HAL
open science

L'émergence du contrôle articulatoire au stade du babillage : une étude acoustique et cinématique

Mélanie Canault

To cite this version:

Mélanie Canault. L'émergence du contrôle articulatoire au stade du babillage : une étude acoustique et cinématique. Linguistique. Université Marc Bloch, Strasbourg 2, 2007. Français. NNT : . tel-01963122

HAL Id: tel-01963122

https://hal.univ-lyon2.fr/tel-01963122

Submitted on 21 Dec 2018

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.

HAL
archives-ouvertes.fr

L'émergence du contrôle articulatoire au stade du babillage. Une étude acoustique et cinématique

Mélanie Canault

To cite this version:

Mélanie Canault. L'émergence du contrôle articulatoire au stade du babillage. Une étude acoustique et cinématique. Linguistique. Université Marc Bloch - Strasbourg II, 2007. Français. <tel-00370720>

HAL Id: tel-00370720

https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00370720

Submitted on 24 Mar 2009

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.

Université Marc Bloch-Strasbourg II
UFR Lettres
EA 1339-Linguistique Langues et Parole (LILPA)
Composante Parole et Cognition-Institut de Phonétique de Strasbourg

L'ÉMERGENCE DU CONTRÔLE ARTICULATOIRE AU STADE DU BABILLAGE

Une étude acoustique et cinématique

Thèse présentée en vue de l'obtention du Doctorat de Sciences du Langage
par Mélanie CANAULT

Sous la direction de MM. les professeurs Rudolph SOCK et Pascal PERRIER

Membres du jury :

M. Rafael Laboissière, Unité INSERM U864 Espace et Action & CNRS, Bron (Examinateur)
M. le Professeur Noël Nguyen, Laboratoire Parole et Langage & CNRS, Université de Provence, Aix en Provence (Rapporteur)
M. le Professeur Pascal Perrier, ICP/GIPSA-lab & CNRS UMR 5216, Université Stendhal, Grenoble III (Co-directeur)
M. le Professeur Rudolph Sock, Institut de Phonétique de Strasbourg, Université Marc Bloch, Strasbourg II (Directeur)
MME. le Professeur Sophie Wauquier, Laboratoire Structures Formelles du Langage & CNRS, Université Paris VIII, Paris (Rapporteur)
M. le Professeur Jean-Pierre Zerling, Institut de Phonétique de Strasbourg, Université Marc Bloch, Strasbourg II (Président)

12 décembre 2007

REMERCIEMENTS

Ce travail s'achève et le moment est venu de remercier les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à son aboutissement. Toutes ne sont probablement pas conscientes de leur investissement. Pourtant, c'est grâce à leur soutien que j'ai pu atteindre mon objectif. Mais avant de commencer ces remerciements, je voudrais insister sur le fait que cette recherche a été financée par une allocation associée au projet ACI TTT0039 « Terrains, Techniques et Théories ». Je souhaite donc remercier ceux qui ont choisi de me faire confiance en m'attribuant ce financement qui m'a mise à l'abri, pendant trois années, des problèmes pécuniaires et des soucis qui les accompagnent. J'ai pu, par ce privilège, me consacrer librement à mes recherches.

Mes premières pensées vont naturellement aux personnes qui me sont les plus chères. J'aimerais donc dire merci à mes parents, qui depuis toujours ont accepté mes choix de parcours sans jamais les contester et, surtout, ont tout mis en œuvre pour que je puisse suivre mon chemin dans des conditions favorables. J'aimerais également saluer l'énorme soutien de Jérôme. Il a su accepter et comprendre les tourments dans lesquels nous plonge un travail de recherche. Son attention, son bon sens quand il s'agit d'aborder les problèmes et son bon tempérament m'ont nettement facilité la vie pendant ces quatre années et m'ont servi de point d'équilibre pour maintenir le cap au cours des moments les plus difficiles.

D'un point de vue scientifique, c'est très sincèrement que je remercie Rudolph Sock d'avoir dirigé ce travail, mais principalement pour l'autonomie scientifique qu'il m'a accordée. L'acquisition du langage n'est pas l'intérêt central de l'Institut de Phonétique de Strasbourg, mais il a su accepter le fait que j'y trouvais mon compte. Tous les directeurs n'ont pas cette bienveillance, alors je lui renouvelle mes remerciements. Je tiens également à témoigner ma reconnaissance à Pascal Perrier, qui a co-encadré ce travail. Ce thème de recherche, lui revient un peu, car l'idée initiale vient de lui. Dans mon entêtement à poursuivre en acquisition du langage, il a su manifester un vif intérêt et s'est pleinement investi. Il m'a fait confiance et m'a accompagnée dans cette recherche, plus qu'il ne peut l'imaginer. J'ai souvent protesté contre sa trop grande exigence, mais pour dire la vérité, je le remercie maintenant pour sa rigueur et ses critiques toujours très pertinentes et constructives. Une autre personne a été décisive dans cette recherche : Rafael Laboissière. Sans lui, la plus grosse partie de ce projet n'aurait jamais pu être réalisée. C'est un après-midi de mi-septembre 2004 que tout a commencé autour d'une présentation poster à Lubmin. Je

défendais mes intentions de vérifier, sur le plan articulatoire, la théorie de MacNeilage. Je ne savais pas encore véritablement comment procéder à l'acquisition de données cinématiques chez le bébé. De son côté, Rafael envisageait depuis longtemps de travailler sur ce paradigme en enregistrant les déplacements mandibulaires de bébés avec son Optotrak. C'est ainsi qu'il me proposa, dans la plus grande simplicité, la collaboration qui me permettrait de mener à bien ce projet de recherche. Je le remercie également pour son dévouement. Il a en effet géré toute la programmation que demandaient l'utilisation et l'exploitation des données Optotrak. Pour moi, « programmation » sonnait comme un mot assez bizarre, qui m'aurait causé bien des problèmes s'il n'en avait pas maîtrisé toutes les astuces.

Je remercie vivement les autres membres du jury, pour avoir donné de leur temps en acceptant de lire et d'évaluer ce travail. Un grand merci aux rapporteurs, Mme le Professeur Sophie Wauquier et M. le Professeur Noël Nguyen ainsi qu'au président du jury, M. le Professeur Jean-Pierre Zerling.

Ma plus profonde gratitude s'adresse aux bébés qui ont participé à cette étude tant du côté français que du côté allemand, ainsi qu'à leurs parents. Je remercie donc Pierre, Robin, Pauline : mes locuteurs français. Une grande complicité s'était installée au fil du temps avec ces petits bouts de chou. Quant à leurs parents, je dois dire que c'est un grand honneur pour moi que la confiance qu'ils m'ont accordée. Je tiens également à remercier Muriel Peteuil, la directrice de la crèche qui m'a accueillie. Dès notre premier échange, elle s'est aussitôt sentie très intéressée et concernée par la recherche que j'allais mener et s'est directement impliquée dans notre projet en se chargeant elle-même du recrutement des sujets. Je remercie aussi tout le personnel de cette crèche qui, fortement curieux de ma démarche, a cherché à m'aider de son mieux en m'informant des évolutions hebdomadaires qu'il repérait chez mes différents sujets. Les assistantes maternelles se sont vraiment montrées formidables et ont su guider mes acquisitions en m'informant des jeux susceptibles de faire réagir les bébés que j'enregistrais. Un grand merci à l'ensemble de la crèche « Belin » de Strasbourg !

Je ne nommerai pas les 36 locuteurs allemands (27 sujets et 9 pilotes), mais je les remercie bien fort ainsi que leurs parents. Je dois dire que j'ai été fort impressionnée de l'engouement que les mamans et les papas manifestaient pour la recherche.

Je n'oublie pas la structure Max Planck et surtout la plateforme « BabyLab » qui nous a gracieusement prêté sa base de données recensant les locuteurs disponibles. Je remercie tout particulièrement Martha et Julia qui se sont chargées du recrutement, d'organiser avec un grand professionnalisme le planning de cette longue expérience et du pilote qui l'a précédée, et d'accueillir les sujets les jours de manip. Mes remerciements s'adressent aussi à Arturo, qui a su gérer avec brio le système informatique nécessaire à notre investigation. Le moindre souci qui aurait pu paraître insurmontable à bon nombre d'entre nous semblait un simple jeu d'enfants pour lui. Je tiens également à remercier Marcello, notre photographe attitré.

Je remercie l'ensemble des membres de l'Institut de Phonétique de Strasbourg, permanents et non permanents, qui m'ont fait partager leurs connaissances et grâce à qui j'ai pu m'intégrer pleinement dans cette université en participant à des colloques, en organisant des Journées d'Etudes, en enseignant… Je n'ai pas fait mes débuts dans ce laboratoire, mais malgré cela toutes les chances de mener à bien cette recherche m'ont été offertes dès mon arrivée en 2002. Je remercie bien sûr les relecteurs de dernière minute, Cyril Dubois et en particulier Fabrice Marsac. On pense souvent que les coquilles n'entacheront pas notre travail. Finalement, notre assurance évolue assez vite en incertitude lorsque l'heure du dépôt se fait proche. Le pire c'est qu'il en reste ! Je tiens également à remercier Kofi Adu Manyah pour les corrections qu'il a pu apporter à mon anglais parfois hasardeux.

Je n'oublie pas les gens de l'ICP qui ont bien volontiers accepté mes différentes visites. Je remercie en particulier Jean-Luc Schwartz qui, en tant que directeur de l'ICP, a autorisé ma collaboration avec ce laboratoire et a manifesté un certain intérêt pour l'évolution de mes recherches. Je remercie également Louis-Jean Boé pour s'être si gentiment investi dans les dernières semaines en se proposant de réaliser certaines simulations à l'aide de son modèle. Il m'a évité de perdre de trop de temps au moment où j'en manquais le plus. Je tiens enfin à dire merci à Virginie et Amélie pour m'avoir fait partager certaines informations et références bibliographiques.

Je remercie bien entendu mes trois amis phonéticiens, Johanna, Vincent et Cyril. Malgré la distance, Johanna a maintenu ses témoignages d'amitié en continuant de me rendre bien des services quand il me manquait une référence ou lorsqu'un signal devenait problématique. Vincent, lui, a facilité mes premiers pas en Phonétique : de là une amitié a commencé, mais je le remercie surtout pour ses encouragements lors de nos quelques retrouvailles. Cyril, mon camarade de galère, ami de tous les jours, Monsieur services à toute heure … J'aurais trop de choses à saluer, je m'en tiendrai à ces quelques mots « merci et à charge de revanche... ». Je n'oublie pas les linguistes de la bande, Stéphanie et Sébastien. Je dois dire que les franches parties de rigolade partagées avec Stéphanie m'ont souvent servi d'exutoire dans les moments de doute. Je suis très heureuse d'avoir croisé son chemin et je la remercie sincèrement de s'être conduite en véritable amie, de m'avoir épaulée dans les périodes de crise. Sébastien, plus discret, a su lui aussi témoigner de son amitié à travers ses services, ses paroles réconfortantes et le partage d'informations « doctorales ».

J'arrive enfin aux personnes qui pensent sans doute être totalement extérieures à ce travail. Ayant déjà remercié mes parents et Jérôme, il me reste à remercier mes nombreux amis Saint-Aubinois. Je ne les citerai pas, mais ils se reconnaîtront si un jour l'occasion les amenait à lire ces quelques lignes. Leur joie de vivre, leur façon d'aborder la réalité, et finalement leur simplicité m'ont souvent permis de repartir du bon pied lors de mes nombreux week-ends jurassiens.

Pour terminer, j'aimerais dire ma reconnaissance à Madame Gabrielle Konopczynsky, qui m'a initiée aux principes de la phonétique et sans qui je ne serais pas à même de rendre ce travail aujourd'hui.

J'espère n'oublier personne, et si jamais tel était le cas, j'espère de tout cœur que les personnes concernées ne m'en tiendront pas rigueur.

AVANT-PROPOS

J'aurais tendance à vouloir commencer cet avant-propos de la même manière que de nombreux autres ont pu le faire avant moi, c'est-à-dire en avouant qu'il s'agit encore d'un travail de recherche sur l'acquisition du langage. Or, je préfère m'en tenir au fait que le processus d'évolution du langage est un sujet passionnant, inépuisable qui a à son actif un nombre incroyable de travaux et qui continuera à alimenter un nombre incroyable de travaux. J'ose néanmoins espérer que, malgré l'abondance des recherches existantes, j'ai pu aborder sous un angle quelque peu novateur ce phénomène développemental et modestement contribuer à en enrichir notre compréhension.

Ce travail est né du rapprochement de deux instituts, l'IPS (Institut de Phonétique de Strasbourg) et l'ICP (Institut de la Communication Parlée) désormais connu sous le nom de Gipsa-lab. Il nous a donc fallu allier les compétences des sciences et des sciences humaines. Même si ce parcours n'a pas toujours été facile, il n'en reste pas moins une aventure formidable, très enrichissante que nous espérons faire partager.

Tout au long de ces années, nous avons essayé d'accorder à chacune des parties de ce travail une attention équivalente, mais lorsque l'aboutissement d'une thèse approche, on s'aperçoit que, malgré notre bonne volonté, d'autres éléments auraient pu être analysés ou certains articles mentionnés. À ce sujet, on s'aperçoit que la partie théorique que nous avions au départ essayé de soigner n'est pas aussi exhaustive que nous l'attendions. Malheureusement certains travaux nous ont échappé et la richesse de la littérature est telle que nous avons dû en sélectionner une petite partie seulement. Nous prions les spécialistes de bien vouloir nous pardonner ces manques.

Toujours dans la catégorie « tout est à refaire », nous prions d'excuser le caractère non uniforme du nombre de sujets exploités dans chacune des deux expériences. Les productions de deux sujets ont été étudiées dans l'analyse acoustique alors que vingt-sept l'ont été dans la l'analyse cinématique. Nous mettons cela sur le compte du type d'investigation menée. La première, étant longitudinale, ne nous a pas permis de gérer un nombre important de sujets et c'est d'ailleurs pour cette raison que nous abordons les résultats avec précaution et signalons des tendances plutôt que des évidences. En revanche, la seconde analyse, qui se veut transversale, justifie l'augmentation du nombre de jeunes locuteurs, d'autant plus que l'expérience dépendait d'une structure, le Max Planck Institute (Munich), familiarisée avec le recrutement des bébés.

Enfin, même si l'on a coutume de parler du cheminement solitaire d'un doctorant, je dois mentionner la dette que j'ai envers plusieurs personnes qui ont eu la gentillesse de me faire profiter de leur point de vue de façon à faire évoluer mon raisonnement. Il me semble que cette thèse est plutôt le résultat de réflexions collectives généreusement orientées par Rudolph Sock, Pascal Perrier et Rafael Laboissière.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I

INTRODUCTION 15

1.1. Les principes guides 17
1.2. Organisation du travail 19

Partie I

CHAPITRE II

LE BABILLAGE : UNE PÉRIODE TRANSITOIRE 25

2.0. Introduction 25
2.1. Qu'est-ce que le babillage ? 25
2.1.1. Un geste simple 26
2.1.1.1. Une oscillation mandibulaire 26
2.1.1.1.1. Le babillage redupliqué 26
2.1.1.1.2. Le babillage varié 28
2.1.1.2. Une oscillation mandibulaire rythmique 28
2.1.1.3. Une oscillation mandibulaire dominante 29
2.1.1.3.1. Inertie des autres articulateurs 29
2.1.1.3.2. Des patrons de cooccurrences 31
2.1.2. Un substrat cérébro-moteur 32
2.1.3. Un répertoire limité 33
2.1.3.1. Les syllabes 34
2.1.3.2. Les sons 35
2.1.3.3. Le caractère universel 35
2.1.4. En résumé 36
2.2. De l'acte moteur biologique au langage 36
2.2.1. Influence environnementale 37
2.2.1.1. Sur le système de perception 37
2.2.1.1.1. Un apprentissage prénatal 37
2.2.1.1.2. À la naissance : un potentiel de discrimination universelle 39
2.2.1.1.3. La structuration de l'espace perceptuel 40
2.2.1.2. Sur le système de production 41
2.2.1.2.1. De la perception à l'action 41
2.2.1.2.2. Aménagements dans le système de production 41
2.2.2. Emergence d'un contrôle articulatoire 44
2.2.2.1. Indépendance langue-mandibule 44
2.2.2.1.1. Un autre patron LC 44
2.2.2.1.2. Des gestes différentiels 45

2.2.2.2. Indépendance lèvres-mandibule 46
2.2.2.3. Un développement cyclique 47
2.2.3. En résumé 48
2.3. Conclusion 48

CHAPITRE III

LE RÔLE DÉTERMINANT DE LA MANDIBULE 53

3.0. Introduction 53
3.1. Le mouvement mandibulaire : une fonction et un contour primaires 53
3.1.1. Le lien entre le cycle d'ingestion et la parole 54
3.1.2. Les gestes visuo-faciaux de communication 55
3.1.3. Un cycle biphasique sous-jacent 56
3.1.3.1. Qu'est-ce qu'un cycle biphasique ? 56
3.1.3.2. Plus exactement, un cycle biphasique modulé 57
3.1.3.2.1. La respiration 57
3.1.3.2.2. La phonation 57
3.1.3.2.3. L'articulation 58
3.1.4. En résumé 58
3.2. Son rôle dans l'organisation articulatoire 58
3.2.1. Une structure rigide : un support articulatoire 59
3.2.1.1. Anatomie d'une structure rigide 59
3.2.1.2. Déplacements et engagements musculaires 60
3.2.1.3. Implication articulatoire 63
3.2.1.3.1. Le plancher lingual 63
3.2.1.3.2. La mandibule influence aussi le déplacement de la lèvre inférieure 64
3.2.1.3.3. Et le vélum ? 65
3.2.2. Un contrôle moteur précoce 66
3.2.3. En résumé 67
3.3. Un générateur de rythme 68
3.3.1. Une fréquence oscillatoire 68
3.3.1.1. Les actions de non-parole 68
3.3.1.2. La parole 68
3.3.2. Le timing syllabique 70
3.3.2.1. Le nombre de syllabes par seconde (syll/s) 70
3.3.2.2. La durée syllabique 71
3.3.3. Et si le cycle n'était pas l'équivalent absolu de la syllabe… 71
3.3.4. En résumé 72
3.4. Conclusion 72

CHAPITRE IV

L'EXISTENCE DU SEGMENT 77

4.0. Introduction 77
4.1. La syllabe 77
4.1.1. Sur le plan de la production 78
4.1.1.1. La structuration de l'output 78
4.1.1.2. Des pistes articulatoires 79
4.1.1.2.1. L'action motrice 79
4.1.1.2.2. Sous l'influence de la coarticulation 80

4.1.1.2.2.1. D'un point de vue acoustique : la théorie et les équations du locus.. 80
4.1.1.2.2.2. L'anticipation gestuelle ... 81
4.1.1.2.2.3. Sur l'échelle du temps ... 82
4.1.2. Au cœur de la perception ... 82
4.1.2.1. Chez le jeune auditeur ... 83
4.1.2.2. Chez l'auditeur mature ... 84
4.1.3. Une unité phonologique ... 84
4.1.3.1. La combinatoire ... 84
4.1.3.2. Application suprasegmentale ... 85
4.1.4. En résumé ... 85
4.2. Le segment ... 86
4.2.1. Qu'est-ce qu'un segment ? ... 86
4.2.2. Une unité distinctive ... 87
4.2.3. Une unité minimale de production ? ... 87
4.2.4. Perception catégorielle ... 88
4.2.5. En résumé ... 89
4.3. Conclusion ... 90

