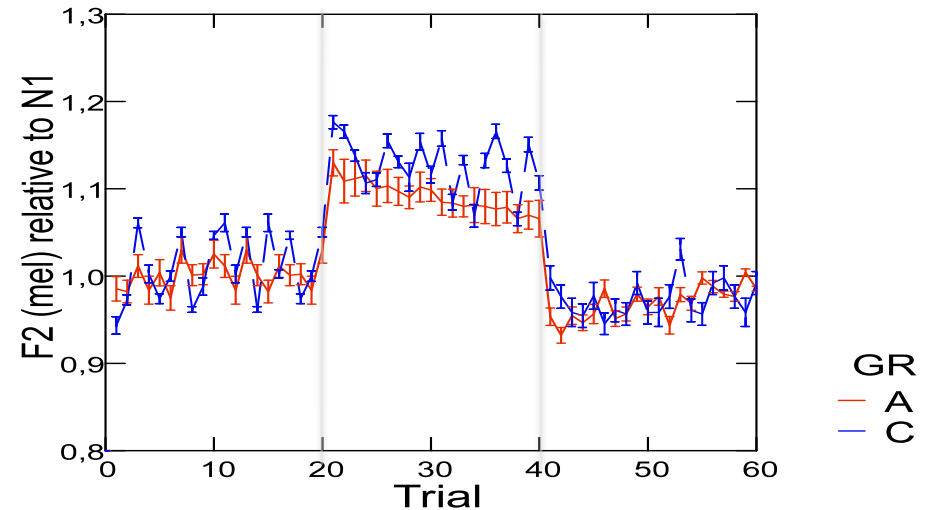
Adultes (20-22 ans)



Des relations sensori-motrices en construction



MacDonald et al. 2012



Ménard et al. 2015

Conclusions : l'enfant de 4 ans a une idée globale des conséquences acoustiques de ses manœuvres articulatoires.

Mais concernant des relations sensori-motrices fines, celles-ci semblent immatures.

Recueil et analyse de données articulatoires

Dispositif expérimental

- 20 enfants québécois de 4 ans et 10 adultes (18-30 ans)
- Le corpus recueilli :



- Voyelles isolées /i e ε a u/

- Séquences V_1 -C- V_2

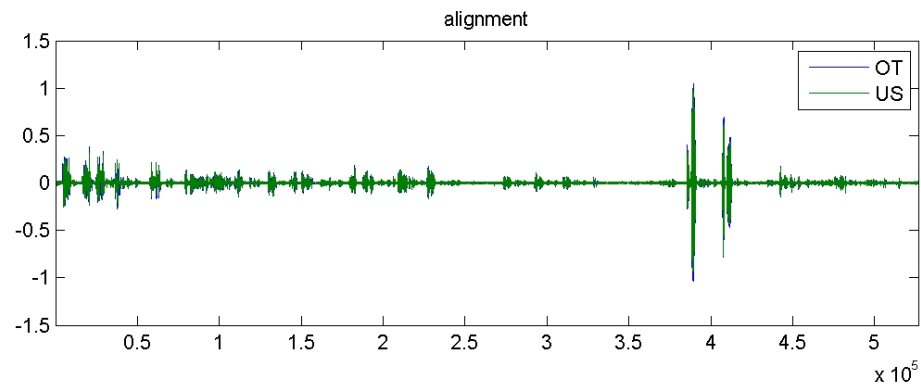
avec $C = /b d g/$, $V_1 = /ε a/$ et $V_2 = /i a/$



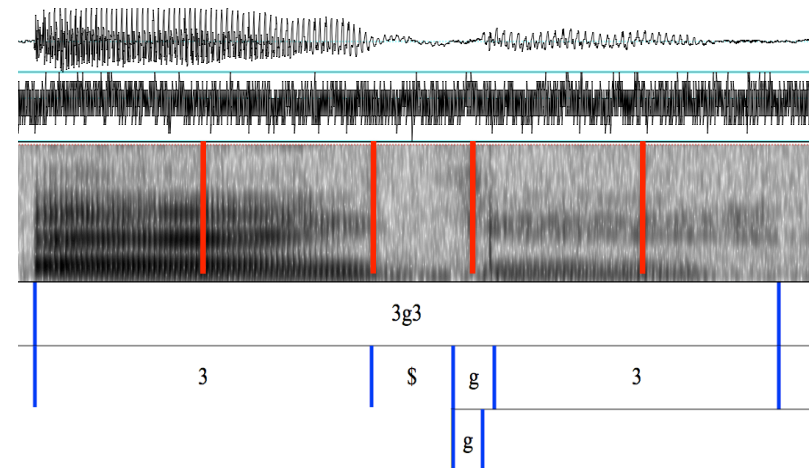
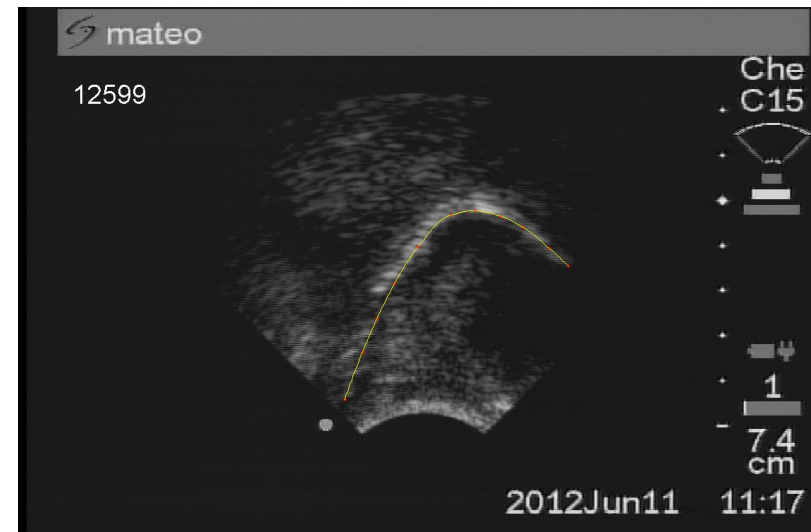
- La tâche est présentée comme un jeu de marionnettes.
- On enregistre : les mouvements de la langue (échographie, 30 Hz), le signal audio (44.1 kHz), les mouvements des capteurs infrarouge (166 Hz)

Pré-traitements des données

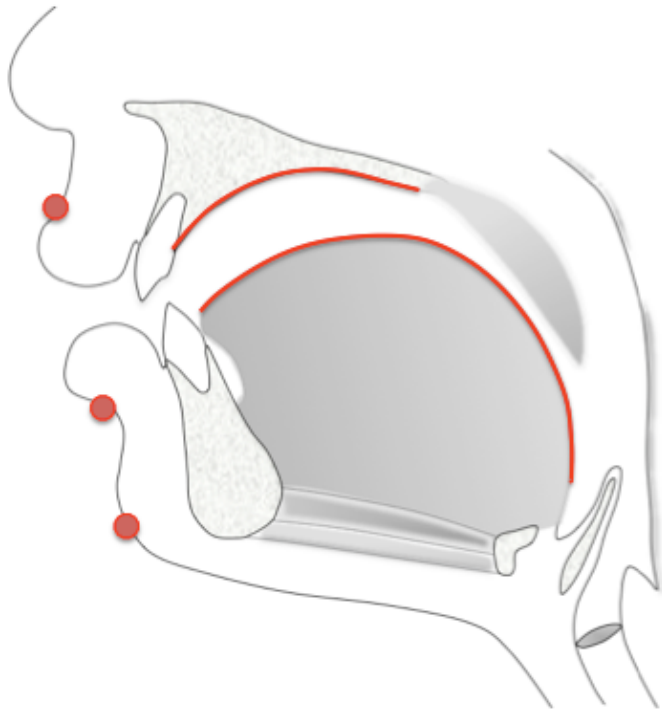
- Cross-correlation des signaux audio : alignement entre ultrason, audio et données de capture de mouvements.



- Labélisation du signal audio sous *Praat*
- Extraction des valeurs de F1 et F2 values au milieu des voyelles
- Extraction des contours des images d'intérêt avec *GetContours*
- Réalignement des données avec le système *HOCUS*

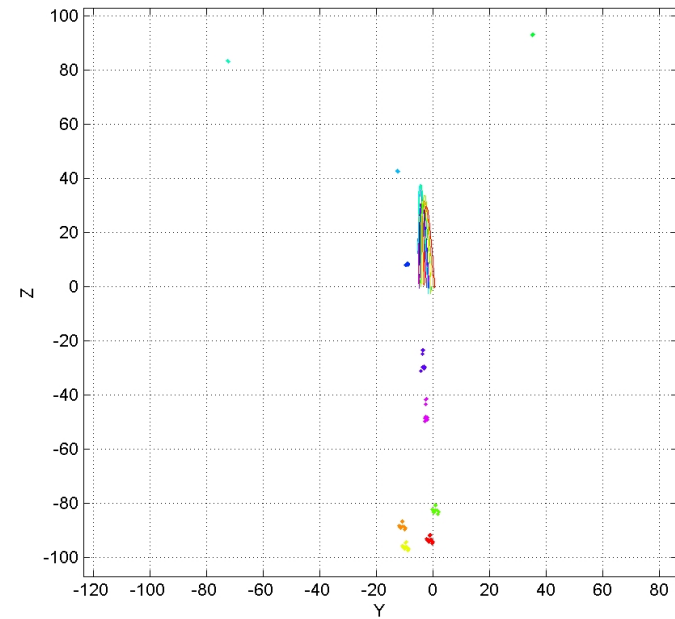


Après les pré-traitements

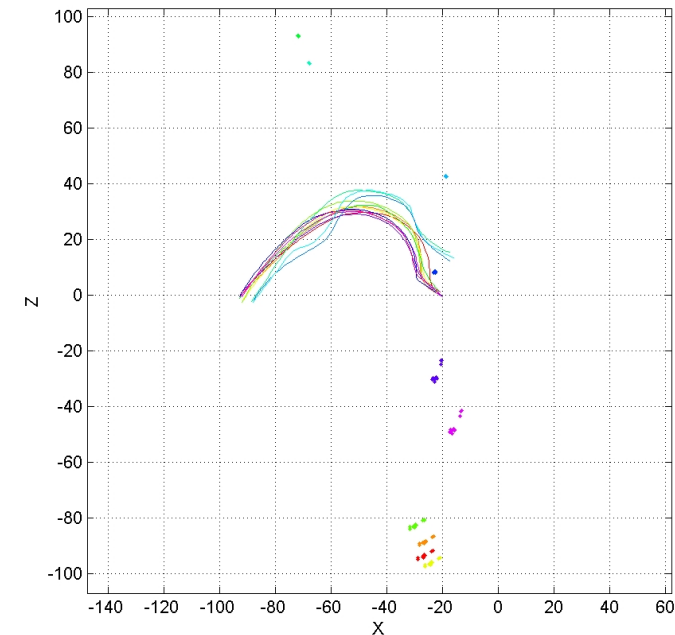


Ensemble des données articulaires enregistrées

Exemple de données vues de face (vérification)