Partie II

CHAPITRE V

DÉTECTER L'ÉMERGENCE DU CONTRÔLE ARTICULATOIRE DANS LE SIGNAL ACOUSTIQUE : EXPÉRIENCE 1 ... 95

5.0. Introduction ... 95
5.1. Acquisition des données ... 96
5.1.1. Les sujets ... 96
5.1.2. Protocole d'acquisition ... 96
5.1.3. Le corpus ... 97
5.2. Traitement des données ... 97
5.2.1. Etablissement des cycles ... 97
5.2.2. Protocole de segmentation ... 100
5.2.3. Fiabilité ... 102
5.3. Exploitation des données ... 102
5.3.1. Etablissement des tranches d'âges ... 103
5.3.2. Analyse de la durée ... 104
5.3.2.1. Le cycle ... 104
5.3.2.2. La proportion vocalique au sein du cycle ... 104
5.3.2.3. Le rapport V/C ... 105
5.3.3. Les occurrences ... 105
5.4. Conclusion ... 106

CHAPITRE VI

LA VARIATION TEMPORELLE COMME INDICE DE CONTRÔLE ... 109

6.0. Introduction ... 109
6.1. L'évolution temporelle des cycles ... 110
6.1.1. Sujet 1 (Pierre) ... 110
6.1.1.1. Etude du cycle 2 ... 110

6.1.1.2. Etude du cycle 3 112
6.1.1.3. En résumé 113
6.1.2. Sujet 2 (Robin) 114
6.1.2.1. Etude du cycle 2 114
6.1.2.2. Etude du cycle 3 115
6.1.2.3. En résumé 117
6.1.3. Les caractéristiques communes de l'émergence du contrôle 117
6.1.3.1. Comparaison du cycle 2 118
6.1.3.1.1. Divergences inter-sujets 118
6.1.3.1.2. Convergences inter-sujets 118
6.1.3.2. Comparaison du cycle 3 118
6.1.3.2.1. Divergences inter-sujets 118
6.1.3.2.2. Convergences inter-sujets 118
6.1.3.3. En résumé 119
6.1.4. Synthèse 119
6.2. Progression de la voyelle au sein des cycles 120
6.2.1. Sujet 1 (Pierre) 121
6.2.1.1. Etude du cycle 2 121
6.2.1.2. Etude du cycle 3 123
6.2.1.3. En résumé 124
6.2.2. Sujet 2 (Robin) 124
6.2.2.1. Etude du cycle 2 125
6.2.2.2. Etude du cycle 3 126
6.2.2.3. En résumé 127
6.2.3. Les caractéristiques communes de l'émergence du contrôle 128
6.2.3.1. Comparaison du cycle 2 128
6.2.3.1.1. Divergences inter-sujets 128
6.2.3.1.2. Convergences inter-sujets 128
6.2.3.2. Comparaison du cycle 3 128
6.2.3.2.1. Divergences inter-sujets 128
6.2.3.2.2. Convergences inter-sujets 129
6.2.4. Synthèse 129
6.3. Comportements vocaliques et consonantiques et rapport V/C 129
6.3.1. Sujet 1 (Pierre) 130
6.3.1.1. Etude du cycle 2 130
6.3.1.2. Etude du cycle 3 132
6.3.1.3. En résumé 134
6.3.2. Sujet 2 (Robin) 134
6.3.2.1. Etude du cycle 2 135
6.3.2.2. Etude du cycle 3 137
6.3.2.3. En résumé 139
6.3.3. Les caractéristiques communes de l'émergence du contrôle 139
6.3.3.1. Comparaison du cycle 2 140
6.3.3.1.1. Divergences inter-sujets 140
6.3.3.1.2. Convergences inter-sujets 140
6.3.3.2. Comparaison du cycle 3 140
6.3.3.2.1. Divergences inter-sujets 140
6.3.3.2.2. Convergences inter-sujets 140
6.3.3.3. En résumé 140

6.3.4. Synthèse 141
6.4. Bilan 141
6.4.1. Entre perturbation et contrôle articulatoire 142
6.4.1.1. Emergence d'une forme de contrôle articulatoire : émergence du segment . 142
6.4.1.2. Acquisition des patrons matures 142
6.4.1.2.1. Précocité du patron mandibulaire 142
6.4.1.2.2. Mimétisme et influence de l'environnement linguistique 143
6.4.1.2.3. Impact de l'accroissement lexical 144
6.4.2. De la variabilité à l'uniformité 144
6.4.2.1. Hétérogénéité précoce 144
6.4.2.2. Vers la convergence 145
6.5. Conclusion 145
6.6. Les perspectives 146

Partie III

CHAPITRE VII

DÉTECTER L'ÉMERGENCE DU CONTRÔLE ARTICULATOIRE DANS LA DISSOCIATION DES MOUVEMENTS LANGUE-MANDIBULE : EXPÉRIENCE 2 153

7.0. Introduction 153
7.1. Acquisition des données 154
7.1.1. Les sujets 154
7.1.1.1. Le recrutement 154
7.1.1.2. L'âge des sujets 155
7.1.1.3. Etablissement de catégories d'âge ou étude linéaire ? 156
7.1.2. Protocole d'acquisition 157
7.1.2.1. Le système d'acquisition 158
7.1.2.2. Le pilote 158
7.1.2.3. L'expérience définitive 160
7.1.3. Le corpus 161
7.2. Traitement des données 162
7.2.1. Le découpage des séquences pertinentes 162
7.2.2. Le protocole de segmentation 163
7.2.2.1. Paramétrage de Praat® 163
7.2.2.2. Suivi de F2 164
7.2.2.3. Le marquage des trajectoires formantiques et la sélection des mouvements simples langue-mandibule 165
7.2.2.4. Echantillon final 169
7.3. Exploitation des données 170
7.3.1. Comment rendre compte de la dissociation langue-mandibule ? 171
7.3.1.1. L'amplitude des déplacements 171
7.3.1.2. Le rapport « Delta F2/Delta mandibule » 171
7.3.2. Impact de la segmentation sur nos résultats 172
7.4. Conclusion 172

CHAPITRE VIII

LE DÉVELOPPEMENT DE L'INDÉPENDANCE DES DÉPLACEMENTS LINGUAUX 177

8.0. Introduction 177
8.1. Evolution de la corrélation des gestes langue-mandibule 178
8.1.1. Le rapport « Delta F2/Delta mandibule » 178
8.1.2. La progression du rapport entre 8 mois et 12 mois 179
8.1.3. Synthèse 181
8.2. Simulation de l'évolution de F2 à l'aide du modèle VLAM 182
8.2.1. L'exemple de la voyelle [a] 183
8.2.2. Résultats généraux 184
8.2.3. Synthèse 185
8.3. Bilan 186
8.3.1. Le babillage, stade de l'émergence du contenu 186
8.3.1.1. Des habiletés motrices précoces limitées 186
8.3.1.2. L'émergence du développement 186
8.3.1.3. L'impact de la langue maternelle 187
8.3.2. Un affinement nécessaire 187
8.4. Conclusion 188
8.5. Perspectives 188

CHAPITRE IX

SYNTHÈSE GÉNÉRALE 193

9.0. Introduction 193
9.1. De la variabilité à la stabilisation 194
9.1.1 De la variabilité… 194
9.1.2. …À la stabilisation 194
9.2. De la syllabe au segment 195
9.2.1. La syllabe unité de production précoce 195
9.2.2. L'émergence du segment 195
9.3. De la corrélation à l'indépendance articulatoire 196
9.3.1. La dissociation des mouvements langue-mandibule 196
9.3.2. L'incidence de la croissance du conduit vocal 197
9.3.3. L'influence de la langue maternelle sur nos résultats 197
9.4. Conclusion 198

CHAPITRE X

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES 199

BIBLIOGRAPHIE 203

INDEX DES AUTEURS 227

INDEX DES TABLEAUX 231

INDEX DES FIGURES 233

INDEX DES NOTIONS 235

ANNEXES 237

Annexe 1 : étude du cycle 1 (Expérience 1)
Annexe 2 : procédure administrative de l'expérience 2
Annexe 3 : estimation de la précision de la mesure de F2
Annexe 4 : résultats de la simulation VLAM
Annexe 5 : publications
Annexe 6 : communications

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Le développement du langage intéresse depuis de nombreuses années des domaines de recherche très variés comme la psychologie, la philosophie, les sciences cognitives ou la linguistique.

L'attention de ces disciplines pour ce champ de recherche nous ramène à l'un des débats fondateurs qui confronta, en 1975 à l'abbaye de Royaumont, le psychologue PIAGET au célèbre linguiste CHOMSKY. À l'origine de ce symposium se trouvent deux conceptions bien différentes de l'acquisition du langage par les jeunes enfants.

La première, défendue par PIAGET, s'inscrit dans le mouvement du constructivisme. Selon lui, les capacités cognitives de l'homme ne sont ni totalement innées ni totalement acquises. L'accès au langage serait alors le résultat d'une alliance entre le processus de maturation et l'intelligence sensori-motrice. C'est, par exemple, par le biais de l'exploration sensorielle que l'enfant va découvrir les objets de son environnement et les relations qu'ils entretiennent. Ces principes seraient par extension transposés au langage. Le biologiste Jacques MONOD, lui aussi présent à ce séminaire, s'interroge alors sur les possibilités de développement langagier chez l'enfant quadriplégique. Si l'on suit le cheminement piagétien, le fait que l'expérience sensori-motrice constitue l'une des bases principales du développement du langage semble mettre à mal l'hypothèse que ces enfants puissent acquérir cette faculté. C'est à ce moment qu'intervient Bärbel INHELDER, proche collaboratrice de PIAGET, en précisant que l'intelligence sensori-motrice pourrait emprunter uniquement les voies acoustiques et visuelles.

Cette vision n'est pas du tout partagée par CHOMSKY qui aborde le langage sous l'angle de l'innéisme. La capacité de langage serait « génétiquement déterminée ». Il existerait des prédispositions cognitives qui expliqueraient les capacités linguistiques universelles d'un jeune locuteur à apprendre sa langue. Selon lui, tous les enfants du monde sont capables d'établir la relation qui existe entre les mots ou les groupes de mots de leur langue pour former des phrases grammaticalement acceptables. Ainsi, si le jeune locuteur peut intégrer les liens qui unissent les mots de sa langue, c'est qu'il active une capacité linguistique préexistante. La conception de CHOMSKY est alors soutenue par le philosophe FODOR qui participe également au débat. La compétence linguistique serait préalable à

l'apprentissage de la langue, parce qu'elle met en œuvre un ensemble de règles logiques qui commande la majorité des fonctions mentales.

Qui a tort ? Qui a raison ? Notre objectif n'est pas de prendre part à ce débat, mais de montrer que la description du processus d'acquisition du langage ne fait pas consensus et que les partis pris peuvent radicalement changer d'une discipline à une autre. Nous avons fait le pari périlleux d'essayer de réconcilier un temps la psychologie et la linguistique en tentant de vérifier linguistiquement une théorie issue de la psychologie. Nous nous inscrivons plus spécialement dans une démarche phonétique visant les domaines acoustique et articulatoire.

La théorie *« Frame then Content »* de MACNEILAGE (1998) a été le point de départ de cette recherche. Cette théorie défend le fait qu'il existe un mouvement mandibulaire naturel de base duquel devra émerger un contrôle spécifique complexe pour la fonction de parole. Les célèbres « bababa » du babillage (6-12 mois) seraient alors produits sur le rythme intrinsèque de l'oscillation mandibulaire et non sur un rythme spécifiquement adapté pour le langage. À ce stade du processus d'acquisition du langage, tout est donc à construire !

La question principale qui a suscité notre intérêt depuis plusieurs années est la suivante : comment passe-t-on du geste biologique mandibulaire à la parole ? Par quels moyens construit-on quelque chose destiné à une fonction différente à partir d'un patron profondément ancré physiologiquement ? En d'autres termes, comment le mouvement mandibulaire va-t-il se structurer pour la fonction de parole ?

D'un autre côté, l'oscillation mandibulaire apparaît dans cette théorie comme le cadre (*« the frame »*) de la parole sur lequel viendrait se surimposer un contenu (*« a content »*). Au stade précoce du babillage, seul le cadre serait activé au cours des productions. Une forte solidarité unirait alors les deux phases de sorte que le cycle résultant fonctionnerait comme une unité articulatoire. De la réalisation du cadre résulterait alors celle du patron syllabique, la phase de fermeture buccale impliquerait la configuration d'une consonne occlusive bilabiale et la phase d'ouverture impliquerait le patron de résonance d'une voyelle. Cela signifierait par conséquent qu'au stade du babillage, une unité plus petite que la syllabe, c'est-à-dire le segment, serait absente. Notre second intérêt est donc de voir comment les autres articulateurs vont entrer en mouvement et de cette manière laisser place à l'apprentissage segmental. Quand et comment les composantes consonantique et vocalique vont-elles être indépendamment contrôlées ? Mais surtout à quel stade les articulateurs portés vont-ils être indépendamment contrôlés ?

Le babillage est donc la période développementale que nous avons choisie pour évaluer l'évolution du contrôle articulatoire. C'est une période très intéressante qui établit la transition entre la période prélinguistique et la période linguistique. En nous ralliant à la théorie de MACNEILAGE, nous voyons le babillage comme physiologiquement contraint alors que GREGOIRE (1937) et JAKOBSON (1969), en ont une vision plutôt différente. On assisterait au cours du babillage à la production de sons très variés et cette faculté disparaîtrait quand le bébé passe au stade linguistique des premiers mots.

> « Les véritables débuts du langage enfantin sont précédés – cela est bien connu – par ce qu'il est convenu d'appeler la période du babil, au cours de laquelle on assiste chez de nombreux enfants à la production d'une étonnante quantité de sons les plus divers. Un enfant est capable d'articuler dans son babil une somme de sons qu'on ne trouve jamais réunis à la fois dans une seule langue… D'après les observateurs formés à la linguistique et comme le résume fort bien GREGOIRE (1937, p. 101),

> l'enfant est au sommet de sa période de babil, « capable de produire tous les sons imaginables » ». (JAKOBSON 1969, p. 24)

En somme, notre travail s'inscrit dans le cadre d'une étude sur le développement du contrôle articulatoire au stade du babillage à travers l'observation de données acoustiques et articulatoires.

1.1. Les principes guides

En 1990, ABRY *et al.* ont rentabilisé cinq postulats méthodologiques applicables au domaine de la recherche sur la parole. Le principe guide numéro 1 implique le choix d'une différence sémiotique, le principe guide numéro 2 établit le ou les domaine(s) d'investigation, le principe guide numéro 3 sous-tend l'évaluation de la résistivité d'un patron, le principe guide numéro 4 amène la vérification du maintien des oppositions et, enfin, le principe guide numéro 5 vise à rationaliser les trajectoires préférentielles.

Ces principes guides, souvent suivis (SOCK 1998, ROY 2004), participent à l'élaboration d'une démarche scientifique rigoureuse. Il nous a donc semblé que poser de tels fondements méthodologiques nous permettrait de définir clairement notre travail. Cependant, ils ont été conçus pour des travaux sur la parole mature dont les données peuvent être activement contrôlées. Ils se sont avérés difficilement applicables à nos travaux sur l'acquisition du langage. Pour cela, nous avons choisi de les adapter à notre recherche.

a. Principe guide numéro 1 : spécifier le champ de la recherche

Ce principe guide vise à déterminer le plus précisément possible le phénomène de parole que nous voulons observer et le type de sujets visés.

Le babillage succède aux vocalisations et précède les premiers mots, JAKOBSON l'avait déjà clairement énoncé. Les vocalisations sont principalement des émissions au cours desquelles le bébé fait résonner sa voix alors que les premiers mots sont le résultat d'une forme de structuration. L'intervalle qui sépare ces deux périodes semble donc abriter un certain nombre de développements articulatoires.

Nous avons ainsi choisi de nous intéresser à l'émergence du contrôle articulatoire et segmental, que nous considérons liés, au stade du babillage. Notre analyse couvrira une tranche d'âge allant de 8 mois à 14 mois qui s'étend de la fin du babillage canonique jusqu'aux premiers mots. 2 sujets français et 27 sujets allemands ont été retenus pour deux types d'investigation, l'une longitudinale et l'autre transversale, ayant des objectifs distincts :

1. L'observation de la mise en place d'une activité mandibulaire spécifique à la parole et celle du contrôle indépendant de la phase d'ouverture et de fermeture au sein de ce cycle.
2. L'observation du contrôle indépendant des mouvements de la mâchoire inférieure et de la langue.

b. Principe guide numéro 2 : déterminer le ou les domaine(s) d'investigation favorable(s)

Deux domaines d'investigation semblent tout à fait propices à ces études. Le domaine acoustique favorisera la récupération d'indices articulatoires dans le signal lui-même, alors que le point de vue cinématique permettra de chercher l'évolution directement dans le mouvement.

Ce type d'investigation va nous permettre de nous affranchir des problèmes de transcription trop souvent rencontrés dans les études sur l'acquisition du langage. La différence de langue maternelle entre les locuteurs n'est donc pas un obstacle, étant donné que les facteurs prosodiques ou phonologiques n'interviennent pas. On peut cependant se demander si à 12 ou 14 mois, le répertoire de la langue maternelle n'influence pas certains comportements articulatoires. Nous montrerons que l'apparition des premiers mots, est certes une étape importante du développement articulatoire du langage, mais que comme le babillage, les premiers mots possèdent des caractéristiques articulatoires et phonologiques universelles.

c. Principe guide numéro 3 : affiner nos hypothèses de travail

Notre première hypothèse est qu'un contrôle articulatoire complexe pour des besoins de parole apparaîtrait quand le bébé serait en mesure de se libérer des contraintes temporelles imposées par la rythmicité intrinsèque de l'oscillation mandibulaire naturelle. Ainsi, l'émergence du contrôle articulatoire passerait par une perturbation temporelle du cycle mandibulaire et de ses phases. Cependant, la littérature fait également état d'une stabilisation temporelle des cibles avec l'âge (SHARKEY & FOLKINS 1985, SMITH 1995…). Par conséquent, nous supposons que le processus d'acquisition de la parole passerait d'abord par une phase d'exploration au cours de laquelle le bébé rompt avec la régularité initiale en faisant varier la durée de ses productions ; puis par une phase de reconstruction temporelle au cours de laquelle le timing des productions va s'affiner.

Nous croyons que la voyelle pourrait alors être la première composante à subir l'influence de la variation temporelle pour des raisons articulatoires et acoustiques. La voyelle se qualifie par une configuration ouverte de la cavité buccale, de par cette configuration l'air expiré s'écoule librement et les possibilités de variation temporelle n'en sont qu'amplifiées. Par ailleurs, si l'on considère la dimension acoustique de la parole, les éléments vocaliques en constituent l'essentiel des proéminences sonores et il serait par conséquent plus aisé de faire varier dans le temps ce qui est le plus audible.

Notre seconde hypothèse suppose que le contrôle articulatoire passerait par la dissociation des déplacements des différents articulateurs. Les contraintes motrices, reposant sur la dominance du cadre mandibulaire et le principe de l'inertie de la langue au stade du babillage, ont conduit DAVIS et MACNEILAGE (1994) et MACNEILAGE (1998) à défendre la prépondérance de trois modèles d'association CV. Il semblerait donc qu'à un stade précoce, le cycle mandibulaire n'associe aucune autre activité neuromusculaire contrôlée. Aussi peut-on projeter que l'accès aux schémas articulatoires matures engage la désolidarisation des mouvements articulatoires au sein d'un cycle. Nous avons choisi d'observer en particulier les mouvements langue-mandibule. Par conséquent, le bébé devrait, avec l'âge, être capable de faire émerger des mouvements de langue qui ne seront plus étroitement corrélés au mouvement de la mandibule.

d. Principe guide numéro 4 : définir les enjeux de l'investigation

Notre travail vise trois enjeux majeurs.

Tout d'abord, nous avons tenté d'aménager un protocole expérimental suffisamment solide pour qu'il puisse être réutilisé dans d'autres études sur l'acquisition du langage.

Notre deuxième intention est aussi celle d'apporter des données concrètes à la théorie de MACNEILAGE. Cette hypothèse, qui a vu le jour grâce aux nombreuses recherches de

l'auteur, mais aussi celles de Barbara DAVIS, repose, pour l'essentiel, sur des travaux de transcriptions. Nous avons souhaité un dispositif qui nous permettrait d'analyser les productions de bébés en nous affranchissant d'un tel travail.

Enfin, le dernier enjeu est celui de contribuer à la compréhension des trajectoires développementales qui mènent aux mécanismes de productions adultes. En d'autres termes, nous tenterons de déterminer quelles stratégies les très jeunes locuteurs mettent en place pour accéder à la parole intelligible.

1.2. Organisation du travail

La structure de ce travail s'articule autour de trois grandes parties, elles-mêmes scindées en 8 chapitres. La première partie est une partie théorique consacrée à l'état de la question, la deuxième partie s'intéresse à l'expérience acoustique de notre investigation et la troisième partie à notre expérience articulatoire.

Dans la partie I, nous essayons de faire la revue théorique des trois principaux points clés de notre recherche.

- Le *chapitre II* propose un état des lieux de la période développementale à laquelle nous nous sommes intéressée : le babillage. Dans ce chapitre, nous cherchons à définir les contraintes physiologiques pesant sur le système de productions précoces, ainsi qu'à expliquer les différentes influences qui favoriseront la progression vers la parole mature.
- Par ailleurs, le mouvement mandibulaire domine les réalisations de cette période, nous l'avons mentionné un peu plus haut. Il nous est donc paru important d'accorder le *chapitre III* à cet articulateur si important pour la production de la parole.
- Enfin, nous nous plaçons dans une conception segmentale de la parole. Nous avons, par conséquent, choisi de faire état des controverses et des travaux qui démontrent une telle existence dans le *chapitre IV*.

La partie II s'article autour de notre première expérience sous son aspect méthodologique et ses résultats. À ce moment, nous ne disposions que de la possibilité d'acquérir des données acoustiques pour mener à bien nos objectifs.

- Le *chapitre V* pose les difficultés auxquelles notre investigation s'est confrontée, mais surtout il lève le voile sur le protocole expérimental que nous avons mis en place. Nous y exposons la manière dont les enregistrements longitudinaux se sont déroulés, quels sujets ont été retenus, mais aussi comment les signaux ont été analysés, c'est-à-dire comment nous avons procédé au repérage des cycles et de leurs composantes de façon à retrouver dans le signal acoustique les indices articulatoires pertinents pour notre démarche qui reposait sur l'idée que le contrôle segmental émergeait du contrôle articulatoire.
- Le *chapitre VI* est consacré aux résultats de cette étude acoustique ainsi qu'aux différents problèmes qui nous ont conduite à mener une seconde investigation.

La partie III s'attache à notre seconde expérience consistant d'une part à observer l'évolution de la fréquence oscillatoire de la mandibule avec l'âge, grâce à l'observation de l'organisation spectrale de cet articulateur, et d'autre part à détecter l'émergence du contrôle

articulatoire à travers la corrélation des mouvements langue-mandibule. Deux chapitres lui sont également consacrés.

- Nous révélons, dans le *chapitre VII*, la manière dont les sujets ont été recrutés, comment le protocole d'enregistrement s'est peu à peu établi, comment et pourquoi les signaux cinématiques et acoustiques ont pu être exploités simultanément...

- Enfin, le *chapitre VIII* met en évidence les résultats obtenus.

- Le *chapitre IX* tend à synthétiser l'ensemble des conclusions obtenues et le chapitre X propose une conclusion à l'ensemble du travail.

PARTIE I

La première partie est essentiellement consacrée à une revue des connaissances relatives à notre sujet de recherche.

Trois chapitres composent cet état de la question :

- *Chapitre II* Le babillage : une période transitoire
- *Chapitre III* Le rôle déterminant de la mandibule
- *Chapitre IV* L'existence du segment

RÉSUMÉ-CHAPITRE II

Le babillage est une période du développement langagier associée à un contrôle moteur pauvre. Les célèbres « bababa… », reconnus à ce stade, sont le résultat du seul engagement mandibulaire. Une telle hypothèse est défendue par la théorie « *Frame then Content* » de MacNeilage. Selon cette théorie, la parole reposerait sur un « cadre » généré par l'alternance des phases d'ouverture et de fermeture de la cavité buccale. Le « contenu » serait alors établi grâce à l'activation des autres articulateurs superposée au cycle mandibulaire. Les productions du babillage dépendraient, par conséquent, d'un cadre dépourvu de contenu.

Ainsi, pour accéder à ce niveau supérieur, le bébé doit apprendre à déplacer indépendamment ses autres articulateurs. Il devra, par exemple, apprendre à coproduire une oscillation mandibulaire et un mouvement lingual dans la dimension antérieure-postérieure. En d'autres termes, l'unité articulatoire initialement formée par le cadre syllabique devra peu à peu se dissocier en ses composantes consonantiques et vocaliques.

L'influence de son environnement linguistique ainsi que les *feedbacks* de ses propres réalisations sont les éléments qui lui permettront d'affiner son système de productions et de développer ses habiletés motrices.

Mots clés : babillage – cadre – contenu – contrôle moteur – mandibule – cooccurrences – environnement linguistique

***
**
*

ABSTRACT-CHAPTER II

Babbling is a stage of the acquisition language process which is associated with lack of motor control. The well-known "bababa…." that we can hear during this period is the result of the single mandibular oscillation. Such a hypothesis is supported by MacNeillage's (1998) "Frame/Content". According to this theory, speech would be based on a "frame", generated by the vocal tract closed-open configuration alternation. "Content" would be established when other articulator displacements are superimposed to this mandibular cycle. Babbling productions would result from a frame devoid of content.

Then, to achieve this superior "Content" level, the baby must learn how to move the other articulators (tongue, lips or velum) independently of the mandible. For example, he must learn how to produce simultaneously a vertical displacement of the mandible and a lingual movement in the anterior-posterior dimension. In other words, the articulatory unity initially formed by the syllabic frame will have to split-up into its consonantal and vocalic components.

The influence on his linguistic environment and feedbacks from his own productions are elements which will allow the baby to refine his production system and develop his motor skills.

Key words: babbling – frame – content – motor control – mandible – cooccurrences – linguistic environment

***
**
*

CHAPITRE II

LE BABILLAGE : UNE PÉRIODE TRANSITOIRE

2.0. Introduction

Le babillage est une période prélinguistique riche en développements, au cours de laquelle les habiletés motrices vont se multiplier et s'affiner. C'est aussi une période partagée entre les limites d'un système de production non mature et la préparation du contrôle articulatoire à venir.

Dans ce premier chapitre, nous chercherons à présenter une revue théorique des caractéristiques développementales de ce stade transitoire. Nous nous attacherons à mettre l'accent sur les contraintes pesant sur les déplacements articulatoires du très jeune locuteur, mais aussi sur les apprentissages qu'il devra peu à peu intégrer pour y échapper. En d'autres termes, nous suivrons une démarche qui nous permettra de focaliser successivement sur les étapes marquant l'évolution d'une action motrice biologiquement déterminée (le babillage) en un geste articulatoire contrôlé qui est partie prenante de la fonction langagière. Ainsi, dans un premier temps, nous définirons ce qu'est le babillage au regard de la théorie de MACNEILAGE (1998), puis nous verrons quels sont les facteurs qui permettront au bébé de progresser vers la parole mature.

2.1. Qu'est-ce que le babillage ?

C'est aux environs de 6 mois qu'un babillage rudimentaire émerge (KERN 2001). Ce babillage primaire se caractérise par l'apparition des premières formes syllabiques, relativement instables, au cours desquelles contoïdes[1] et vocoïdes[2] s'enchaînent. Puis très rapidement, un changement s'opère. D'un babillage rudimentaire, le bébé passe au babillage

---

[1] Les contoïdes sont définis comme des sons s'approchant perceptuellement des consonnes, mais qui n'en partagent pas encore toutes les caractéristiques articulatoires et acoustiques.

[2] De la même manière, les vocoïdes sont des sons auxquels on attribue une valeur perceptive vocalique, sans qu'ils n'en possèdent totalement les propriétés acoustiques et articulatoires.

canonique (BEST 1993, BOYSSON-BARDIES 1996, STOEL-GAMMON 1992 a et b, KERN et LANGUE 2000, KAIL & FAYOL 2000…). Les productions se raffermissent et sont marquées par la prédominance de syllabe C/V le plus souvent redupliquées (MACNEILAGE 1998, DAVIS & MACNEILAGE 1995) et perceptuellement isochrones (KONOPCZYNSKI 1986 a, b, c, DAVIS & MACNEILAGE1995). C'est alors que, vers 10 mois, les combinaisons syllabiques se diversifient malgré une certaine constance du répertoire consonantique et vocalique. En s'installant dans le babillage varié, le bébé abandonnerait le cadre universel du babillage redupliqué et commencerait à élargir son potentiel articulatoire.

Malgré ces évolutions, le babillage reste avant tout un geste simple résultant d'un substrat cérébral, qui contraint le système de productions. Dans cette partie, nous tâcherons d'abord de voir sur quel élément moteur repose ce geste simple. Puis, dans un deuxième temps, nous définirons son origine cérébrale avant de nous attarder sur le répertoire limité qui en résulte.

2.1.1. Un geste simple

La théorie *« Frame then Content »* de MACNEILAGE (1998) donne une explication aux contraintes qui pèsent sur les articulations du babillage, et c'est dans ce cadre théorique que nous avons choisi de nous placer. Selon les arguments défendus par cette hypothèse, les articulations associées à ce stade de l'acquisition du langage seraient le résultat d'une oscillation mandibulaire rythmique et exclusive.

2.1.1.1. Une oscillation mandibulaire

Selon MACNEILAGE (1998), la production de la parole relèverait de l'organisation cadre / contenu (*Frame / Content*). Le premier, condition nécessaire au développement du second, résulterait de l'oscillation mandibulaire : cycle biphasique alternant les phases de fermeture et d'ouverture du tractus vocal. Cette continuité de mouvements, associée au processus de vocalisation, serait alors génératrice de syllabes. La configuration ouverte du conduit vocal stimulerait un patron vocalique et la configuration fermée, activant le processus d'obstruction de l'appareil articulatoire, satisferait un schéma consonantique (occlusif). Le contenu segmental viendrait ainsi se superposer au cadre syllabique et se matérialiserait par la mise en mouvement intentionnelle des autres articulateurs (langue, lèvres), dont la position peut varier d'une phase à l'autre.

Les productions du babillage s'établiraient, quant à elles, sur le seul déplacement vertical de la mandibule (le cadre), de sorte que les éléments constitutifs de la syllabe formeraient une unité articulatoire. En d'autres termes, le cycle mandibulaire fonctionnerait comme le support moteur de la parole et suffirait à l'organisation des productions babillées. Les célèbres « *bababa*… » relèveraient donc de l'utilisation du cadre en l'absence de contenu. On peut alors se demander quels facteurs permettent d'établir la distinction entre le babillage redupliqué et le babillage varié ?

2.1.1.1.1. Le babillage redupliqué

Au stade du babillage canonique, l'influence du mouvement mandibulaire sur le système de production est clairement mise en évidence par la surreprésentation des séquences de type CV, mais surtout de leur tendance à la réduplication. Le babillage réduplqué se caractérise donc par la succession de cycle (ou cadre) mandibulaire (DAVIS & MACNEILAGE 1994, MACNEILAGE 1998, MACNEILAGE & DAVIS 2001…). MITCHELL et KENT (1990) ont

pu vérifier cette propension chez 8 bébés enregistrés à 3 stades distincts : 7, 9 et 11 mois. Les données illustraient plus précisément la prépondérance du babillage rédupliqué au sein des séquences multisyllabiques à 7 mois et 11 mois. Les résultats obtenus par DAVIS et MACNEILAGE (1995) chez 6 sujets (babillage à 3 ans et demi) attestent la présence de 15 % de séquences monosyllabiques, de 7 % de dissyllabes et de 78 % de multisyllabiques sur l'ensemble des productions recensées.

En accord avec cette conception, DAVIS et MACNEILAGE (1990) ont notamment montré que la reduplication consonantique était plus importante que celle des voyelles, tant dans le babillage qu'au début de la parole intelligible, même si elle s'avérait plus importante dans le premier cas. Dans cette perspective, les consonnes successives partageraient le trait du lieu articulatoire. Les mêmes auteurs, en 1995, ont par ailleurs relevé une forme de répétition consonantique dans les séquences du type CVCV. 88 % des consonnes labiales apparaissaient dans un contexte redupliqué, de même que 86 % des coronales et 74 % des vélaires. Les données de REDFORD *et al.* (1997) rejoignent ces résultats. Aussi le lieu d'articulation est-il partagé par la consonne finale et la consonne initiale dans 76 % des occurrences CVC du babillage de 6 bébés américains. La répétition labiale est attestée pour 87 % de ces occurrences, la répétition coronale à 81 % et la répétition dorsale à 39 %. Tous les sujets ont présenté une tendance significative des consonnes finales à présenter un lieu articulatoire similaire à C1, même si l'effet est plus marqué pour les coronales et les labiales. Il semblerait que le lieu articulatoire soit représenté de manière assez uniforme entre la consonne finale et la consonne initiale. En effet, les coronales, consonnes les plus favorisées, représentent 53 % des positions initiales et 55 % des positions finales, les labiales 36 % des positions initiales et 37 % des positions finales, les vélaires 7 % des positions initiales et 8 % des positions finales. La répétition du mode et du voisement serait beaucoup plus variable. Les occlusives, consonnes dominantes, sont dans 53 % des cas employées comme consonnes initiales et 40 % comme consonnes finales, les nasales sont privilégiées en position finale (26 % initiale et 33 % finale), ce qui est également nettement perceptible pour les fricatives (7 % initiale et 24 % finale). Le rôle majeur de l'oscillation mandibulaire, indépendamment de tout autre déplacement articulatoire intercyclique, supporte l'hypothèse du cadre.

En outre, le phénomène de reduplication se poursuivrait au-delà de la période du babillage en affectant aussi les premiers mots. DAVIS *et al.* (2002) attribuent une fréquence d'occurrence plus élevée des énoncés redupliqués (57,6 %) à ce stade qu'à celui du babillage. Les labiales sont les consonnes les plus souvent redupliquées (58,4 %), suivies des coronales (31,4 %). Les occlusives et les nasales s'avèrent être les modes dominants. Les répétitions de cycles indiquent une absence de différentiation séquentielle caractéristique des patrons de parole adultes. Le redoublement du même patron de mouvement, plutôt qu'un changement, au cours d'une séquence réduit la difficulté pour le système de production. La disposition à la reduplication persiste au cours de la période des premiers mots, parce que la production de mots par l'enfant nécessite la gestion simultanée des systèmes moteur et lexical pour coder un sens intentionnel. En d'autres termes, la tâche se complexifie avec l'introduction de la charge lexicale, par conséquent une compensation cognitive et motrice s'opère. Le schéma articulatoire demandant un effort moins important est alors favorisé (DAVIS *et al.* 2002, MACNEILAGE & DAVIS 2003…).

La tendance à la reduplication du cycle mandibulaire a aussi été détectée dans la production d'oscillations mandibulaires inaudibles par MEIER *et al.* (1997). Dans un premier temps, 14 enfants sourds et entendants ont été enregistrés. Les acquisitions ont commencé lorsque les sujets étaient âgés de 5 mois et se sont achevées lorsqu'ils en avaient 15. La production d'oscillations silencieuses apparaissait après 7 mois, soit à la période propice au

babillage. Aucune différence significative n'est apparue entre les groupes entendants et sourds. Ce type de réalisations ne serait donc pas directement corrélé à la faculté d'audition, mais serait plutôt une conséquence biologique du stade développemental du babillage canonique. La majorité d'entre elles se sont avérées multicycliques ; le nombre moyen de cycles relevés au sein d'une séquence était de deux, alors que pour les séquences audibles la moyenne n'était que d'un seul. Les auteurs ont pourtant repéré la cooccurrence d'enchaînements silencieux et audibles au sein d'une même séquence. Cela suggère donc que les caractéristiques du timing des oscillations silencieuses pourraient concorder avec celles des oscillations mandibulaires orales. Le fait que l'oscillation mandibulaire soit dissociée de la phonation est un élément intéressant pour confirmer l'hypothèse que la mandibule est un générateur de rythme indépendant. Il existerait donc un contrôle séparé de la phonation et de l'oscillation mandibulaire et un lien entre les oscillations silencieuses et le développement précoce de la parole. La deuxième expérience conduite reposait sur le rapport parental de 90 enfants normo-entendants âgés de 4 à 10 mois. Beaucoup d'entre eux ont confirmé l'existence d'oscillations silencieuses et rythmiques. La proportion des enfants produisant des séquences babillées silencieuses semblait augmenter avec l'âge. Il a également été signalé que des oscillations dépourvues de phonation pouvaient apparaître au sein même d'une séquence de babillage audible. Les résultats de cette investigation suggèrent que les oscillations silencieuses sont un phénomène largement associé au développement langagier.

2.1.1.1.2. Le babillage varié

Le babillage varié se définit par un changement, de syllabe à syllabe, des consonnes et/ou des voyelles successives. On pourrait donc penser que lorsqu'il émerge l'influence mandibulaire faiblit et le contenu commence à être contrôlé. Or, la variation intercyclique précoce serait, elle aussi, ordonnée par le mouvement mandibulaire. Ainsi le babillage varié résulterait-il d'une modulation libre du cadre dans sa dimension verticale. Par conséquent, la variation étant associée au degré d'élévation et d'abaissement de la mâchoire inférieure, les consonnes subiraient principalement une modification du mode, soit un degré de fermeture variable, et les voyelles une modification de l'aperture (MACNEILAGE 1998, DAVIS *et al.* 2002, MACNEILAGE & DAVIS 2003…).

L'observation longitudinale des séquences babillées d'un sujet âgé de 7 à 12 mois avait alors permis à DAVIS et MACNEILAGE (1994) de chiffrer ce phénomène. La plupart des instances de variation vocalique s'établissait au niveau de l'aperture (105 cas) ; la variation sur le plan avant / arrière était plus faible (22 cas), mais la corrélation des deux paramètres de variation légèrement plus importante (56 cas). De la même manière, l'amplitude oscillatoire pouvait affecter la composante consonantique. C'est pourquoi dans les premiers stades du processus d'acquisition du langage, la variation du mode articulatoire s'est avérée plus fréquente que celle du lieu (20 cas sur 41 pour le mode et seulement 8 pour le lieu) et la variation simultanée était faiblement présente (12 cas).