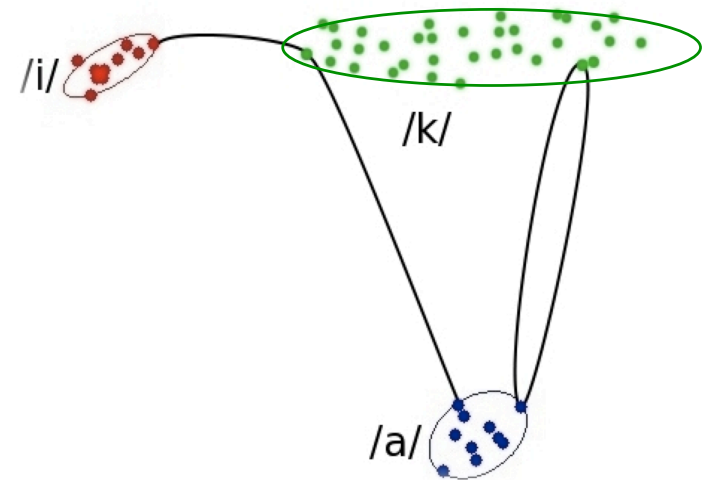


Exemple de données vues dans le plan sagittal



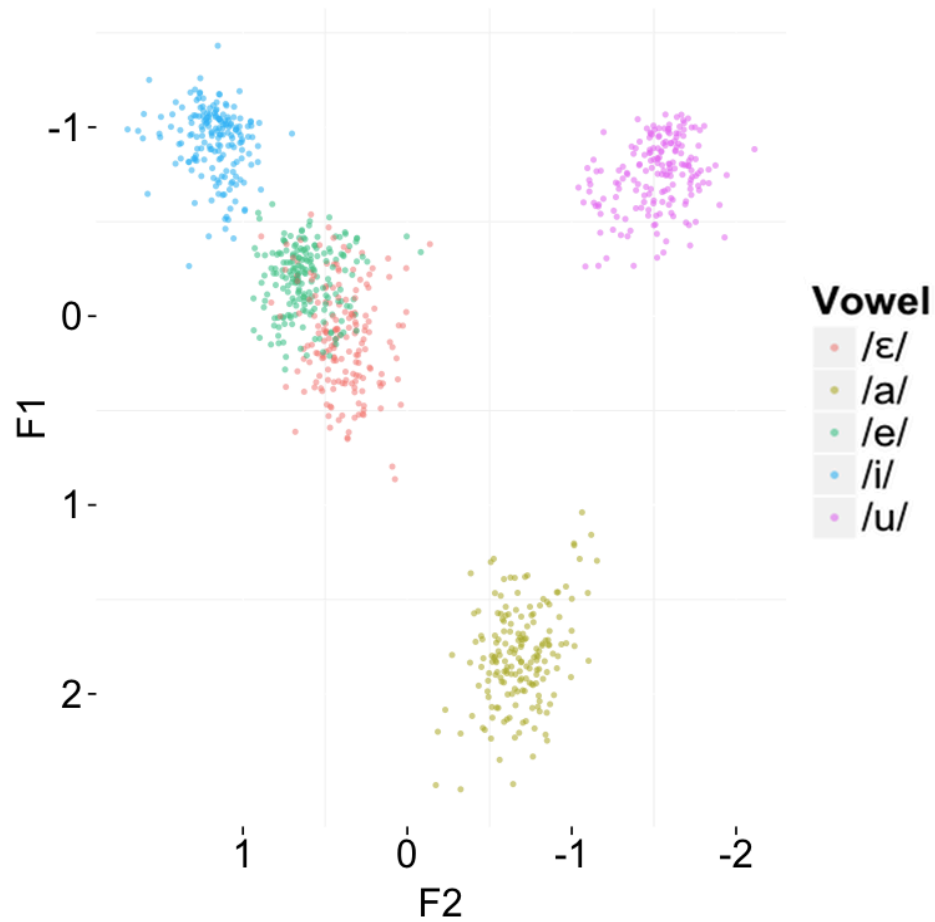
Indices mesurés

- La variabilité liée à la répétition
 - Sur les voyelles isolées (stabilité du contrôle moteur)
- L'anticipation de V_2 dans V_1
 - Dans les séquences V_1 -C- V_2
 - Renseigne sur la maturité du contrôle mais aussi des représentations phonémiques