2.1.1.2. Une oscillation mandibulaire rythmique

Les séquences CV seraient considérées comme une propriété émergente des caractéristiques neurocorticales du mécanisme de production de la parole. Ces patrons, généralement générés sur une succession de cycles mandibulaires, donnent alors un caractère rythmique aux productions du babillage, lesquelles seraient perçues comme temporellement régulières. La cyclicité de ces enchaînements rythmiques serait contrainte par le patron temporel intrinsèque du déplacement de la mandibule. En effet, selon la conception de DAVIS

et MACNEILAGE (1995), de l'association alternative de la phase de fermeture consonantique, de faible énergie et de courte durée, et de la phase d'ouverture vocalique, de forte énergie et de durée plus longue, résulterait une impression de régularité temporelle des syllabes. En 1986, dans une étude acoustique du babillage de 4 bébés français suivis de 8 à 24 mois, KONOPCZYNSKI (1986 b, 1990) avait déjà reporté l'isochronie des productions les plus précoces. À travers l'observation des rapports syllabe non finale / syllabe finale, elle a pu mettre en évidence l'évolution du paramètre de la durée avec l'âge. Ainsi détecte-t-elle une forme d'isosyllabicité à 8-10 mois, qui disparaîtra à 11 mois avec la diminution de la durée des syllabes non finales et l'accroissement de la durée des syllabes finales. C'est à ce moment que les caractéristiques de l'accent primaire se dessinent. Il deviendra significatif à 16 mois. La perte de l'équilibre temporel s'associe à l'apparition de l'accent final. Cette première source de variation temporelle indique que le timing des productions ne peut plus être déterminé par un facteur purement biologique.

La régularité oscillatoire de la mandibule ne serait pas le seul reflet de la rythmicité du comportement moteur au cours du babillage. Il semblerait, en effet, que le rythme soit un principe essentiel à cette période développementale. Au regard de la perspective que le babillage serait inscrit dans la cyclicité de l'activité motrice, EJIRI (1998) a cherché à contrôler l'influence du rythme sur le développement moteur à ce stade. 28 bébés japonais ont ainsi été testés mensuellement, de 5 mois à 9 mois. Un rapport parental insistant sur les événements marquants du développement moteur corrélé à des enregistrements vidéo où les bébés manipulaient des hochets a servi de base à l'investigation. Les résultats statistiques ont indiqué que la période où les activités rythmiques étaient les plus fréquentes coïncidait avec le début du babillage canonique.

2.1.1.3. Une oscillation mandibulaire dominante

Il faut associer l'importance de l'influence de l'oscillation mandibulaire au fait que la mâchoire inférieure est le seul articulateur actif au stade du babillage. Cette exclusivité suggère d'une part l'inertie des autres articulateurs, et d'autre part l'existence de patrons de cooccurrence.

2.1.1.3.1. Inertie des autres articulateurs

La relative inertie articulatoire associée aux séquences oscillatoires de base (MACNEILAGE 1998) est un indice supplémentaire des carences du contrôle moteur à ce stade. En effet, le déplacement des articulateurs autres que la mandibule (lèvres, langue, palais mou) est extrêmement plus limité et offre alors une configuration stable de syllabe en syllabe.

MUNHALL et JONES (1998), à travers une étude cinématique, ont fourni des éléments allant dans le sens de l'absence d'implication de la lèvre supérieure chez le bébé. Quelques données articulatoires sur la structure syllabique chez l'adulte et chez un enfant de 8 mois ont pu être collectées grâce à la technique de capture du mouvement « Optotrak ». Des diodes lumineuses infrarouges furent positionnées au centre des lèvres supérieure et inférieure afin d'examiner les gestes engagés lors de la réalisation de la séquence /ba/. Certaines différences ont pu être détectées entre le jeune sujet et l'adulte :

a) lors du geste de fermeture, le mouvement de la lèvre inférieure serait, chez le bébé, stimulé par l'impulsion mandibulaire et déformerait la lèvre supérieure après le contact. En revanche, chez le locuteur adulte produisant le même type de séquence, les lèvres sont beaucoup plus engagées dans le

patron syllabique, puisqu'elles sont toutes deux actives au cours de la fermeture.

b) Lors du mouvement d'ouverture, la lèvre inférieure et la lèvre supérieure sont toutes les deux actives chez l'adulte : l'élévation de la lèvre inférieure est coordonnée à l'abaissement de la lèvre inférieure, alors que chez le bébé seule la lèvre inférieure, portée par la mandibule, va s'abaisser.

Les mouvements de la langue d'un sujet monolingue anglais, à 12 mois et 21 mois, ont pu être mis au jour grâce à l'observation de ses productions acoustiques et l'extraction du F2 (SUSSMAN *et al.* 1996, 1999). Le début de la transition F2 et la fréquence du milieu vocalique furent mesurés et une droite de régression de ces relations acoustiques (équation du locus) fut établie. Ces données acoustiques, révélant le manque de coarticulation linguale anticipatoire à 12 mois, attestent du faible engagement de la langue dans les productions préférentielles du babillage tardif. Même si en comparaison avec l'adulte l'enfant présente une coarticulation plus faible (en général), il commence à rejoindre la norme adulte à 21 mois.

Le vélum, lui, afficherait un fort couplage temporel et spatial avec la mandibule (KOLLIA *et al.* 1994), même dans la parole adulte. Il a même été démontré que le mouvement d'abaissement vélaire affichait les corrélations les plus robustes avec l'abaissement mandibulaire (*cf.* chapitre III). Ainsi, si ce phénomène persiste dans la parole adulte, on pourrait supposer qu'il sera plus marqué au stade du babillage, étant donné le rôle moteur déterminant de la mandibule au cours des productions précoces.

Enfin, les mouvements du vélum ne seraient pas contrôlés à 7 mois (LALEVEE & VILAIN 2003). Pourtant, de nombreux auteurs relatent la présence de séquences du type « mama » (*cf.* section 2.1.3.2.), au sein desquelles les articulations nasales et orales sont alternées. À première vue, le changement de mode articulatoire pourrait être considéré comme une première forme de contrôle vélaire dans la mesure où la position du vélum changerait au cours d'un cycle mandibulaire en adoptant successivement une position élevée puis abaissée. Cependant, ROSSATO *et al.* (2003) émettent l'hypothèse qu'un contrôle très fin du vélum ne serait pas nécessaire pour produire des séquences du type « mama ». En effet, les auteurs ont observé, chez un locuteur français, les configurations du vélum au cours de la production de séquences VCV où les consonnes et les voyelles pouvaient être orales ou nasales. Ils ont alors cherché à mesurer les déplacements verticaux de cet articulateur à l'aide d'un articulographe électromagnétique et d'une bobine placée sur le vélum. Ils ont relevé que le vélum n'était pas toujours en position de fermeture lors de la production des voyelles orales et que sa configuration variait beaucoup lors de la production des consonnes nasales, de sorte que les hauteurs relevées pouvaient se chevaucher avec celles recensées pour les voyelles orales. En d'autres termes, il existe une gamme de hauteurs du vélum où les voyelles orales et les consonnes nasales peuvent être produites. Une séquence « mama » pourrait donc être produite avec une position constante du vélum, qui serait sa configuration « par défaut » relâchée et non contrôlée (LALEVEE & VILAIN 2003). Néanmoins, les travaux de VAXELAIRE (1997) et VAXELAIRE et SOCK (1996) pourraient contester, pour des raisons méthodologiques, ces résultats. En effet, l'articulographe prend en compte un point sur le vélum (la luette) qui ne serait pas le plus pertinent. Selon VAXELAIRE et SOCK, qui utilisent les moyens de la cinéradiographie, c'est la considération du point vélaire le plus haut qui reflète la distance de contact entre le voile du palais et la paroi pharyngale, et qui serait, par conséquent, le point le plus à même d'établir la plus grande corrélation entre l'articulatoire et l'acoustique.

2.1.1.3.2. Des patrons de cooccurrences

Le manque d'autonomie articulatoire, au stade du babillage canonique, est également décelable dans les patrons de cooccurrences déterminés et définis à plusieurs reprises par MACNEILAGE et DAVIS (DAVIS & MACNEILAGE 1990, MACNEILAGE 1998, MACNEILAGE & DAVIS 2000 a, b et 2001). Ici, la notion de cooccurrence implique une limite à la combinatoire des éléments constitutifs des syllabes à cause de la solidarité articulatoire qui les régit. Ces schémas associatifs s'établiraient tous sur la base du cadre biphasique de l'oscillation mandibulaire et leur organisation ferait apparaître une relative inertie de la langue lors de la transition consonne / voyelle qui accentuerait l'hypothèse de la dominance du cadre dans les réalisations précoces. Trois types d'association C/V semblent alors privilégiés.

La première configuration décrite par la théorie de MACNEILAGE (1998) résulterait des propriétés mécaniques de la mâchoire inférieure. La simple oscillation mandibulaire serait responsable des associations préférentielles du type Consonne labiale + Voyelle neutre, alors qualifiées de « cadre pur » ou « *pure frame* ». De cette manière, son élévation suffirait à réaliser l'occlusion du conduit vocal, au niveau de la cavité buccale, alors que le maintien de la langue en position de repos au cours de son abaissement impliquerait le patron de résonance d'une voyelle centrale ou neutre.

Cependant, dans certains cas, un positionnement de la langue viendrait se superposer à ce cadre primaire lors de la phase de fermeture et la position de l'articulateur serait conservée lors de la phase d'ouverture. Deux autres patrons de cooccurrence, les cadres antérieur et postérieur, sont ainsi déterminés.

La langue peut alors se positionner plus en avant dans la cavité buccale, auquel cas les consonnes coronales seront de préférence combinées aux voyelles antérieures (ex : [te], [de]). Le cadre assigné à ce mouvement frontal est baptisé « cadre antérieur » ou « *fronted frame* ».

À l'inverse, lorsque l'association consonne vélaire / voyelle postérieure est privilégiée, le positionnement lingual est plutôt postérieur (ex : [ku], [gu]) et le cadre résultant est, par conséquent, désigné comme « cadre postérieur » ou « *backed frame* ».

La robustesse de tels patrons a pu être vérifiée par DAVIS et MACNEILAGE (1994), grâce à l'observation des échantillons sonores recueillis chez un sujet anglais, âgé de 7 à 12 mois. De la même manière, VIHMAN (1992) a pu évaluer leur viabilité à travers différentes sources de données (enregistrements audio et vidéo hebdomadaires de 10 bébés de 9 à 16 mois, enregistrements vidéo mensuels de 10 enfants anglais âgés de 8 à 24 mois et de données interlinguistiques concernant les productions de 5 enfants français, 5 Suédois et 5 Japonais). La prévalence des associations, auparavant prédite par ces auteurs, a été confirmée avec une majorité des schémas Consonne labiale + Voyelle centrale et Consonne vélaire + Voyelle postérieure. Il faut cependant nuancer la portée de tels résultats.

Plus tard, en focalisant sur la production des premiers mots de 10 enfants monolingues anglais, DAVIS *et al.* (2002) ont attesté que ces tendances prédominaient au-delà de la période du babillage. L'analyse des patrons intra-cycliques, CV et VC, a révélé que les associations coronale-antérieure et labiale-centrale étaient présentes dans tous les environnements et ressortaient comme les patrons les plus forts. L'association dorsale-postérieure apparaissait, quant à elle, uniquement dans les séquences CV au sein d'énoncés multisyllabiques.

On peut retrouver dans ces associations ce que STUDDERT-KENNEDY et GOODELL (1992) avaient appelé les routines gestuelles. Pour passer du babillage canonique à la parole variée l'enfant découvrirait un ou plusieurs patrons articulatoires qui s'adaptent sur un certain nombre d'énoncés adultes. La routine gestuelle supporte les stéréotypes et la variabilité. La stéréotypie représente la répétition d'une forme, qui une fois découverte sera appliquée à divers nouveaux mots pour lesquels le bébé cherchera le patron approprié.

Ces patrons, systématiquement relevés au stade du babillage puis des premiers mots, pourraient être considérés comme fondamentaux pour l'organisation précoce de la parole. Cette continuité serait, elle aussi, recensée et rapprochée des propriétés combinatoires des langues du monde (MACNEILAGE 1994, DAVIS & MACNEILAGE 2003 et VALLEE & BOE 2001, ZERLING 2000, MESSISAS *et al.* 2002). Nous y reviendrons plus longuement ultérieurement.

2.1.2. Un substrat cérébro-moteur

Selon la théorie évolutionniste darwinienne (DARWIN 1859), le principe de l'évolution repose sur le postulat qu'on ne construit pas de nouvelles structures à partir d'éléments non préexistants, mais que, au contraire, on s'approprie ce qui est disponible et le réaménage. L'origine de la parole aurait ainsi une explication phylogénétique répondant au phénomène de descendance avec modifications. DARWIN se place du côté de la phylogenèse et son hypothèse s'oppose à celle de CHOMSKY qui se place du côté de l'individu. Selon ce dernier, la parole relève d'unités subsegmentales innées, c'est-à-dire les traits pertinents (CHOMSKY 1975).

MACNEILAGE (1998), lui, estime que l'ontogenèse pourrait récapituler la phylogenèse et avance une relation probable entre les cycles d'ingestion et la parole. Le développement de l'alternance ouverture / fermeture, pour la parole, est perçu comme le réaménagement d'un cycle moteur déjà disponible dans l'usage. La théorie « *Frame then Content* » aspirerait à expliquer les développements moteurs sous-jacents à cette évolution. Le cadre syllabique de la parole serait alors emprunté aux cycles d'ingestion des mammifères générant la même activité oscillatoire lors de processus tels que la mastication ou la succion. Cette conception ne fait pourtant pas l'unanimité. Des chercheurs comme JÜRGENS (1998) ou MOORE (2004) n'adhèrent pas à ce principe évolutif (*cf.* chapitre III).

Cependant, un stade communicatif intermédiaire pourrait expliquer l'analogie surprenante existant entre la parole et ces cycles. En effet, les primates avancés auraient élaboré, sur ce même principe, des cycles visuo-faciaux de communication, tels le claquement de lèvres ou le claquement de langue, engageant une alternance des configurations ouverte et fermée du tractus vocal associée à des épisodes phonatoires (MACNEILAGE & DAVIS 2001). L'ascendance commune du primate et de l'homme pourrait donc expliquer le partage de propriétés vocales, mais aussi cérébrales. En effet, la parole, les gestes visuo-faciaux de communication ou encore la mastication relèveraient, en partie, du même générateur de patrons cérébraux.

Le développement du cerveau, pour des besoins de parole, aurait eu lieu dans la région inférieure du lobe frontal, qui recouvre l'aire de Broca chez l'homme et dont l'homologue (F5) est fondamentale pour le contrôle des mouvements d'ingestion chez les mammifères. De ce fait, deux régions corticales seraient activées à la fois pour la parole et la mastication, à savoir les aires de Brodmann 44 et 6.

Les similarités fonctionnelles entre F5 chez le singe et l'aire de Broca[3], ou plus exactement l'aire 44 de Brodmann, soutiennent ce scénario. Ces zones cérébrales attestent toutes deux la présence d'un mécanisme « observation-exécution » et leurs neurones sont à la fois activés par la réalisation et la perception visuelle d'une action cible ; d'où la notion de « neurones miroirs » (RIZZOLATTI *et al.* 1996). Plusieurs différences entre F5 et Broca pourraient néanmoins contrarier cette hypothèse. En effet, la première gérerait

[3] L'aire de Broca se subdivise en deux zones de Brodmann c'est-à-dire 44 et 45.

principalement le circuit de la main et réagirait à l'input visuel, alors que Broca serait liée au contrôle de la musculature responsable de la production de la parole et serait sensible à l'input auditif. Mais, malgré une hiérarchisation quelque peu divergente, il subsisterait tout de même un champ bouche / face au sein de F5 et un champ main dans Broca. Récemment, deux nouvelles catégories de neurones miroirs ont été décrites chez le singe. Leurs propriétés indiquent que l'aire F5 possèderait les mécanismes neuronaux de base pour associer les gestes et les sons, et expliquent ainsi la transition entre action et langage (FOGASSI & FERRARI 2005). Le premier type de neurones découvert correspond aux neurones miroirs audio-visuels. Ils répondent à l'observation d'une action ainsi qu'à son écoute. Ces neurones codent indépendamment l'action aux niveaux visuel, auditif et moteur. Aussi la capacité de représenter le contenu d'une action séparément de la modalité utilisée pour accéder à ce contenu est-elle une caractéristique dominante du langage. Le second type de neurones est associé aux neurones miroirs « bouche » qui s'activent quand le singe observe ou exécute une action d'ingestion buccale ou une action de communication.

Des zones d'ombre persistent sur la filiation existant entre l'ingestion et la parole. En effet, la région prémotrice, constituée par les aires 44 et 6 de Brodmann, principal lieu cortical impliqué dans le cycle d'ingestion des mammifères, répond à des stimulations externes. La parole, en revanche, relève d'une auto-génération interne. Le développement du cortex prémoteur médian, système intrinsèque spécialisé dans l'activité auto-générée, associé à l'aire motrice supplémentaire (AMS), contribue de cette manière à l'élaboration du cadre chez l'homme. En effet, la stimulation électrique de l'AMS susciterait la production de vocalisations syllabiques rythmiques redupliquées (MACNEILAGE 1998). ABRY et ses collègues (2001) et ABRY (2002), en s'appuyant sur un certain nombre d'études préexistantes sur l'aphasie, ont expliqué que l'aire motrice supplémentaire pouvait :

> « …prendre en charge le cadre sans s'occuper du contenu… » (ABRY 2002, p. 246)

Ils illustrent cette hypothèse en particulier grâce au rapport de Broca sur les productions de son patient Leborgne, lequel est sans doute mieux connu sous le surnom qui lui est couramment assigné «Tan». La lésion de Leborgne s'étendait aux aires de Brodmann 44 et 45, mais l'AMS n'était pas touchée. Aussi son répertoire de productions se réduisait-il principalement au logatome « tan » qui, parfois, pouvait être répété une fois « tan, tan ».

Il nous faut également expliquer la différence existant entre les émissions vocales du singe et la parole humaine car, malgré leurs convergences, ces productions demeurent perceptiblement distinctes. On sait que toutes deux possèdent un niveau respiratoire et phonatoire (configuration ouverte / fermée des cordes vocales). La distinction se fonde sur le niveau articulatoire. Chez les mammifères non humains, la configuration du tractus vocal est toujours ouverte au cours de la vocalisation, on ne peut donc pas véritablement parler d'articulation. La parole humaine se distingue donc de la communication vocale des autres mammifères dans le sens où nous sommes les seuls à superposer sur un rythme continu une alternance entre des configurations ouverte et fermée de la cavité buccale tout au long du processus de production des sons. Chez l'homme, un troisième niveau articulatoire coexiste réellement avec les deux autres.

2.1.3. Un répertoire limité

Les productions du babillage sont le résultat d'influences d'ordre physiologique, cérébral et moteur. Ainsi, les modalités articulatoires reposeraient, à ce stade, sur un certain

nombre de contraintes dont la sous-spécification motrice, les patrons associatifs ou encore l'inventaire sonore limité sont les reflets les plus saillants. De manière générale, l'inventaire des productions du babillage s'inscrit dans une sphère relativement restreinte tant du point de vue de la structure syllabique que de ses composantes sonores.

2.1.3.1. Les syllabes

La nature même des schémas moteurs physiologiquement contraints sous-tend la dominance des syllabes ouvertes (CV) au stade du babillage. Ainsi les productions précoces babillées tendent-elles à commencer par une consonne suivie d'une voyelle. Cette conception, principalement défendue par MACNEILAGE et DAVIS dans une majorité de leurs travaux, a déjà été relevée ou sera reprise par de nombreux auteurs dans leur description des caractéristiques prépondérantes de la période du babillage (KONOPCZYNSKI & VINTER 1989, VIHMAN 1992, STOEL-GAMMON 1992b, BOYSSON-BARDIES 1996, KERN 2000, KERN & LANGUE 2001…).

De façon plus quantitative, les chiffres publiés dans certains travaux confirment la prédominance d'un tel patron au sein des séquences babillées. Pour KONOPCZYNSKI (1985), les séquences CV représenteraient 86 % des structures syllabiques du protolangage[4] et 80.2 % des productions de 4 enfants français suivis de 8 à 24 mois (1986). De leur côté, DAVIS et MACNEILAGE (1994) estiment que 95 % des énoncés réalisés par un sujet anglais âgé de 7 à 12 mois engendraient une alternance CV. Pour GIULIVI *et al.* (2005), ce type de syllabe représente 57 % des productions d'une petite fille italienne, enregistrée entre 6 et 16 mois, au stade le plus précoce de l'observation, et restera majoritaire tout au long de l'investigation.

Cette prévalence ressort également des résultats de TULLER et KELSO (1991) pour l'adulte. Les auteurs ont mis en évidence que la forme CV, plus stable, résistait à un rythme de répétition plus élevé. Ils ont ainsi démontré que des changements de phasage impliquaient des modifications sonores. En effet, chez le locuteur mature impliqué dans une tâche de réitération de syllabes VC de type /ip/, il fut attesté que les relations entre la fermeture des lèvres et celle de la glotte étaient modifiées à débit d'élocution croissant jusqu'à ce que la syllabe de base soit apparentée articulatoirement et perceptivement à une forme syllabique de type CV (/pi/). Mais un bémol semble cependant subsister car, d'après SOCK (1998 p. 353), il n'y aurait pas vraiment de bascule vers un mode en phase CV étant donné que la fermeture des lèvres et l'ouverture de la glotte donne à produire un [p^{h}i] aspiré, soit un intervalle supplémentaire entre la consonne et la voyelle. Néanmoins, les résultats de SATO (2004) tendent à conforter la tendance d'une attraction vers les séquences commençant par une consonne. En effet, une séquence [eps] répétée à un rythme rapide s'orienterait perceptivement et articulatoirement vers [pse]. Ce phénomène s'explique par la tendance à l'économie articulatoire, c'est-à-dire la tendance à choisir les mouvements qui demandent le moins d'effort. L'attraction perceptuo-motrice vers les séquences les plus économiques est également défendue par ROCHET-CAPELLAN et SCHWARTZ (2006).

[4] Konopczynski (1985, 1986a) qualifie la période du développement langagier qui s'étend de 7 à 9 mois de période charnière. A ce stade, différentes catégories de discours coexisteraient à savoir le jasis et le protolangage. Le jasis répondrait à des phases d'exploration et reste soumis à variabilité. Cette catégorie de discours s'établit, selon l'auteur, lorsque l'enfant est seul ou n'est soumis à aucune interaction. En revanche, le protolangage, aussi appelé pseudo langage, se manifeste, quant à lui, en situation d'échange. Il se caractérise par l'émergence d'une certaine forme de structuration temporelle.

2.1.3.2. Les sons

Au niveau consonantique, les occlusives labiales et alvéolaires, le plus souvent orales, sont privilégiées. Certaines semi-consonnes sont aussi recensées [w, j]. LOCKE (1983), dans STOEL-GAMMON (1985), attribue 95 % des occurrences du répertoire consonantique du babillage aux phonèmes [p, t, k, b, d, g, m, n, w, j, s]. DAVIS et MACNEILAGE (1994), ayant également observé leur prédominance, ont également mis en évidence (1995) que les modes favorisés suivaient respectivement la fréquence décroissante occlusif-nasal-glide et le lieu l'ordre labial-alvéolaire-vélaire. De nombreux auteurs ont confirmé ces prédilections sonores. ROUG, LANDBERG et LUNBERG (1989) ont, en particulier, attesté la préférence des labiales et des alvéolaires dès 5 et 7 mois chez 4 enfants suédois. En ce qui concerne le mode, les nasales, les occlusives et les fricatives constituaient 91 % des modes utilisés par les enfants sur l'ensemble de la période étudiée, c'est-à-dire de 1 mois à 1 an et demi passé (le pourcentage restant est accordé aux latérales, trilles et semi-consonnes). La forte occurrence des occlusives est également attestée par BLAKE et BOYSSON-BARDIES (1992) chez des enfants français et anglo-canadiens âgés de 9 à 11 mois, de même que par REDFORD *et al.* (1997) chez 6 bébés américains, ou que ROBB et BLEILE (1994). De son côté, GREGOIRE (1937) avait déjà repéré que les consonnes [p], [b], [t] et [m] étaient très employées entre 10 et 12 mois. Des tendances similaires seront maintenues au cours des premiers mots. DAVIS *et al.* (2002) ont ainsi relevé, à ce stade, une prédominance des occlusives à 55.3 % suivie des nasales à 21.6 %, puis des glides à 8.5 % ; ainsi que des labiales à 41.3 %, des coronales à 36.1 % et des dorsales à 9.94 %. Plus récemment, GIULIVI *et al.* (2005) ont rapporté des conclusions similaires pour les productions d'un bébé enregistré dès l'âge de 6 mois jusqu'à 16 mois. La période observée fut dissociée en trois phases développementales correspondant aux stades de 0, 4 et 15 mots. Compte tenu de cette subdivision, les nasales atteignaient respectivement 42 %, puis 29.1 % et 30.1 %, les occlusives 34.6 %, 42.5 % et 53.6 %. En ce qui concerne le lieu d'articulation, les alvéolaires constituaient 36.6 % du répertoire consonantique au premier stade, 36.7 % au second et 24.4 % au dernier, et les bilabiales 37.07 % au plus jeune âge, puis 38.65 % et enfin 55 %.

D'un autre côté, le quadrant inférieur gauche de l'espace vocalique semble favorisé (DAVIS & MACNEILAGE 1990) : les voyelles antérieures, centrales et mi-ouvertes du type [a, ae, ɛ, oe, e] dominent (GREGOIRE 1937, LEVITT & AYDELOTT UTMAN 1991, VIHMAN 1992, DAVIS & MACNEILAGE 1995). De la même manière que pour les consonnes, l'inventaire vocalique attesté au stade du babillage persiste au cours de la production des premiers mots. DAVIS *et al.* 2002 trouvent alors les fréquences d'occurrences suivantes pour la dimension antérieure-postérieure au cours de la période consécutive au babillage : centrale (37.6 %), antérieure (36.3 %), postérieure (23.5 %). En revanche, la production des voyelles ouvertes, mi-ouvertes et fermées offrirait des proportions plus proches. GIULIVI *et al.* (2005) ont recensé une fréquence d'occurrence des voyelles antérieures qui s'élevait à 50 % entre 6 et 10 mois, 43 % entre 12 et 14 mois et 40 % entre 15 et 16 mois. En suivant la même chronologie, les voyelles centrales offraient les pourcentages de 39.3 %, puis 38.7 % et 37.6 %.

2.1.3.3. Le caractère universel

Le babillage s'inscrirait dans un cadre universel, d'une part parce qu'il relèverait de contraintes physiologiques et d'autre part puisque ses caractéristiques sont partagées par des bébés provenant de divers environnements langagiers. Dans les sections précédentes, nous avons déjà mentionné la prédominance du patron de cooccurrence CV attestée, entre autres,

par KONOPCZYNSKI (1986 b) chez quatre bébés français, par DAVIS et MACNEILAGE (1994) chez un bébé anglais, ou encore par VIHMAN (1992) chez des bébés anglais, suédois, japonais et français. De la même manière, des similarités interlinguistiques ont pu être détectées au sein de l'inventaire sonore entre des sujets américains (REDFORD *et al.* 1997), suédois (ROUG *et al.* 1989), anglais et français (LEVITT & AYDELOTT UTMAN 1991), mais aussi anglo-canadiens (BLAKE & BOYSSON-BARDIES 1992).

Les contraintes sensori-motrices de l'ontogénèse sont à rapprocher des tendances observées dans les langues du monde. D'après l'enquête de MACNEILAGE (1994) et DAVIS et MACNEILAGE (2003), les noyaux moteurs CV ainsi que les patrons associatifs intra-syllabiques favorisés dans le babillage et la parole précoce le seraient aussi dans le système mature. Par ailleurs, les sons [p], [t], [m], [n], [w], [j] et [a] sont nettement privilégiés concurremment dans le babillage et les langues du monde. L'échantillon de 317 langues sondé par MADDIESON (1984) révèle, en effet, que toutes les langues présentent une version de [p] et [t], au moins une nasale, une fréquence d'occurrence élevée des glides [w] et [j] et 88 % d'entre elles proposent une forme de la voyelle [a]. Il émerge alors qu'il n'existe pas de sons prédominants dans le babillage qui ne le soient pas dans les langues du monde. Dans la même perspective, VALLEE et BOE (2001) ont établi la correspondance entre les productions précoces et matures, en utilisant la base de données UPSID[5] : échantillon représentatif de 5 % des langues du monde, soit 18 familles de langues réparties sur 5 continents. En mettant en parallèle leurs propres observations sur les langues et celles de DAVIS et MACNEILAGE sur les occurrences du babillage, ils ont ainsi pu témoigner de la contigüité entre les lieux et les modes articulatoires des deux systèmes. Selon VALLEE et BOE, le babillage *« marque les précurseurs des attributs universels du langage »* (p. 114).

2.1.4. En résumé

Nous avons choisi le cadre de la théorie *« Frame then Content »* de MACNEILAGE (1998) pour expliquer les comportements articulatoires prépondérants au stade du babillage. Les productions précoces sont ordonnées par l'oscillation mandibulaire dont la rythmicité, conséquence de l'alternance entre les phases de fermeture et d'ouverture, suffit à l'élaboration d'une syllabe. Les éléments constitutifs du cadre généré forment alors une unité articulatoire indissociable, sur laquelle les éléments du contenu, c'est-à-dire les mouvements des articulateurs jusque-là inertes, vont se superposer. L'habileté motrice s'avère donc relativement pauvre à ce stade et répond à certaines contraintes physiologiques dont témoignent les patrons de cooccurrence et l'inventaire sonore privilégiés. Par ailleurs, le babillage semble présenter un caractère universel dont les similarités interlinguistiques et le système mature sont le reflet.

Mais le babillage est aussi une période transitoire au cours de laquelle un certain nombre de développements va émerger. Le bébé va alors commencer à accroitre son potentiel moteur pour se rapprocher des cibles de la parole adulte.

2.2. De l'acte moteur biologique au langage

Les premières productions appartiennent à un acte moteur purement biologique. Plusieurs paramètres vont alors interagir et permettre au jeune locuteur de basculer dans le langage. C'est d'abord l'influence de l'environnement linguistique auquel il est confronté qui

[5] UCLA *Phonological Segment Inventory Database*

permettra au bébé de réorganiser son système de perception pour exercer son système de production. C'est ensuite en accédant au contrôle de ses articulations que la parole mature pourra se mettre en place.

2.2.1. Influence environnementale

Progressivement, le bébé va se libérer des contraintes physiologiques qui limitent son répertoire. Différentes sources informationnelles interviennent lors du processus de spécialisation. La première résulterait des patrons sonores et visuels fournis par le locuteur mature. La seconde, des *feedbacks* auditifs de ses propres réalisations. Nous verrons successivement comment les systèmes de perception et de production subiront, avec l'âge, l'influence de l'environnement linguistique.

2.2.1.1. Sur le système de perception

Malgré l'éventualité d'un apprentissage perceptuel prénatal, le nouveau-né serait capable de discriminer tous les contrastes, mais le contact linguistique auquel il sera soumis va peu à peu modifier son comportement perceptif.

2.2.1.1.1. Un apprentissage prénatal

L'oreille, plus exactement la cochlée, est attestée fonctionnelle chez le fœtus dès la 24ème semaine de gestation (COLLET 1990), même si son niveau d'audition va poursuivre son perfectionnement pour se rapprocher de celui de l'adulte à la 32ème (VAUCLAIR 2004) ou à la 35ème semaine (BOYSSON-BARDIES 1996).

Le fœtus, dès lors doté de la faculté de perception, se trouve confronté à un environnement acoustique très particulier appelé « bruit de fond intra-utérin ». Il est en effet soumis à des informations sensorielles auditives constantes qui lui parviennent par voies intra et extra utérines. Ce fond sonore est alors constitué de bruits endogènes, recouvrant essentiellement les bruits biologiques maternels, placentaires et fœtaux, et de stimuli sonores exogènes comme les voix humaines. La réaction à des stimuli auditifs externes serait possible, du fait de l'évolution de la fonctionnalité de l'oreille, à partir des 26ème-27ème semaines (MILLOT & FILIATRE 1992). LECANUET (2000) explique que dès la 26ème semaine, les stimulations vibro-acoustiques externes provoqueraient des mouvements de sursaut immédiat chez le fœtus et a pu observer une augmentation du nombre de sujets réactifs ainsi que des indices de réaction (nombre de mouvements, amplitude de l'accélération cardiaque) tout au long de la gestation (VRIES *et al.* 1985). Les réponses à un stimulus uniquement acoustique et aérien émergent et évoluent de la même manière. Les stimuli langagiers, affaiblis par le corps de la mère et ses bruits physiologiques, ainsi que par le liquide amniotique (LECANUET *et al.* 1987 cité dans VAUCLAIR 2004, BOYSSON-BARDIES 1996), émergent eux aussi plutôt bien de l'environnement intra-utérin. Précisons, par ailleurs, que même si les hautes fréquences sont les plus atténuées, le bruit de fond se situant dans les basses fréquences et jouant un rôle de masque, le niveau intra-utérin de la voix de la mère serait environ 5 dB plus élevé que celui des voix extérieures (LECANUET 2000). Cet effet peut facilement être expliqué par la simultanéité des canaux de transmission. En effet, la voix de la mère parvient au fœtus à la fois par l'intérieur et l'extérieur. Par ailleurs, des enregistrements réalisés *in utero*, grâce à un hydrophone placé dans l'utérus de femmes enceintes au repos, ont montré que la prosodie, de même que 30 % des phonèmes étaient bien perçus par des auditeurs adultes (QUERLEU *et al.* 1981).

Bien que l'environnement sonore utérin ne soit pas uniforme et soit globalement peu différent de celui de la pièce dans laquelle se trouve la mère, l'utérus se révèle être un milieu assez bruyant (LECANUET 2000) : son niveau sonore atteindrait 75 dB (VAUCLAIR 2004). Cependant, il laisserait passer suffisamment d'informations pour rendre envisageable une intégration prénatale de certains paramètres de la parole.

LECANUET s'est beaucoup intéressé à ce phénomène de perception prénatale grâce à l'observation des modulations de la fréquence cardiaque. Celle-ci serait un indice qui permettrait d'évaluer la réactivité du fœtus lorsqu'il est confronté à une émission sonore. Dans l'une de ses expériences réalisée en 1987 (citée dans BOYSSON-BARDIES 1996), ce chercheur présente un son récursif à un fœtus via un haut parleur placé à 20 cm de l'abdomen de la mère. Dans un premier temps, le fœtus réagit. Son état d'alerte est identifiable à la décélération des battements de son cœur. Ce ralentissement cardiaque se dissipe progressivement et le cœur reprend son rythme normal lors de l'émission répétitive du son : le fœtus semble s'habituer. À plus de 7 mois, il est donc en mesure de s'accoutumer à un stimulus répété. Ces observations favorisent l'hypothèse de l'apprentissage prénatal, puisque l'habituation est un processus d'acquisition élémentaire qui fait intervenir des capacités sensorielles d'attention sélective et de mémoire à court terme (LECANUET 2000). Après cette phase d'habituation, l'expérimentateur diffuse un autre son, qui provoque instantanément une nouvelle décélération. La nouveauté est perçue, un fœtus est donc capable de discriminer deux stimulations acoustiques différentes.

D'autres études de LECANUET *et al.* (1993 a et b), exploitant le même paradigme, ont pu rendre compte de la réponse fœtale aux modifications des caractéristiques physiques de la stimulation. Ils ont nettement montré que les changements d'intensité ou de fréquence engendraient eux aussi un relâchement du rythme cardiaque significatif de la réactivité du fœtus face à une variation. Il en va de même pour la structure des sons, LECANUET (1997) a présenté à des fœtus de 36 à 40 semaines une série de 16 disyllabes /babi/. Après une phase d'habituation, l'ordre syllabique est permuté. L'exposition du fœtus aux séquences /biba/ impliquait systématiquement une modification du rythme cardiaque témoignant, là encore, de la discrimination opérée. Un être humain est donc sensible très tôt au monde sonore qui l'entoure et il y réagit. Toutefois, d'autres facteurs peuvent moduler le seuil de réactivité du fœtus et par conséquent l'amplitude de ses réponses cardiaques (LECANUET 2000). Il est vrai que la complexité du stimulus, son intensité et sa hauteur peuvent avoir des incidences sur la vivacité des réactions du fœtus. Mais d'autres paramètres comme la vigilance fœtale ont également des répercutions sur ses comportements réflexes. LECANUET a, en effet, rendu compte que les réponses motrice et cardiaque sont plus faibles quand le fœtus est en phase de sommeil que lorsqu'il se trouve en phase agitée ou en phase de veille calme.

Ces expérimentations illustrent assez bien les facultés du fœtus. Mais une des questions qui ressort est la suivante : le nouveau-né conserve-t-il des traces de cet apprentissage ? La succion non nutritive est l'une des techniques souvent utilisée pour illustrer cette imprégnation prénatale.

DECASPER et SPENCE (1986 cités dans VAUCLAIR 2004 et BOYSSON-BARDIES 1996) ont tenté de déceler si de telles empreintes pouvaient influencer les préférences sonores d'un nouveau-né. Pour ce faire, ils ont demandé à de futures mères américaines de lire deux fois par jour à haute voix une berceuse intitulée : « *The cat in the hat* » au cours des 12 dernières semaines de leur grossesse. 2 ou 3 jours après la naissance, afin d'établir un taux de succion de base, les chercheurs ont mesuré les fréquences spontanées de succion à l'aide d'une tétine expérimentale reliée à un capteur de pression. Un casque est ensuite placé sur la tête du nourrisson. Si le taux de succion est supérieur au taux normal, l'expérimentateur diffuse la

berceuse. En revanche, s'il est inférieur, il diffuse une nouvelle histoire. DECASPER et SPENCE se sont alors aperçus que tous les sujets avaient augmenté leur rythme de succion afin d'entendre la berceuse plutôt que l'histoire nouvelle. L'influence de la parole perçue pendant la gestation est indéniable. La préférence pour l'histoire familière persiste même si les deux histoires sont lues par une voix de femme inconnue, alors que la préférence pour la voix maternelle avait été mise en évidence, grâce au même principe d'investigation, par DECASPER et FIFER dès 1980 chez des nouveau-nés de 1 à 3 jours séparés de leur mère à la naissance (cités dans VAUCLAIR 2004 et BOYSSON-BARDIES 1996). Si le rythme de succion était lent, le nouveau-né était soumis aux enregistrements d'une voix féminine quelconque, mais s'il s'avérait rapide le bébé pouvait entendre la voix de sa mère. Il a ainsi été vérifié que l'enfant adaptait son rythme de succion afin de pouvoir l'écouter. Sur un principe identique, MEHLER *et al.* (1988 cités dans VAUCLAIR 2004 et BOYSSON-BARDIES 1996) ont également pu prouver la préférence pour la langue maternelle. Des nouveau-nés français de moins de 4 jours ont été soumis à l'écoute d'enregistrements de phrases lues en français et en russe par une locutrice bilingue. Le paramètre du locuteur était ainsi contrôlé afin d'éviter toute interférence du familier sur les préférences des sujets. La fréquence de succion s'est avérée plus élevée lors des passages lus en français. Cela peut alors témoigner de l'intérêt que le nouveau-né manifeste pour sa langue.