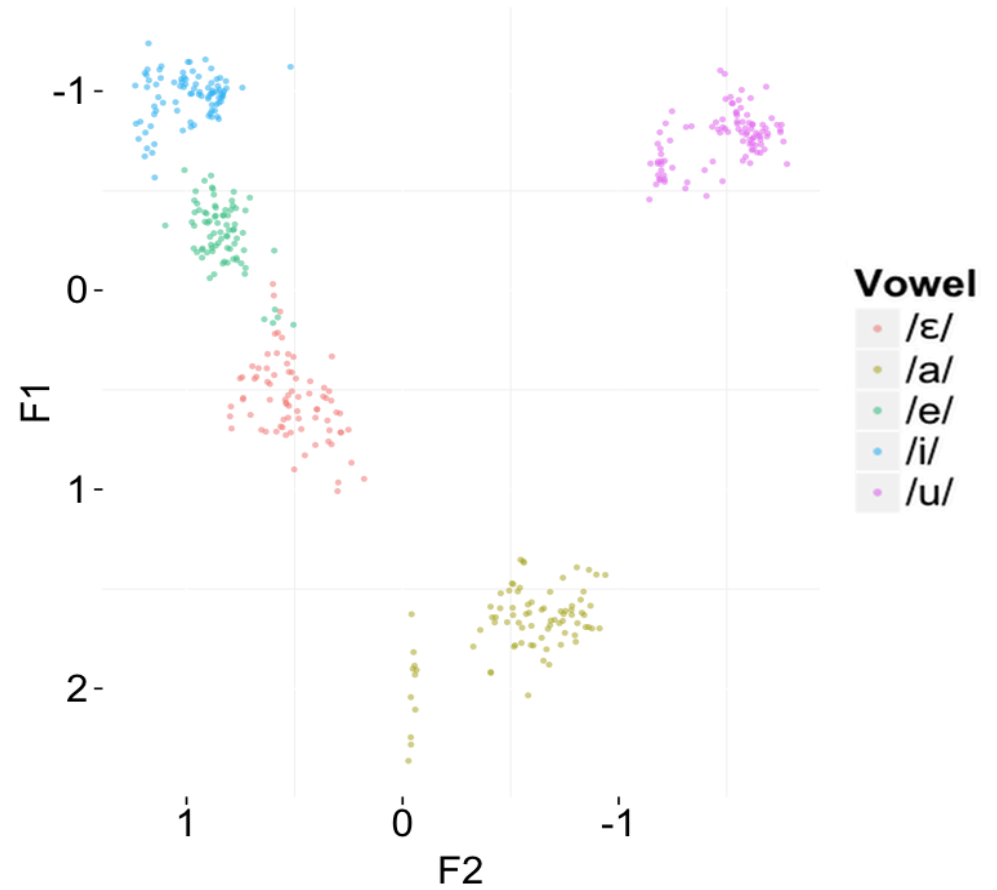


Résultats

Variabilité liée à la répétition



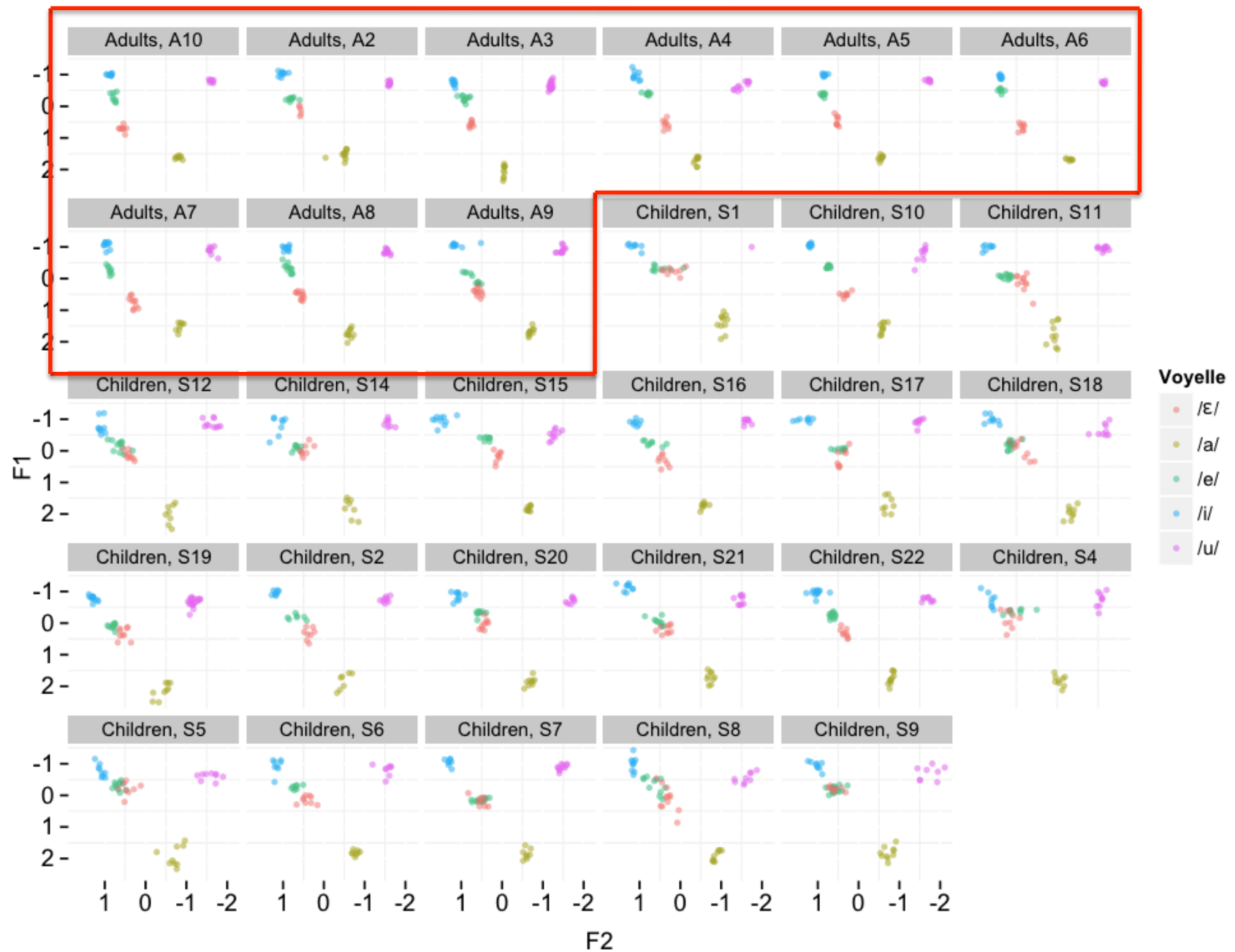
Données acoustiques normalisées pour
tous les **enfants**



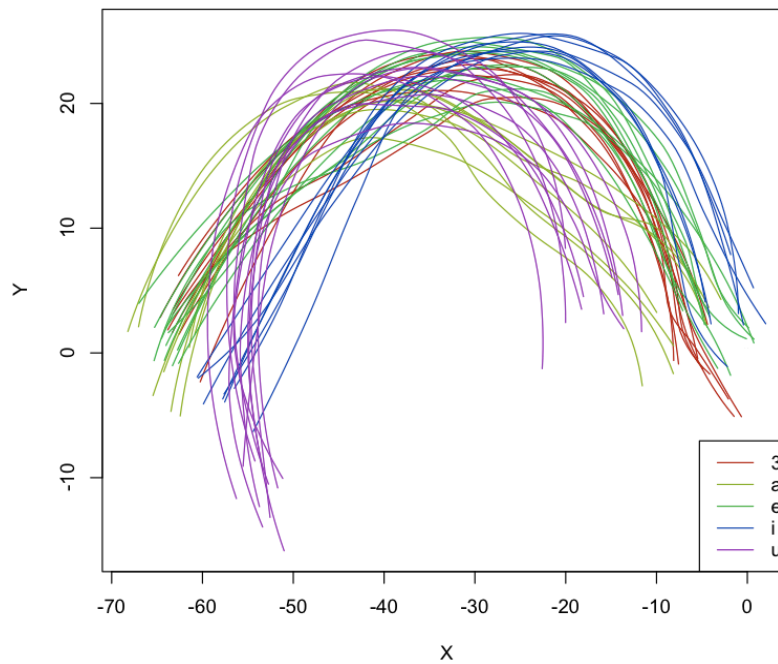
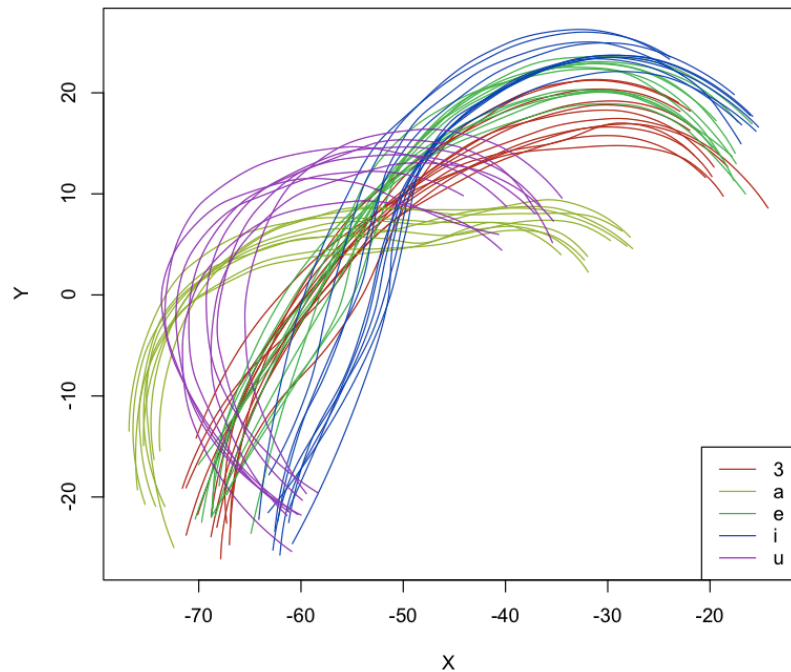
Données acoustiques normalisées pour
tous les **adultes**

La variabilité liée à la répétition est **2.13 fois** plus importante chez les enfants