En somme, il est manifeste que dès sa vie fœtale, l'être humain est profondément ancré dans l'univers langagier. Le stade fœtal apparaît donc comme une étape déterminante pour le développement de l'audition et par conséquent celle du langage. Ce stade opère sur l'axe de la perception, mais on peut le voir comme une phase préparatoire qui pose les fondements des acquisitions à venir.

2.2.1.1.2. À la naissance : un potentiel de discrimination universelle

À la naissance le nourrisson ne parle pas, mais il est doté d'une compétence auditive attestée. Le nourrisson saurait aussi bien discerner un changement de mode articulatoire, de lieu que de voisement entre deux entités. EIMAS *et al.* (cités dans VAUCLAIR 2004) l'ont prouvé dès 1971 avec le procédé expérimental de la succion non nutritive. Des sujets âgés de 1 à 4 mois ont été testés sur des séquences incluant des délais de voisement variables telles que /ba/ et /pa/. Ces chercheurs ont alors pu constater que les enfants, habitués à la séquence /ba/, manifestaient un effet de nouveauté lors de la diffusion de /pa/. Cependant, un nourrisson serait capable d'étendre cette discrimination au-delà des phonèmes de sa langue. Selon l'idée défendue par JAKOBSON (1962, 1963), au cours des premiers mois de sa vie le bébé serait en mesure de percevoir tous les contrastes phonétiques, qu'ils soient significatifs ou non au sein de sa langue. STREETER 1976 (cité dans VAUCLAIR 2004) a exposé des enfants kenyans de 2 mois aux contrastes /ba/ et /pa/. Le même procédé expérimental lui a ainsi permis de relever que ces bébés décelaient cette opposition pourtant absente du système phonétique de leur langue maternelle. DEHAENE-LAMBERTZ (1999) a plus récemment observé cette capacité en étudiant les réponses auditives de sujets âgés de 3 mois soumis à des tâches de discrimination, à l'aide de la technique des potentiels évoqués. Dans l'une de ses expérimentations, elle confronte des nourrissons français à différents continuums sonores, chacun constitué de 4 syllabes synthétiques. Les 3 premières séquences sont identiques et la troisième varie. L'opposition est marquée soit par un changement sans valeur linguistique, c'est-à-dire un changement intra-catégorie comme par exemple /ba/1-/ba/2, soit par un changement inter-catégorie linguistiquement significatif comme /da/-/ba/. Les deux types de changements sont perçus. Néanmoins, l'enregistrement de l'activité électrique du cerveau a tout de même

présenté des réponses plus amples et plus diffuses pour le deuxième type de contraste. En utilisant le même paradigme, elle a testé le potentiel perceptif de l'adulte français au moyen de contrastes inter et intra-catégorie, portant sur le lieu articulatoire, présents et absents de la langue française : /ba-da/ et /da-dja/. 81 % des changements inter-catégories sont perçus contre 13 à 19 % pour les autres. La langue environnementale exerce donc une influence sur la perception des phonèmes chez l'adulte, alors que la faculté de perception semble plus performante chez le nourrisson.

Les contrastes segmentaux semblent particulièrement bien perçus à la naissance, pourtant il semblerait que l'unité perceptive de base soit la syllabe. Dans cette perspective, BIJELJAC-BABIC, BERTONCINI et MEHLER (1993) ont montré qu'un enfant de 4 jours peut discriminer des énoncés bisyllabiques et trisyllabiques. Dans la même intention, YAMASAKI (1998) a tenté de vérifier quelle était l'unité rythmique qu'utilisait le nouveau-né pour traiter le flux de la parole. 26 bébés français de 2 à 4 jours furent exposés à des unités moraïques insérées dans des mots japonais. Il a été démontré que les nouveau-nés ne discriminaient pas ces unités malgré la mise en place d'un contexte simplifié. Ces résultats confirment donc que l'unité de segmentation de base chez le nourrisson est la syllabe. L'enfant adapterait ensuite sa représentation à son environnement linguistique (BEST 1991).

2.2.1.1.3. La structuration de l'espace perceptuel

Selon l'hypothèse de KUHL *et al.* (1992), l'exposition aux phonèmes d'un environnement linguistique spécifique structurerait l'espace phonétique autour de prototypes impliquant une réorganisation de la perception : c'est ce qu'elle a appelé l'effet « *magnet* ». De ce fait, une opposition phonémique intra-catégorielle se montrerait d'autant plus difficile à percevoir que l'une des composantes de ce contraste serait proche du prototype. En d'autres termes, un phonème est plus difficile à discriminer s'il est présenté en opposition au prototype que s'il est opposé à un élément non prototypique. KUHL *et al.* (1992) fixent la restructuration de l'espace vocalique à 6 mois. Dans l'expérience qu'elle a menée, son équipe a testé la discrimination du /i/ chez des bébés suédois et américains de 6 mois pour vérifier si, à cet âge, la représentation des voyelles s'organise déjà autour des prototypes de la langue environnementale. Le suédois et l'anglais possèdent la voyelle /i/, mais en offrent une organisation différente. L'enfant est alors soumis à l'écoute d'un son de référence répété une fois par seconde. Puis ce son change. Si l'enfant tourne la tête au moment du changement : un petit jouet animé s'éclaire, sinon il reste invisible. L'enfant apprend, de cette manière, à tourner la tête quand il perçoit une nouveauté. Les réactions des sujets ont révélé certaines irrégularités. Les américains ont éprouvé des difficultés à distinguer les contrastes proches du prototype de l'anglais, alors que ces sons n'ont posé aucun problème aux petits suédois. En revanche, ces derniers ont rencontré le même obstacle lorsqu'ils étaient confrontés à des échantillons voisins du modèle suédois. À six mois, la représentation de l'espace vocalique serait donc adaptée à l'organisation vocalique de la langue.

La réorganisation de l'espace perceptif des consonnes est plus tardive et souvent corrélée à la naissance de la reconnaissance des éléments du lexique (BOYSSON-BARDIES 1996). On observe un déclin de la discrimination consonantique vers 10 mois. WERKER et TEES (1984 cités dans BOYSSON-BARDIES 1996) ont contrôlé la capacité d'enfants anglo-canadiens, âgés de 6 à 12 mois, à discriminer les consonnes de l'Hindi, langue parlée en Inde, et du Thompson, langue indienne parlée au Canada. Les résultats ont montré qu'entre 6-8 mois tous les contrastes étaient perçus. En revanche, à partir de 10-12 mois plus aucun contraste consonantique, qu'il provienne de l'Hindi ou du Thompson, n'était saisi. Entre 8 et

10 mois les résultats s'avéraient plus nuancés, comme s'il s'agissait d'une phase transitoire, la moitié des sujets discriminait encore les oppositions, l'autre non.

Le nourrisson va donc apprendre à structurer son système perceptif (FABER & BEST 1993, MAYE *et al.* 2002) en se focalisant sur les contrastes significatifs de son système langagier, en commençant d'abord par ceux des voyelles pour ensuite atteindre ceux liés aux consonnes. En effet, les catégories phonémiques se dessinent sous son influence et de la même manière, les frontières psycho-acoustiques universelles, établies au préalable entre les catégories non pertinentes, se dissipent.

2.2.1.2. Sur le système de production

La langue maternelle va également influer sur le système de production qui va peu à peu se structurer en fonction de l'environnement linguistique.

2.2.1.2.1. De la perception à l'action

La perception jouerait un rôle primordial dans l'organisation temporelle et gestuelle de la parole précoce (DELAUNAY 1995). Les patrons sonores des réalisations environnantes, mais aussi ceux de ses propres réalisations, vont permettre au bébé d'établir un lien entre le geste articulatoire à réaliser, son timing et son résultat acoustique (VIHMAN 1993). Ainsi, selon STUDDERT-KENNEDY (1985 a, 2000), la perception et l'action seraient les composantes d'un système unique qui s'influencent mutuellement. Cette opération serait possible parce que l'information acoustique aiderait directement à spécifier l'action à exécuter. L'imitation joue un rôle important dans le développement de la parole. L'imitation serait alors un mode d'action spécialisé qui requerrait, de l'imitateur, de trouver dans l'acte articulatoire d'un modèle à la fois les éléments de l'acte et leurs relations spatio-temporelles. Aussi, pour tirer les instructions articulatoires du système environnant, l'organisation perceptuelle du bébé devrait apparaître sous une forme accessible au mécanisme de production (DAVIS & MACNEILAGE 2000), et d'un autre côté, le bébé devrait être en mesure d'évaluer ses propres vocalisations en relation avec le mouvement engagé afin de commencer à ajuster ses tentatives de production. Le système auditif lui permettrait donc de discerner le lien entre les réalisations acoustiques, les organes orofaciaux qui entrent en jeu et les gestes (GUENTHER 1995). L'imitation serait un mécanisme d'apprentissage important qui perdurerait (LOCKE 1969).

C'est en plaçant l'interaction locuteur-auditeur au centre de l'organisation du langage que SCHWARTZ *et al.* (2000) et SCHWARTZ (2001) ont choisi d'unir les plans moteur et auditif dans une Théorie de la Perception pour le Contrôle de l'Action (TPCA). L'apprentissage se ferait ainsi en deux phases, une phase endogène visant à évaluer les possibilités du conduit vocal et une phase au cours de laquelle le bébé appréhende les relations gestes / percepts pour tenter, par la suite, de les transposer à d'autres alternatives afin de s'approcher de la cible perçue.

2.2.1.2.2. Aménagements dans le système de production

Bien que l'apprentissage individuel de la même langue présente de grandes différences dans beaucoup de catégories phonétiques au stade prélinguistique (VIHMAN 1991, VIHMAN *et al.* 1986), de nombreuses études ont présenté l'impact précoce de l'environnement langagier sur le système de production. Selon LOCKE (1993), l'enfant reconnaît et apprend la structure

sonore de sa langue parce qu'il entend et qu'il a une spécialisation neurale qui relie ce qui est entendu et l'information référentielle.

KUHL et MELTZOFF (1996) ont ainsi fait ressortir le phénomène d'imitation à travers l'observation des vocalisations de 72 enfants âgés de 12, 16 et 20 semaines, émises en réponse aux voyelles adultes /a/, /i/ et /u/. Dans la majorité des cas, la production d'une voyelle était stimulée par son écoute. Ces résultats obscurcissent notre cadre théorique, d'autant plus que la période couverte par cette expérience précède celle du babillage canonique. Nous avions défini ce stade développemental comme une période de non contrôle articulatoire absolument déterminée par la dominance du mouvement mandibulaire. L'imitation et sa réussite impliquent en revanche la notion de gestes intentionnels et mieux contrôlés. Aussi, si nous prenons pour exemple la voyelle /u/ produite avec succès, l'engagement des lèvres viendrait, en principe, s'ajouter au cadre d'ouverture. La fiabilité des conclusions de KUHL et MELTZOFF pourrait être remise en question si la transcription phonétique avait été la seule modalité de vérification. Or, une étude spectrale est venue complétée ce protocole. L'espace de dispersion vocalique, sur le plan F1/F2, affiche un chevauchement initial qui va progresser vers des catégories plus distinctes avec l'âge, l'éventualité d'un contrôle aussi précoce sur le système de production n'est donc pas totalement manifeste. Il est donc tout à fait concevable d'accepter une influence de la structuration de la perception sur la production qui se traduirait à l'échelle des performances du tractus vocal du bébé et qui, par conséquent, exclurait toute forme de contrôle établi à 12 semaines.

L'environnement acoustique immédiat agirait sur les réponses sonores du bébé, mais à long terme la langue structurerait l'espace de production. BOYSSON-BARDIES *et al.* (1989) ont montré que les fréquences vocaliques stables de 20 enfants, français, arabes, chinois et anglais, commençaient à converger vers les propriétés respectives de chaque langue à 10 mois. Ainsi les voyelles occupaient-elles différents secteurs de l'espace formantique en fonction de l'environnement langagier donné. Les calculs reposant sur les distances statistiques entre les jeux vocaliques des sujets ont en effet signalé que les enfants différaient plus entre groupes linguistiques qu'au sein d'une même communauté. À première vue, ces données garantissent davantage l'hypothèse linguistique du développement du langage que l'hypothèse motrice (MACNEILAGE). L'hypothèse linguistique, contrairement à l'hypothèse motrice défendant une origine purement neurophysiologique au développement du langage, voit le babillage non pas comme un comportement moteur mais comme un comportement linguistique qui reflète les patrons inhérents au langage naturel. La sensibilité du bébé pour cet environnement particulier favoriserait la découverte des possibilités phonétiques réduites de la langue cible. Pourtant, les données de BOYSSON-BARDIES *et al.* ne sont pas complètement incompatibles avec les contraintes articulatoires généralement admises à 10 mois (*cf.* section 1.1.1.3.), stade des premières variations, par l'hypothèse motrice. Ainsi, il peut *a priori* y avoir une disparité entre les langues, causée par l'apprentissage, sans que des médiums autres que l'axe vertical de la mandibule (*cf.* section 1.1.1.3.) soient engagés dans la tentative d'atteinte des cibles. Par exemple, selon les résultats obtenus, le F1 moyen des locuteurs français atteint 878 Hz et 1047 Hz pour les chinois, alors que le F2 moyen est respectivement de 2456 Hz et 2343 Hz. Le F1, lié au mouvement mandibulaire, présente donc la différence la plus grande. L'influence de la langue maternelle se renforcerait avec l'âge et affecterait même des indices articulatoires du ressort de la spécification intrinsèque (impliquant une valeur distinctive) ou extrinsèque (affecté par l'environnement phonétique). BUDER et STOEL-GAMMON (2002) ont mesuré les durées vocaliques de 443 séquences CVC produites par des enfants anglo-américains et suédois âgés de 24 et 30 mois. Le patron précoce prédit que l'enfant commence par exploiter un patron universel sans tenir compte de

sa langue maternelle, avant de développer les patrons de son environnement linguistique. Rappelons que le suédois est une langue à quantité vocalique, c'est-à-dire qu'une différence de durée vocalique est liée à une spécification intrinsèque qui génère un contraste phonologique, alors qu'une telle différence en anglais est liée à des paramètres purement contextuels : par exemple, le voisement de consonne finale influe sur la durée de la voyelle précédente. De cette manière, l'enfant suédois devrait présenter les caractéristiques de l'influence du voisement de la consonne occlusive finale sur la durée de la voyelle antéposée avant de privilégier les facteurs intrinsèques. Les résultats corroborent la tendance précoce des enfants suédois à faire varier la durée de la voyelle en fonction du contexte consonantique suivie, 6 mois plus tard, par un stade au cours duquel la réaction à l'identité vocalique s'affermit. Une réduction de l'influence du voisement de l'occlusive avec l'âge en suédois (augmentation de la durée devant sourde et diminution devant voisée) est identifiable, tandis que l'enfant américain renforce son patron de base.

Les structures articulatoires ne seraient pas les seules à subir l'influence de la langue perçue. Le paramètre prosodique a également conduit WHALEN *et al.* (1991) à rendre compte de ce principe évolutif. En effet, les séquences redupliquées de 2 et 3 syllabes du babillage de 5 français et 5 bébés anglais (0 ; 5 à 1 ; 1) furent examinées selon deux trajectoires en vue de détecter l'existence de différences intonatives. Les mesures impliquaient d'une part la catégorisation des énoncés en fonction de 5 catégories : montante, descendante, montante-descendante, descendante-montante, plate, et d'autre part la détection de F0 aux début, milieu et fin de chaque syllabe. Les deux types de données ont ainsi présenté des différences significatives précoces entre les deux communautés linguistiques. 65 % des énoncés des deux groupes furent classés montants ou descendants. Une relative égalité de la distribution fut observée chez les bébés français, tandis que 75 % des énoncés anglais furent jugés descendants. Ces patrons semblent par conséquent refléter les distributions relatives de F0 dans les deux langues adultes.

Enfin, la comparaison enfants entendants *vs.* enfants sourds peut également nous apporter de nouveaux indices quant à l'influence de la perception sur le système de production. Ainsi, dans une étude menée par STOEL-GAMMON (1988), les transcriptions phonétiques de 48 échantillons de babillage de 11 sujets normo-entendants, âgés de 4 à 18 mois ainsi que 39 échantillons de 14 sujets malentendants, âgés de 4 à 39 mois, ont été analysés dans le but de déterminer les inventaires respectifs des phonèmes consonantiques. La mise en parallèle des groupes a révélé que les répertoires des sujets malentendants étaient généralement plus petits que ceux des enfants ne présentant aucun trouble auditif dès 4-7 mois. Les analyses du lieu et du mode articulatoires ont montré que les inventaires des sujets malentendants possédaient une plus grande proportion de consonnes labiales et de consonnes prolongeables telles que les nasales, les glides ou les fricatives. En revanche, ils présentaient un rendement plus faible d'alvéolaires et d'occlusives. En somme, l'inventaire consonantique des bébés malentendants tend à conserver sa taille ou à diminuer avec l'âge alors que celui des sujets normo-entendants augmente. Ces résultats illustrent donc le fait que l'immersion dans un univers sonore stimulerait la production et sa diversité. À l'inverse, la défaillance de la faculté d'audition génèrerait une perte des possibilités d'exploration sensori-motrice et, par conséquent, restreindrait l'expansion des possibilités articulatoires.

On peut ainsi récapituler en disant que les premiers mots engendrent une certaine uniformisation (VIHMAN 1991 et VIHMAN *et al.* 1986) dans le système de production. Ce phénomène peut s'expliquer par une perte des gestes phonétiques précoces n'étant pas

supportés par le langage environnant (VIHMAN & BOYSSON-BARDIES 1994). De ce fait, au cours du développement lexical, des effets plus spécifiques deviennent manifestes étant donné que l'enfant écarte les chemins phonétiques les plus rares, c'est-à-dire ceux auxquels l'environnement linguistique ne fournit pas une exposition suffisante, pour se focaliser sur les plus habituels. En somme, deux effets sont observés aux cours de la première année : une perte des traits phonétiques absents du modèle adulte ainsi qu'une intégration des patrons adultes (prosodie, espace vocalique, lieu articulatoire des consonnes).

2.2.2. Emergence d'un contrôle articulatoire

Nous avons mentionné dans les sections précédentes que la modulation du cadre dans sa dimension verticale ainsi que les patrons de cooccurrence attribués aux cadres antérieur et postérieur étaient à l'origine des premières variations observées au cours des productions précoces. Ces dernières seraient le résultat de l'absence d'un contrôle moteur dans la mesure où elles s'avèrent physiologiquement déterminées à la fois par la dominance du cadre mandibulaire et l'inertie des autres articulateurs.

L'habileté motrice se développera donc quand les articulateurs, autres que la mandibule, se dissocieront du cadre syllabique pour se déplacer indépendamment. Dans la partie suivante, nous privilégierons l'observation de l'évolution de l'autonomie de la langue et des lèvres.

2.2.2.1. Indépendance langue-mandibule

Pour sortir de cette disposition à l'inertie initiale, la langue devra se mouvoir au sein même d'un cadre syllabique, c'est-à-dire changer sa position d'une phase à l'autre, de façon à se libérer de l'influence du support mandibulaire.

L'apparition d'un nouveau patron associatif (LC : labial-coronal) mais aussi des données articulatoires marquant un contrôle différentiel des gestes de la langue et de la mandibule nous permettront d'établir cette progression.

2.2.2.1.1. Un autre patron LC

L'indépendance segmentale, et par conséquent le contrôle articulatoire, pourrait s'accroître dans une tendance à la variation intercyclique appelée « *fronting* » (MACNEILAGE & DAVIS 2000 a, b). Au cours des premiers mots, l'agencement général serait d'amorcer l'énoncé avec une consonne labiale et de le prolonger avec une coronale, ou plus exactement par une combinaison consonne labiale-voyelle-consonne coronale, c'est-à-dire l'initiation d'un cadre pur suivi d'un mouvement lingual lors de la production du second cadre donnant lieu au patron LC (MACNEILAGE & DAVIS 2003). Ce patron serait produit même lorsque le mot cible présenterait le patron opposé.

On interprète ce phénomène de « *fronting* » comme une réponse liée à la simplification des productions quand celles-ci sont associées à une charge sémantique. En effet, les cadres intégrant des consonnes labiales et des voyelles centrales pourraient être plus faciles à produire que les cadres de type consonne coronale + voyelle antérieure, étant donné qu'ils impliquent la réalisation d'un mouvement lingual antérieur alors que les premiers relèvent du cadre pur. Il existerait alors une tendance à initialiser un système d'actions par le mouvement le plus simple (MACNEILAGE 1998). Ainsi, l'ajout d'une charge cognitive supplémentaire, en l'occurrence lexicale, à la vocalisation engendre une augmentation de l'usage des cadres purs au début des réalisations.

Le développement de cet effet est capital pour l'évolution et l'acquisition car il élève la complexité ainsi que le nombre de patrons dissyllabiques possibles. En réalisant un mouvement de la langue après le premier cadre, au lieu de la positionner avant le début de l'énoncé, une discontinuité de l'output est provoquée. Il peut alors s'agir d'une étape supplémentaire pour le contrôle de la voyelle interposée qui peut ainsi être réalisée soit en fonction de la consonne précédente, soit avec la suivante, ce qui étend une nouvelle fois le potentiel de combinaisons.

2.2.2.1.2. Des gestes différentiels

Progressivement, la mandibule, articulateur dominant, va intégrer les mouvements indépendants de la langue.

Les données de SUSSMAN *et al.* (1996 et 1999) ont ainsi permis de rendre compte de l'émergence du contrôle articulatoire à travers l'étude des mouvements linguaux intra-syllabiques. À cet effet, les productions [bV], [dV] et [gV] d'un jeune sujet ont été acoustiquement analysées grâce au recueil des valeurs fréquentielles de F2 au début de la transition CV et au centre du noyau vocalique. Le calcul des équations du locus a permis à ces auteurs d'interpréter l'évolution du phénomène de coarticulation, entre 7 et 40 mois. La pente de la droite de régression de F2, tracée en fonction du lieu articulatoire consonantique (labial, alvéolaire, vélaire), fournit alors un indice numérique du contrôle séparé des composantes consonantique et vocalique au sein de la syllabe. Une pente s'approchant de 0 reflète une absence de coarticulation, en revanche une pente se rapprochant de 1 révèle une coarticulation maximale. Aucun consensus n'est véritablement apporté par la littérature quant à l'évolution de l'indépendance inter-segmentale. Certains auteurs revendiquent une coarticulation plus marquée chez l'enfant que chez l'adulte (NITTROUER *et al*. 1988, NITTROUER & WHALEN 1990), d'autres, au contraire, une coarticulation plus faible (KENT 1983). En effet, une ambiguïté subsisterait quant à l'évaluation du degré de coarticulation au stade du babillage. Ainsi, si l'on se place du côté de la théorie de MACNEILAGE, faut-il considérer une absence de coarticulation du fait de la seule activité de la mandibule ? Ou au contraire, faut-il admettre une coarticulation très marquée parce que l'oscillation mandibulaire crée une solidarité entre les composantes vocalique et consonantique de laquelle résulte une forte influence mutuelle (patrons de cooccurrence) ?

Les inférences sur l'émergence progressive de l'indépendance segmentale de C et V dans les trois environnements furent réalisées en référence à trois périodes principales du développement langagier : le babillage, les premiers mots et la parole (SUSSMAN *et al.* 1996 et 1999).

L'émergence de l'autonomie segmentale ne suivrait pas un chemin déterminé, mais pourrait engager un patron évolutif différent selon le lieu de l'occlusive concernée. Ainsi, les labiales présentent un faible niveau de coarticulation au stade du babillage qui va s'accroître pour commencer à s'approcher de la norme adulte après 10 mois (10-13 mois). Cette carence initiale de coarticulation linguale anticipatoire s'explique par la suffisance des mouvements mandibulaires d'ouverture et de fermeture pour la réalisation syllabique. Néanmoins, ce type de consonnes favorisera la mise en place d'une indépendance anatomique maximale, étant donné que la langue est libre d'adopter toute position vocalique, offrant ainsi une configuration propice à la différenciation gestuelle précoce. En revanche, dans le cas des syllabes alvéolaires, le bébé doit acquérir la différentiation entre deux parties d'un même articulateur, à savoir la pointe de la langue pour la consonne et le dos pour la voyelle. Aussi la forte coarticulation initiale va-t-elle diminuer avec l'apparition des premiers mots pour

rejoindre à 21 mois la norme adulte. Enfin, pour les consonnes vélaires, les contraintes biomécaniques de production sont maximales car les deux composantes sont produites par le même articulateur et la même partie de l'articulateur (corps de la langue). Entre le babillage et les premiers mots, le niveau maximal de coarticulation est maintenu ; et la norme adulte semble atteinte à la fin de la première année.

Pour résumer, il semblerait que l'émergence de l'indépendance segmentale de C et V, avec l'accroissement de l'âge, se manifeste dans certaines configurations associatives par une augmentation de la coarticulation (b) et dans d'autres par sa réduction (d). En dépit des différences observées en fonction de la consonne, il apparaît nettement que la dissociation gestuelle, même si elle n'est pas encore optimale, est perceptible dès la fin de la première année. Son développement va se poursuivre à travers la manifestation d'un accroissement de variabilité aux environs de 21 mois.

2.2.2.2. Indépendance lèvres-mandibule

De la même manière que la langue, les lèvres vont progressivement se dégager du patron de déplacement mandibulaire prématurément établi.

Les observations cinématiques des déplacements de cet articulateur chez trois groupes de locuteurs (4 ans, 7 ans et jeunes adultes) ont permis à SMITH et GOFFMAN (1998) de déterminer que dès 4 ans les mouvements de la lèvre inférieure, bien que plus lents et plus variables, suivent une direction similaire à celle des patrons matures.

GREEN *et al.* (2000) ont décrit l'évolution du contrôle indépendant des lèvres et de la mâchoire grâce à l'observation de leur coordination spatiale et temporelle au cours du processus de parole. Les auteurs posent l'ambiguïté de l'interprétation de fermeté du couplage interarticulatoire de la manière suivante :

Si le développement de la parole implique la croissance du contrôle indépendant des articulateurs, les déplacements initiaux pourraient être formalisés par un couplage élevé. D'un autre côté, on pourrait trouver une interprétation alternative au couplage ferme et lui attribuer une haute spécification. Ces évaluations peuvent varier en fonction de l'âge et de l'angle sous lequel le couplage est observé.

> « If the development of speech entails increasingly independent control of articulators, we would expect to observe a consistently high degree of interarticulator coupling in early speech: High coupling may be indicative of a lack of coordinative plasticity... Of course, there are alternative interpretations to observations of tight interarticulator coupling. These interpretations will vary with speaker's age and the behaviour under which coupling is observed. For example, a persistently high degree of movement coupling in the young speaker may reflect a severe limitation on the coordinative options available to the child. In contrast, because adult speakers demonstrate the ability to produce highly independent movements of upper lip, lower lip, and jaw, instances of rigid articulatory coupling exhibited in mature speakers reflects highly specified, coordinated movement. » (GREEN *et al.* 2000, p. 241)

> « Si le développement de la parole impliquait l'augmentation du contrôle indépendant des articulateurs, nous nous attendrions à observer un fort degré de couplage interarticulatoire dans la parole précoce : ce fort couplage serait un indicateur du manque de plasticité coordinatrice… Bien sûr, il existe des interprétations alternatives aux observations d'un tel couplage interarticulatoire. Ces interprétations varieront avec l'âge du locuteur et l'angle sous lequel le couplage est observé. Par exemple, un degré fort de couplage des mouvements persistant chez le jeune locuteur pourrait refléter une limitation sévère des options coordinatrices disponibles pour l'enfant. Au contraire,

> parce que les locuteurs adultes présentent l'habileté à produire des mouvements fortement indépendants de la lèvre supérieure, de la lèvre inférieure, et de la mandibule, les cas de couplage articulatoire rigide montrés chez les locuteurs matures reflètent des mouvements coordonnés hautement spécifiés. »

Les déplacements articulatoires de 4 groupes de sujets âgés de12-14 mois, 23-29 mois, 6-7 ans et adultes, ont donc été testés sur les séquences /baba/, /papa/ et /mama/. Il a ainsi été relevé qu'à 1 an, le couplage spatial des lèvres inférieure et supérieure était relativement fort même si les configurations variaient. En parallèle, la coordination lèvres-mandibule s'est avérée plutôt faible (prédominance de la mandibule) en offrant des mouvements opposés : lorsque la mandibule monte, les lèvres descendent. Ce couplage augmentera graduellement avec l'âge. De la même manière, au niveau temporel, la synchronie du mouvement serait également plus grande pour la corrélation lèvre supérieure / lèvre inférieure à 1 an que celle lèvres-mandibule qui s'affermira avec l'âge.

Ces forts couplages spatial et temporel observés entre les lèvres indiquent un manque de plasticité chez l'enfant alors que chez l'adulte ils reflètent un mouvement coordonné hautement spécifié en se couplant aux déplacements de la mandibule. Le déplacement des lèvres serait initialement une conséquence passive du mouvement mandibulaire (1 an), les productions précoces étant marquées par un déplacement prononcé de la mandibule associé à une compression excessive des lèvres. Puis, l'habileté labiale va se développer. À 6 ans, l'enfant se rapproche des patrons adultes : les mouvements, bien qu'encore variables, vont se dissocier et devenir indépendants avec une priorité de la lèvre inférieure (GREEN *et al.* 2002) pour se stabiliser peu à peu.

Toutefois, les mouvements des lèvres et de la mandibule maintiendront un couplage étroit au niveau de leur timing (GRACCO & LOFQVIST 1993). Le degré de couplage serait plus grand pour la fermeture orale que pour l'ouverture. En effet, en examinant la mobilité des lèvres, de la mandibule et du larynx au cours de deux actions de parole différentes, impliquant la fermeture orale pour [p] et la constriction pour [f], chez trois adultes, les auteurs ont pu déterminer que dans le cas de l'ouverture, les lèvres sont encore engagées dans la consonne alors que la mandibule commence à être moins impliquée dans la production de la consonne et serait directement impliquée dans la voyelle suivante.

2.2.2.3. Un développement cyclique

Le développement de l'habileté motrice serait un apprentissage continu ponctué de phases récurrentes.

STUDDERT-KENNEDY (1990) décline le processus de maturation motrice comme une succession de cycles de différenciation et d'intégration. Ainsi, les vocalisations précoces sous-tendraient la différenciation des activités respiratoires et vocales. Le babillage canonique permettrait l'intégration des patrons de constriction et d'ouverture du tractus vocal (de non-parole) dans des structures syllabiques. La période du babillage varié et des premiers mots favoriserait la différenciation des gestes d'ouverture et de fermeture des syllabes successives donnant l'impression de variation entre C et V (différenciation des composantes gestuelles). Et enfin, le stade de l'expansion lexicale (15-24 mois) porterait l'intégration des patrons de gestes récurrents dans des segments phonétiques (intégration des patrons de gestes dans des structures perceptuo-motrices que l'on connaît comme C et V).

En 2000, GREEN *et al.* envisagent eux aussi la succession de cycles dans le développement du contrôle moteur. Dans leur conception, les phases de différenciation et d'intégration sont préservées, mais une dernière phase peut être ajoutée. En d'autres termes, ils distinguent trois phases principales du développement oromoteur, à savoir la

différenciation, l'intégration et le raffinement. La première phase régit l'évolution d'un mouvement de base simple vers un mouvement plus complexe et spécialisé. Au cours de l'intégration, les comportements moteurs acquis sont coordonnés aux contrôles initiaux. Enfin, par le raffinement, les cibles vont subir une spécialisation plus fine.

L'émergence du contrôle articulatoire peut alors être décrite selon un cheminement au cours duquel différentes phases s'enchaînent. La première sous-tend la mise en place de patrons gestuels autonomes, la seconde implique l'assimilation de nouveaux patrons plus complexes et la dernière suppose que les modèles acquis se spécialisent et s'affinent pour ses rapprocher des configurations cibles.

2.2.3. En résumé

Même si le babillage est ordonné par un certain nombre de contraintes physiologiques universellement déterminées, nous venons de voir qu'au cours de la période tardive de ce stade, les premières traces de l'influence de l'environnement langagier sur les systèmes de perception et de production étaient perceptibles. En effet, le potentiel de discrimination initial se spécialiserait et se structurerait autour des prototypes de la langue perçue. Le processus est alors fixé à 6 mois pour les composantes vocaliques et à 10 mois pour leurs homologues consonantiques. De tels aménagements vont dès lors se répercuter sur les réalisations du bébé qui vont s'orienter vers les caractéristiques du langage cible tant au niveau articulatoire que prosodique.

Ces modifications poseraient les bases de l'accroissement de l'habileté motrice à venir. C'est en effet à ce moment que plusieurs développements vont se mettre en place et sous-tendre l'émergence du contrôle articulatoire à venir.

Les premiers indices de variation tels que la modulation du cadre dans sa dimension verticale ou encore les changements intercycliques du cadre n'illustreraient en aucun cas l'apparition d'un contrôle articulatoire, et par conséquent segmental, indépendant. L'accroissement de la faculté motrice de la parole résulterait de la dissociation des gestes de la mandibule et des autres articulateurs. C'est-à-dire que la langue ou les lèvres, entre autres, doivent se mouvoir indépendamment du cadre mandibulaire. Les résultats recensés dans la littérature placent l'initiation d'un tel processus au début de la deuxième année. Cette progression peut alors être décrite sur les bases d'un cheminement séquentiel au cours duquel la différenciation des gestes mandibule/langue-lèvres ainsi que l'intégration des mouvements plus complexes aux patrons de base sont nécessaires. Si l'on accepte une troisième phase de raffinement, les patrons matures acquis subiront ensuite une spécialisation plus fine.

2.3. Conclusion

Le babillage est un acte moteur exclusivement déterminé par un geste mandibulaire relativement régulier. Par ailleurs, l'inertie des autres articulateurs donne lieu à des patrons de cooccurrence prédominants (MACNEILAGE 1998). L'association de ces deux facteurs explique alors en partie le répertoire limité de ce stade développemental. Ces conclusions, s'appuyant sur l'interprétation de transcriptions phonétiques, se heurtent au problème de la subjectivité de l'étiquetage. La faiblesse de ces travaux s'explique, par conséquent, par l'absence de preuves expérimentales, c'est-à-dire de données acoustiques et articulatoires, pouvant confirmer le choix de l'identité de tel ou tel phonème. Cette question avait déjà été soulevée par PETERS (1998) dans son commentaire à MACNEILAGE (1998). Notre objectif,

nous le verrons dans les chapitres à venir, sera d'apporter des données concrètes qui pourraient étayer cette théorie.

Le développement du contrôle oro-moteur évoluerait en majeure partie au cours de la première année. Pour accéder aux comportements matures de la production de la parole, le bébé doit en effet s'affranchir des contraintes physiologiques pesant sur son système de réalisations précoces (MACNEILAGE 1998). La cadre mandibulaire, bien que support ou plus exactement cadre de la parole, devra subir un certain nombre de modifications. Il lui faudra, en particulier, intégrer les mouvements indépendants des lèvres et de la langue. En d'autres termes, l'émergence de l'habileté motrice à des fins de parole transite essentiellement par la dissociation des gestes articulatoires.

Nous insisterons davantage sur l'importance du rôle de la mandibule dans la faculté de parole, mais avant, nous proposons une figure récapitulative du développement articulatoire et segmental entre le stade du babillage et la deuxième année du point de vue des faits et de leur interprétation dans le cadre de la théorie *« Frame then Content »* que nous avons choisie comme pivot de notre travail.

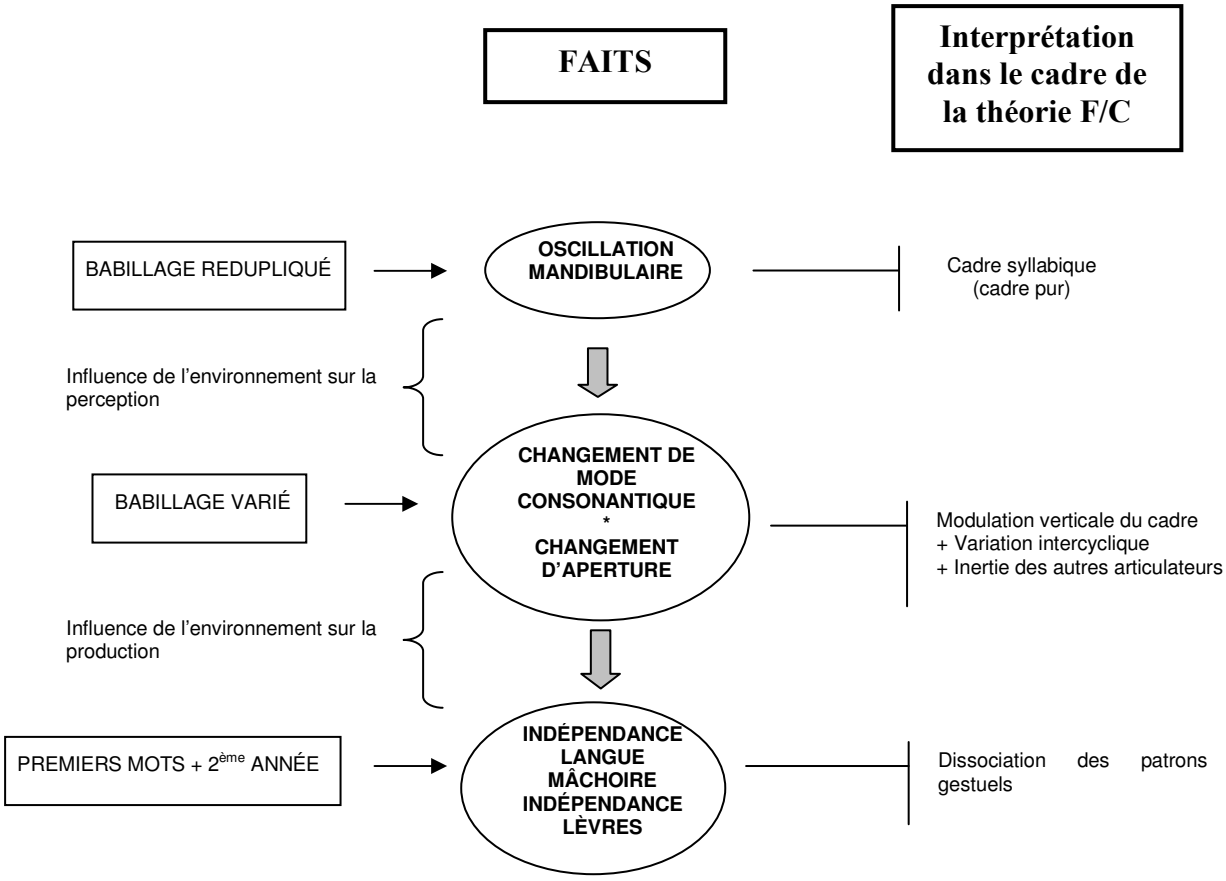


Figure 1. *Schéma récapitulatif du processus de développement du contrôle moteur au regard de la théorie « Frame then Content » de MACNEILAGE (1998)*

Dans la figure ci-dessus, nous synthétisons l'émergence du développement du contrôle articulatoire, au cours de la période allant du babillage canonique aux premiers mots, telle que nous l'avons décrite dans ce chapitre. Nous présentons les indices (les faits) du développement mentionnés et leurs interprétations dans le cadre de la théorie « *Frame then Content* » de MACNEILAGE. Ainsi, au stade du babillage redupliqué, seule l'oscillation

mandibulaire est activée, et sert à la constitution du cadre syllabique. Puis, parallèlement à l'influence de la langue maternelle sur la perception, au stade du babillage varié, les premières formes de variations des constituantes consonantiques et vocaliques apparaissent. Elles s'expliquent par la seule modulation du cadre d'un cycle à un autre, les autres articulateurs n'entrant pas en jeu. Les consonnes commencent par varier en mode et les voyelles en aperture. Puis, la perception va influencer la production. À l'apparition des premiers mots, les gestes des différents articulateurs vont peu à peu se dissocier.