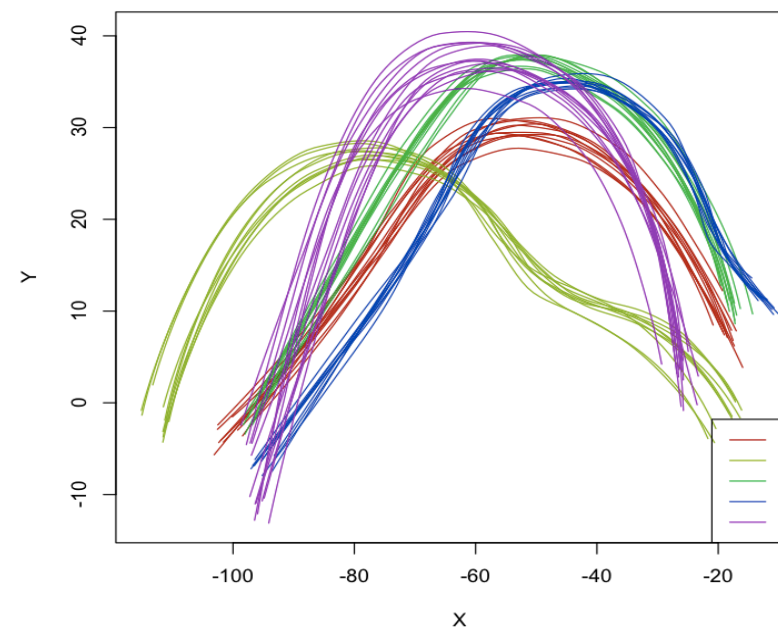
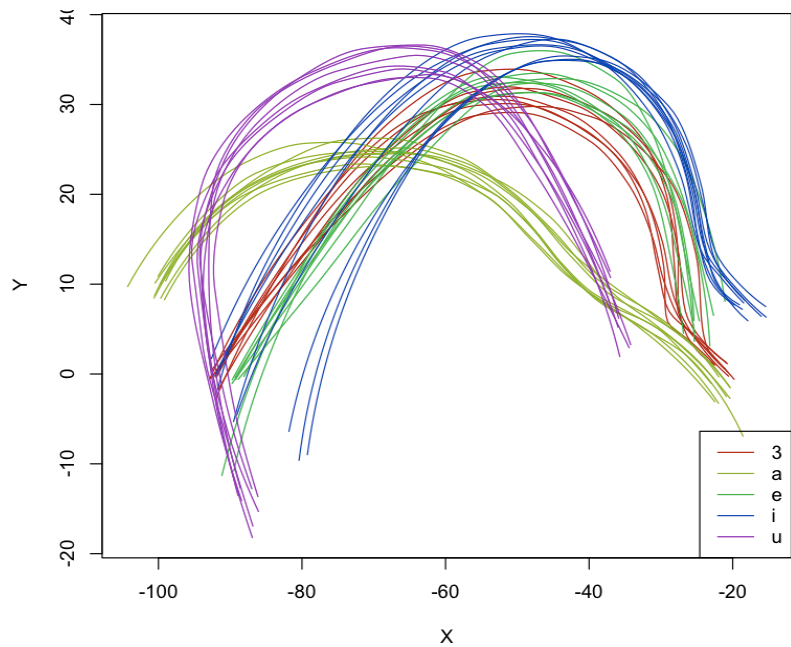
Variabilité liée à la répétition



Variabilité liée à la répétition

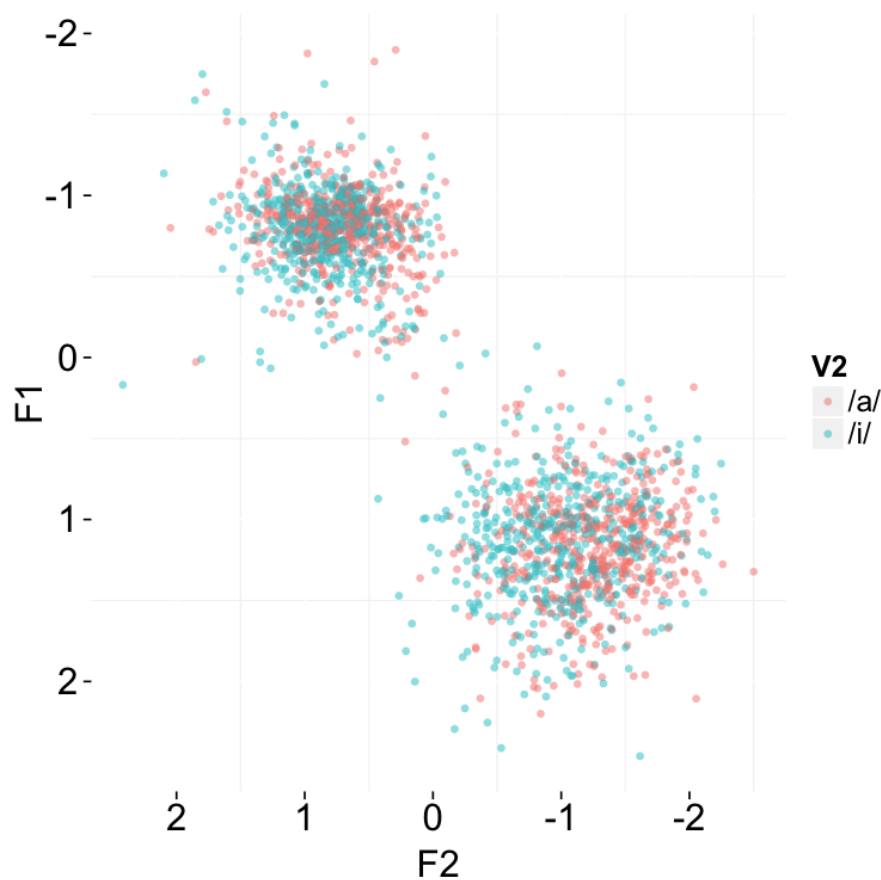


Voyelles isolées pour deux enfants

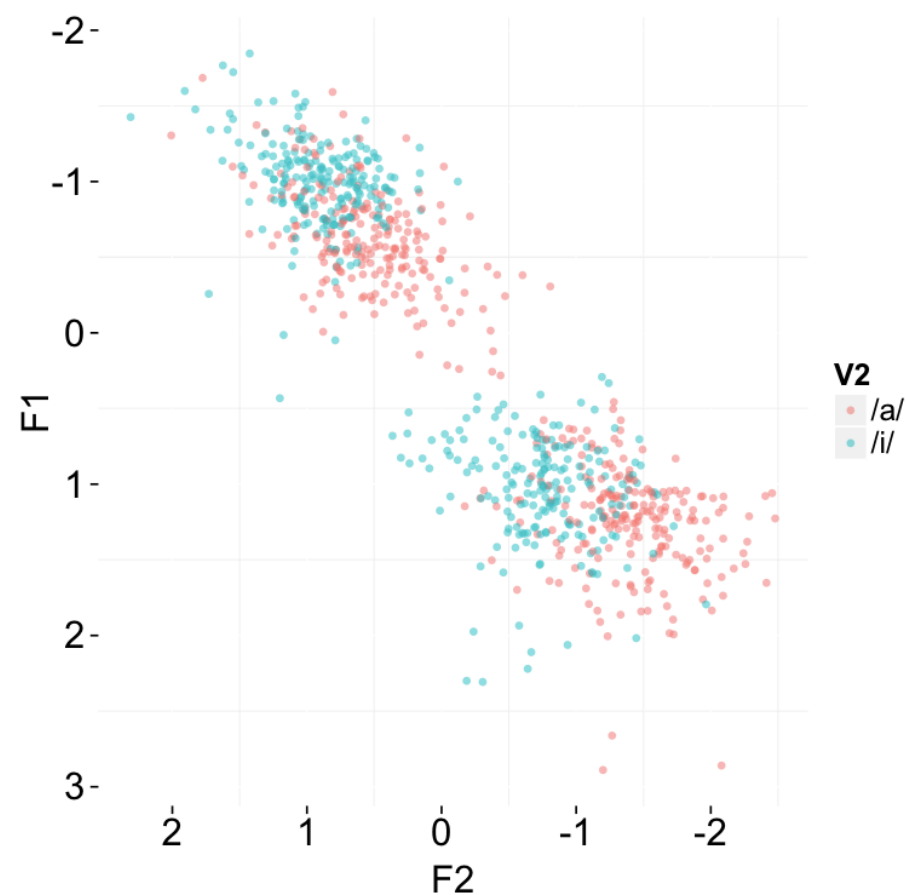


Voyelles isolées pour deux adultes

Mesure d'anticipation de V_2 dans V_1



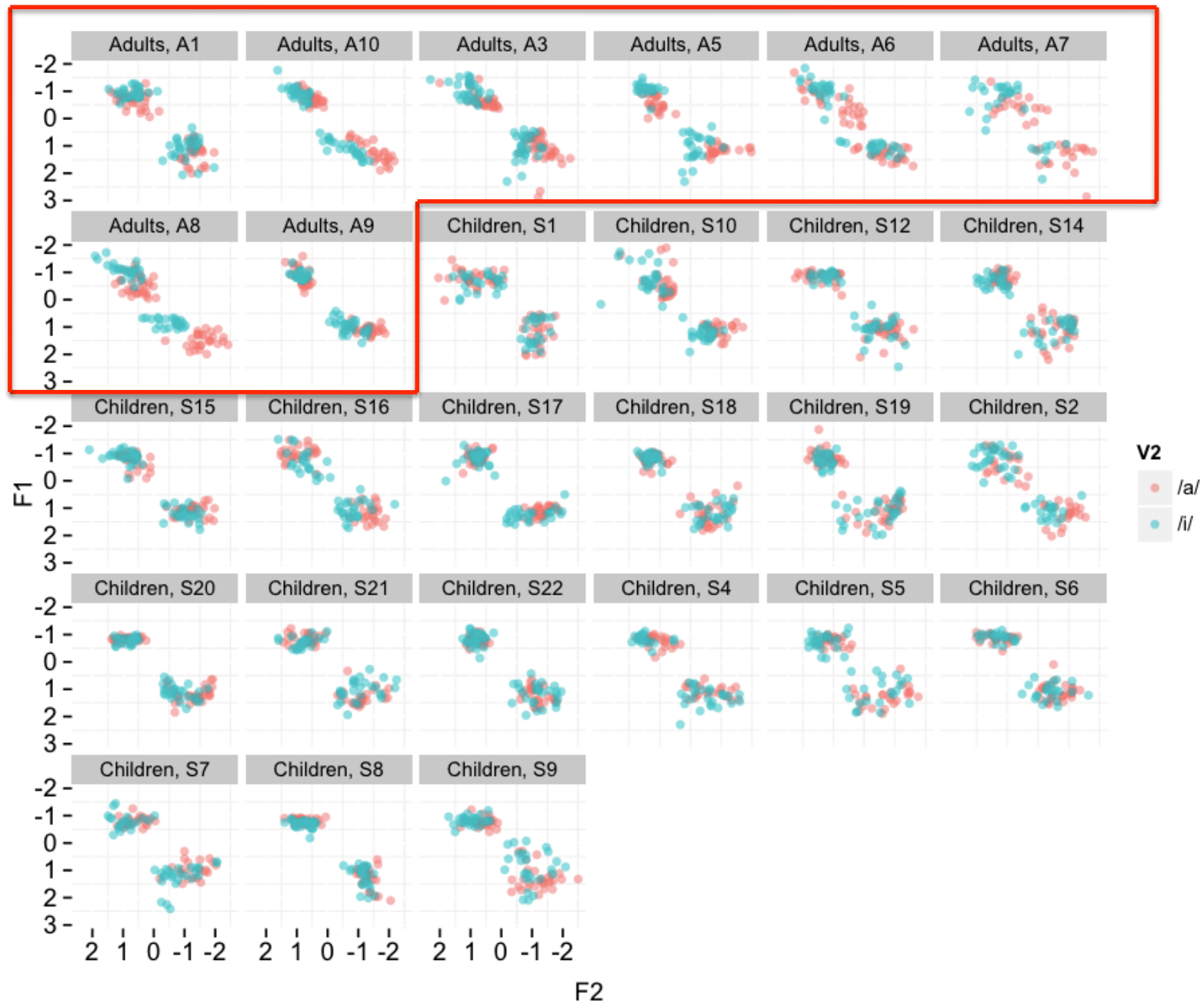
Données acoustiques normalisées pour
tous les **enfants**



Données acoustiques normalisées pour
tous les **adultes**

L'**anticipation** est **significative** dans les 2 dimensions F1 et F2 **pour les adultes**, elle est **inexistante** en F1 et **très marginale** en F2 **pour les enfants**.

Mesure d'anticipation de V_2 dans V_1

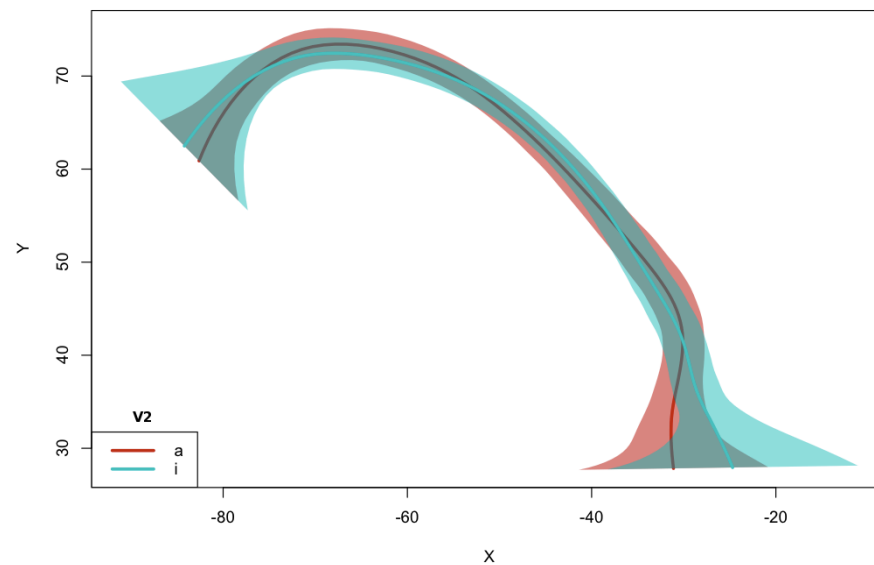
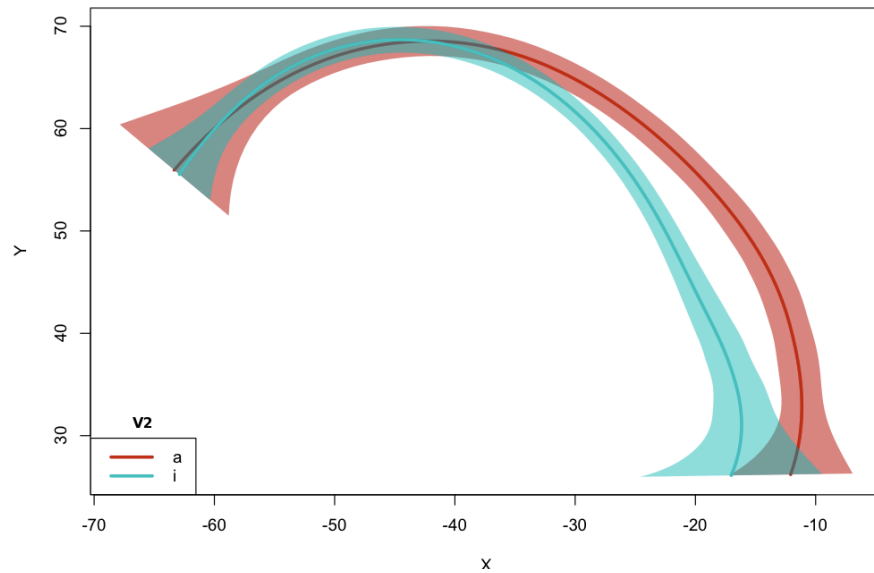


Mesure d'anticipation de V_2 dans V_1

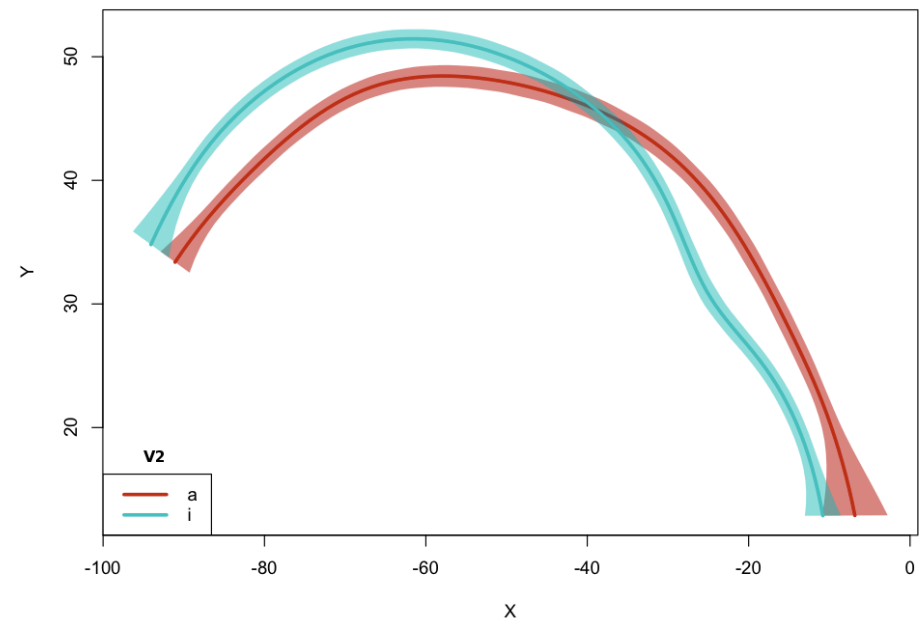
Exemples de réalisations de /ε/ en contexte

/εdi/ versus /εda/

Pour deux enfants :



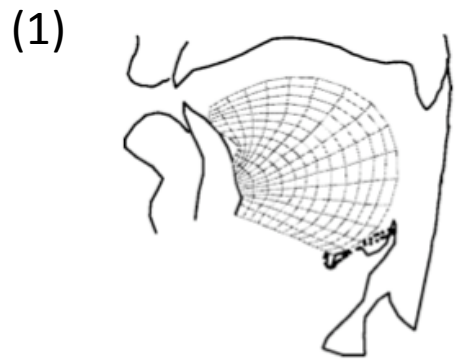
Pour un adulte :



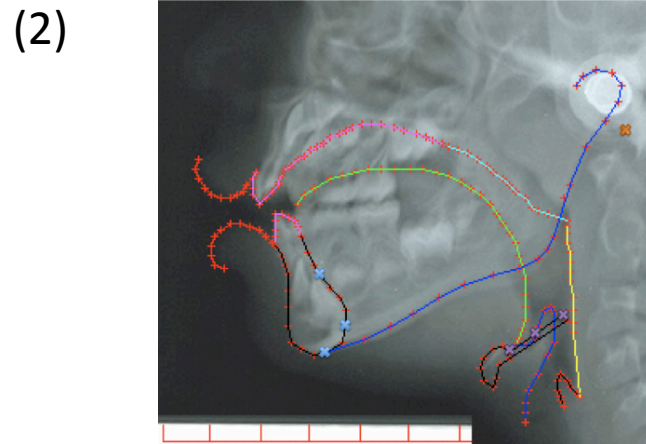
Résumé des résultats

- Plus de variabilité liée à la répétition chez les enfants
- Pas (ou beaucoup moins) d'anticipation de V_2 dans V_1
- Ces résultats sont interprétés comme étant des preuves de (1) **l'immaturité du contrôle moteur** de la langue pour la production des sons de parole et (2) **l'imprécision des représentations neurales** associées à la production des sons de parole, en particulier en ce qui concerne la variabilité autorisée autour d'un son de parole donné.

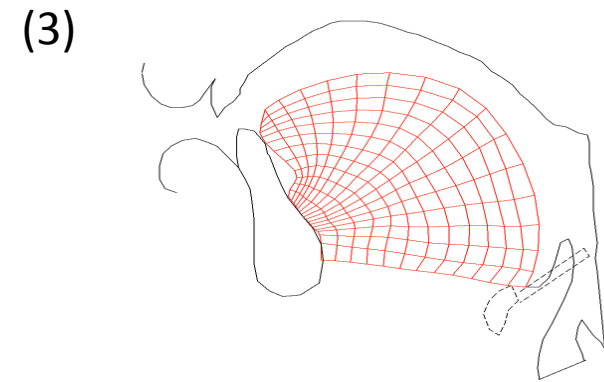
Un outil supplémentaire :
la modélisation biomécanique



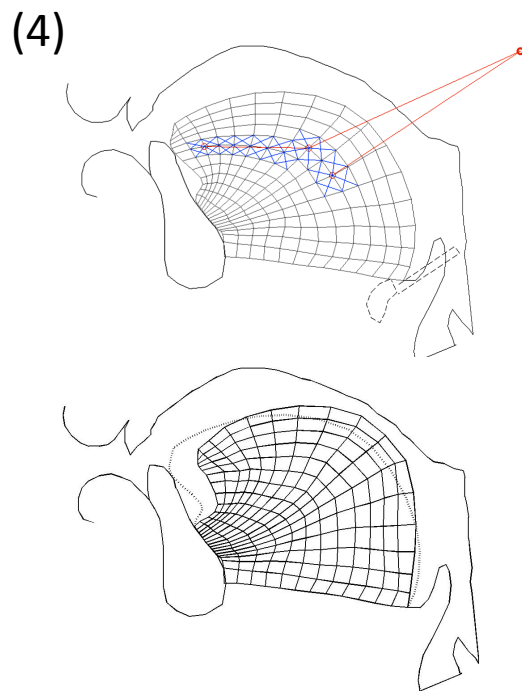
Modèle adulte
Perrier et al., 2003



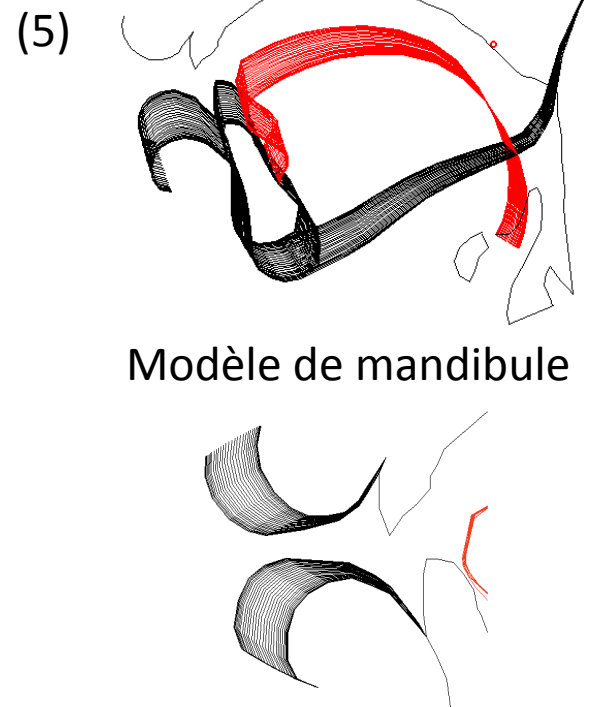
Adaptation à l'enfant



Modèle enfant
Barbier et al., 2012

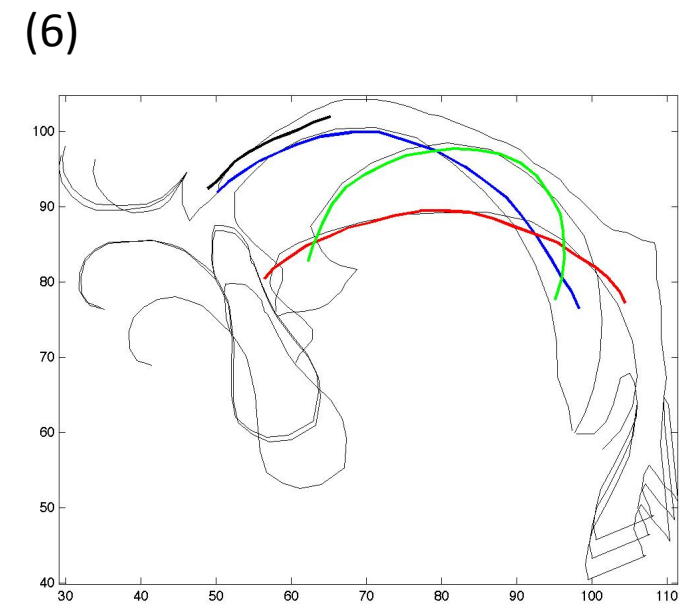


DDL = muscles

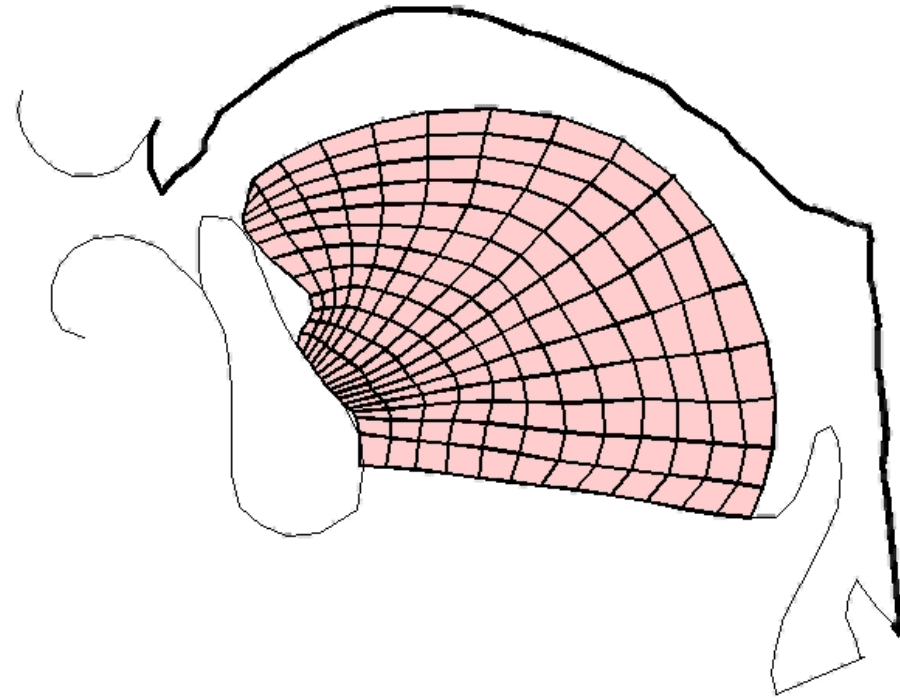


Modèle de mandibule

Modèle de lèvres



Confrontation des
simulations avec des
données échographiques



Conclusion et remerciements

- Ces travaux et/ou ces outils articulatoires, avant tout destinés à une compréhension théorique de la production de la parole, pourraient-ils apporter quelque chose à la rééducation orthophonique ?
- Remerciements à **Joe Perkell, Mark Tiede**, à **toute l'équipe du laboratoire de Lucie Ménard**, aux fonds de recherche **FQRNT** et à l'**ANR**, ainsi qu'à **tous nos participants** !