RÉSUMÉ – CHAPITRE III

La mandibule est le seul articulateur activé au stade le plus précoce de babillage : l'exclusivité de la mise en mouvement de la mâchoire inférieure serait le reflet d'un contrôle moteur immature (*cf.* chapitre II). Or, même lorsque le contrôle articulatoire est établi, la mandibule reste un articulateur dominant, on parle d'ailleurs d'articulateur porteur, en agissant d'une part sur le déplacement des autres articulateurs et d'autre part sur l'organisation temporelle de la parole. Son cycle oscillatoire serait un générateur de rythme relativement stable.

Cette influence de la mandibule sur le système articulatoire pourrait trouver une explication phylogénétique. En effet, l'oscillation mandibulaire à l'origine de la parole serait issue du cycle d'ingestion. Ces deux activités partageraient certains patrons cérébraux.

Mots clés : mandibule – anatomie – rythme oscillatoire – langue – lèvres – vélum

***
**
*

ABSTRACT – CHAPTER III

The mandible is the only articulator activated during the earliest babbling stage: exclusive activity of the lower jaw may reflect immature motor control (*cf.* chapter II). However, even when motor control is established, the mandible is still a dominant articulator, called carrier articulator, because it acts on one hand on the other articulators' displacements and on the other hand on the temporal organisation of speech. Its oscillatory cycle would be a relatively stable rhythm generator.

This mandibular influence on the articulatory system could find a phylogenetic explanation. Indeed, the mandibular oscillation at the origin of speech would derive from ingestion cycles. These two kinds of activity would share similar cerebral patterns.

Key words: mandible – anatomy – oscillatory rhythm – tongue – lips – velum

***
**
*

CHAPITRE III

LE RÔLE DÉTERMINANT DE LA MANDIBULE

3.0. Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons montré la contribution de la mandibule dans la mise en place des patrons moteurs précoces. Le mouvement de base de cet articulateur, c'est-à-dire l'alternance régulière de ses phases d'abaissement et d'élévation, participerait seul à l'établissement du cadre syllabique, lui-même défini par MACNEILAGE (1998) comme le support des productions de parole. La mandibule fonctionnerait, par conséquent, comme une ossature sur laquelle viendrait se superposer le mouvement d'autres articulateurs.

À travers une revue de la littérature, nous avons précisé comment la dominance de ce déplacement affectait les réalisations au stade du babillage. Cependant, il nous reste à expliquer pourquoi l'oscillation mandibulaire déterminerait l'ensemble du système de productions. En d'autres termes, il s'agit d'éclaircir l'avantage articulatoire qui lui est assigné en essayant de trouver les fondements de ce rôle prépondérant. Plusieurs pistes peuvent être suivies. La vérification des fonctions de la mandibule chez nos ancêtres pourrait éventuellement fournir une source de renseignements. Peut-être existe-t-il aussi des réponses dans sa structure physique et dans les conséquences de son activation ?

Nous reviendrons donc plus en détails sur ses fonctions primitives, mais aussi sur ses particularités physiologiques ainsi que sur sa propension à générer un rythme oscillatoire.

3.1. Le mouvement mandibulaire : une fonction et un contour primaires

Le mouvement mandibulaire à des fins de parole serait dérivé d'une fonction primaire et vitale. Ainsi, le cycle d'ingestion pourrait être à l'origine des gestes visuo-faciaux de communication et de la parole, de même que le principe de cyclicité serait à la base de nombreuses activités motrices du règne animal.

Nous développerons donc ces hypothèses, souvent discutées, dans les sections à venir, en insistant sur le lien que le patron de base de la parole entretient avec le cycle d'ingestion

d'une part et les gestes visuo-faciaux de communication d'autre part. Puis nous témoignerons de l'importance des cycles biphasiques dans le système moteur de l'hominidé.

Notons que cette prospection s'appuie principalement sur les travaux de MACNEILAGE.

3.1.1. Le lien entre le cycle d'ingestion et la parole

La conception darwinienne (DARWIN 1859) défend le postulat de la descendance avec modifications dans le sens où, du réagencement de fonctions établies résultent de nouvelles possibilités. De ce fait, l'oscillation mandibulaire ordonnerait, à l'origine, l'activité de nutrition et aurait été modifiée pour se prêter à l'objectif de communication (MACNEILAGE 1998).

La viabilité de cet argument ne vaut que si l'on refuse l'assimilation de la mastication à un patron moteur trop simple pour servir de précurseur potentiel à la parole. Au contraire, LUSCHEI et GOLDBERG (1981) mettent en avant la complexité d'un tel mouvement. Pour eux, les mouvements de mastication sont en fait très complexes et doivent amener les dents à porter la nourriture dans un chemin précis.

> « Movements of mastication are actually quite complex and they must bring the teeth to bear the food in a precise way » (LUSCHEI & GOLDBERG 1981, p. 1238)

S'il est difficile d'accepter le lien direct entre les cycles oscillatoires d'ingestion et ceux de parole, c'est aussi en partie parce que ces habiletés motrices aboutissent à des résultats sensiblement différents. MOORE (2004), dans une revue de la littérature sur le développement physiologique de la parole, insiste sur le fait que la comparaison des patrons d'activation des muscles engagés pour la parole et d'autres comportements moteurs oraux précoces, révèle certaines dissemblances (MOORE *et al.* 1988). La parole émergente présenterait ainsi une plus grande stabilité que la mastication, la succion ou autre mouvement de la mâchoire chez des enfants de 15 mois. En effet, les signaux EMG associés à la mastication offrent une relative variabilité entre les cycles. Les vocalisations affichent, au contraire, une activation phasique plus régulière, un couplage fort entre les muscles, une synchronie fréquente ainsi qu'une coactivation des antagonistes de la mandibule (MOORE & RUARK 1996). Cette dernière observation pourrait suggérer la présence d'infrastructures coordinatrices distinctes pour la mastication et la vocalisation même à un stade précoce du développement. Une autre explication, d'ordre fonctionnel, apportée par JÜRGENS (1998), contesterait l'hypothèse que la parole dériverait de la mastication. En effet, ces deux activités ne répondent pas à la même fréquence oscillatoire : la première étant générée sur un rythme de 5 Hz et la seconde sur un rythme de 1.5 Hz.

Cependant, la mastication et la succion sont des facultés qui partagent des similarités évidentes avec la parole, par le fait qu'elles impliquent toutes deux des cycles successifs d'oscillation mandibulaire associés à l'alternance des phases d'ouverture et de fermeture de la cavité buccale. LUND et ENOMOTO (1988) ont notamment caractérisé la mastication comme un des types de mouvements rythmiques réalisés par l'action coordonnée des muscles masticatoires, faciaux, linguaux, du cou et supra et infra hyoïdes.

> « One of the types of rythmical movements that are made by coordinated action of masticatory, facial, lingual, neck and supra- and infra-hyoid muscles » (LUND & ENOMOTO 1988, p. 49)

La contiguïté des facultés d'ingestion et de parole intègre aussi le niveau cérébral (*cf.* chapitre II). En effet, rappelons que ces deux fonctions activeraient des régions communes du cortex pré-moteur à savoir les aires 44 et 6 de Brodmann (*cf.* figure 2). La zone 44 se situe dans la région inférieure du lobe frontal recouvrant une partie de l'aire de Broca chez l'homme. L'aire 6, en revanche, se situe dans la région supérieure du lobe frontal.

Ces deux régions corticales interviennent alors dans le contrôle moteur du cycle mandibulaire et par conséquent celui du cadre chez l'hominidé et du cycle d'ingestion des mammifères (*cf.* chapitre II, section 2.2.).

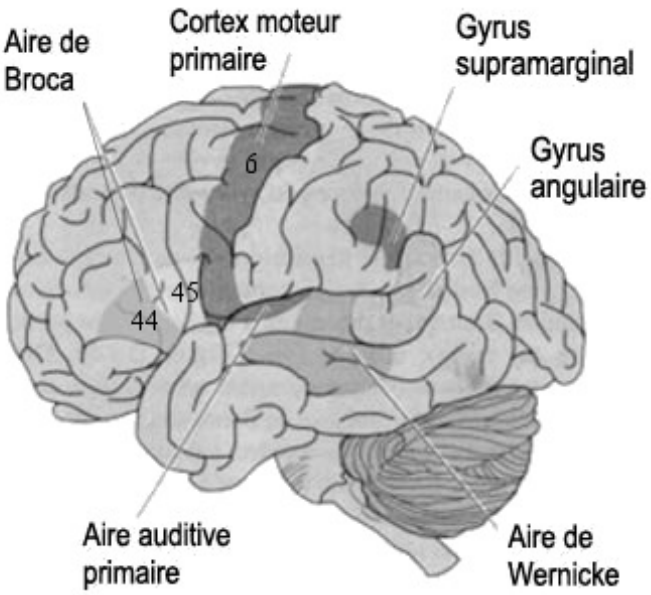


Figure 2. *Vue latérale externe du cortex gauche marquant, entre autres, les aires impliquées dans la parole ainsi que leurs homologues correspondant à la classification de Brodmann*[6] *(adaptée de* **http://www.lecerveau.mcgill.ca/flash/a/a_10/a_10_cr/a_10_cr_lan/a_1**)

3.1.2. Les gestes visuo-faciaux de communication

Ainsi, les cycles d'ingestion impliquant l'oscillation mandibulaire remonteraient probablement à l'évolution des premiers mammifères, il y a environ 200 millions d'années, et auraient été modifiés pour des besoins de communication. Compte tenu de leurs similarités physiologiques et cérébrales, on peut naturellement rapprocher les cycles d'ingestion, les gestes visuo-faciaux de communication chez le primate et la parole humaine.

Au cours du développement phylogénétique, les gestes visuo-faciaux de communication distinctifs impliquant l'interaction sociale tels que le claquement de lèvres ou le claquement de langue et le claquement de dents sont apparus. La description de REDICAN (1975) du plus commun d'entre eux, le claquement de lèvres, laisse supposer la superposition des ces deux facultés sur le même patron oscillatoire que l'ingestion. Ainsi, au cours de ce

[6] Il existe plusieurs types de subdivisions du cortex. La première attribue un nom dans l'espace anatomique à chaque région (ex : gyrus frontal inférieur droit ; cette classification n'est pas présentée ici). La seconde délimite certaines régions fonctionnelles (ex : aire de Broca). La dernière, connue sous le nom de classification de Brodmann, allie les descriptions anatomique et fonctionnelle et scinde le cerveau en régions auxquelles sont attribués des chiffres allant de 1 à 52. Il n'existe pas une corrélation stricte entre les localisations de chaque subdivision. Cependant, l'aire de Broca correspond, par exemple, aux zones 44 et 45 de Brodmann.

geste, la mâchoire inférieure monte et descend, mais les dents ne se rencontrent pas. En même temps les lèvres s'ouvrent et se ferment légèrement et la langue avance et recule entre les dents, de telle sorte que les mouvements sont habituellement assez audibles…Les mouvements de la langue sont souvent difficiles à voir, étant donné que la langue passe rarement au-delà des lèvres.

> « The lower jaw moves up and down but the teeth do not meet. At the same time the lips open and close slightly and the tongue is brought forward and back between the teeth so that the movements are usually quite audible… The tongue movements are often difficult to see, as the tongue rarely protrudes far beyond the lips ». (REDICAN 1975, p. 138)

Cette définition est alors tout à fait adaptable à la parole. Les mouvements verticaux de la mandibule se succèdent d'une manière rythmique dans les claquements de lèvres, comme dans les syllabes.

3.1.3. Un cycle biphasique sous-jacent

Le mécanisme qui unit les cycles d'ingestion et les cycles visuo-faciaux de communication serait donc le même que celui qui unit les cycles d'ingestion et la parole, à savoir les cycles biphasiques modulés.

3.1.3.1. Qu'est-ce qu'un cycle biphasique ?

Un cycle biphasique est un événement constitué de deux phases qui se répète. De manière générale, ce type de cyclicité apparaît comme une des bases des principaux comportements moteurs du règne animal.

Les exemples de cycles biphasiques sont multiples dans le règne animal. On pourrait citer les battements de cœur, mais selon LASHLEY (1951) les différents types de locomotion dans les milieux aquatique, terrestre et aérien reflèteraient assez bien les patrons de mouvements ordonnés en deux phases. Selon l'auteur, cette forme de cyclicité serait adaptée à différentes fonctions. En effet, le modèle adopté pourrait être modifié et réutilisé dans des activités différentes.

La marche ou la nage reposent alors sur des phases consécutivement alternées de flexion et d'extension. Si l'on focalise sur le déplacement des bipèdes, par exemple, la jambe en mouvance va se fléchir en quittant le sol. Puis, après y avoir pris appui, elle entrera dans une phase d'extension de façon à propulser le corps vers l'avant et favoriser la flexion de la seconde jambe.

SHAPIRO et ses collègues (1981), en s'appuyant sur le cadre du cycle de la marche de PHILIPPSON (1905), ont décrit le processus de locomotion chez l'humain en filmant des sujets se déplaçant sur un tapis roulant dont la vitesse fut progressivement amplifiée de façon à passer peu à peu d'une marche lente à une course modérée. Ces auteurs ont alors regroupé les quatre phases de PHILIPPSON en deux phases principales : le balancement ou « *swing* » et le posé ou « *stance* ». La première est alors constituée des phases F + E1, et la seconde des phases E2 + E3. F correspond alors à la période où le genou commence à se plier pour décoller le pied du sol et atteindre sa flexion maximale. Le genou commence ensuite son extension en préparation au posé (E1). Une fois le pied au sol, il va subir le poids du corps et entrer en flexion (E2). Enfin, après avoir atteint le point de flexion maximale, le genou commence une nouvelle extension jusqu'à ce que le pied quitte le sol (E3). Il est vrai que la

description de Philippson n'intègre pas véritablement la marche dans un cycle biphasique, puisqu'il serait, selon leur conception, constitué d'une phase de flexion (F) et de trois phases d'extension (E). Néanmoins, il est intéressant de constater que malgré le nombre et le nom attribué aux phases, l'alternance flexion-extension est indéniable. Cependant, cette démonstration reste contestable, nous en sommes bien consciente, mais nous ne cherchons pas à adhérer ou non à une position plutôt qu'à une autre sur ce point. Nous souhaitons seulement mettre en évidence le fait que la cyclicité biphasique est un patron prédominant de l'activité motrice, puisque les descriptions proposées reviennent souvent à un classement binaire. Rappelons que ce système de cycles et de phases a été adapté et rentabilisé dans l'analyse de la parole (*cf.* chapitre V) par des chercheurs tels qu'ABRY *et al.* (1985), SOCK (1998), ou encore DELATTRE et PERRIER (1991).

3.1.3.2. Plus exactement, un cycle biphasique modulé

Chez tous les mammifères, la production vocale, alliant l'opération de respiration et la composante phonatoire, peut être plus généralement décrite en termes de cycles biphasiques modulés. La parole se distingue des autres systèmes d'émissions par la composante articulatoire.

Chaque composante est alors issue d'un cycle biphasique qui sera modulé dans une ou chacune de ses phases pour des besoins de communication.

3.1.3.2.1. La respiration

Le cycle respiratoire, à l'origine développé pour les échanges gazeux avant d'intégrer une fonction communicative, se dissocie tout comme le cycle d'ingestion en deux temps : une phase d'inspiration à laquelle succède une phase d'expiration. Au cours de l'inspiration, le diaphragme s'abaisse de façon à augmenter l'aire de la cage thoracique et les muscles intercostaux externes retiennent la pression pulmonaire. L'expiration s'initie alors au relâchement des muscles intercostaux externes et le diaphragme se relève en libérant l'air des poumons. L'activation des muscles abdominaux viendra accroître l'effet expiratoire.

Au cours des émissions vocales, le flux d'air établi sur la respiration sera modulé dans sa phase expiratoire au cours de son passage dans le larynx en prenant sa sonorité grâce à l'ouverture et fermeture successives des cordes vocales (MACNEILAGE 1998).

> « In respiration, the basic cycle is inspiration-expiration alternation and the expiratory phase is modulated to produce vocalizations ». (MACNEILAGE 1998, p. 501)

3.1.3.2.2. La phonation

De la même manière, le larynx, initialement élaboré comme une valve protégeant les poumons de l'invasion des fluides, va participer à la phonation en activant sur un rythme biphasique le mouvement des cordes vocales. Au cours des émissions sonores, ces membranes vont alors vibrer grâce à l'alternance des phases d'ouverture et de fermeture. Les muscles crico-aryténoïdiens (postérieurs et latéraux) vont successivement provoquer leur ouverture et fermeture alors que les muscles thyro-arythénoïdiens vont participer à la régulation de leur tension.

Ce cycle pourra à son tour être modulé dans sa fréquence au cours des productions vocales, de façon à créer des variations de hauteur (MACNEILAGE 1998).

> « This cycle is modulated in its frequency, presumably in all mammas, by changes in vocal fold tension and subglottal pressure level, producing variations in perceived pitch ». (MACNEILAGE 1998, p. 501)

3.1.3.2.3. L'articulation

L'homme est le seul à surimposer un niveau articulatoire à ses émissions vocales. Nous l'avons mentionné à plusieurs reprises, l'homme adopte une alternance plus ou moins régulière des configurations ouvertes et fermées de sa cavité buccale, au cours de ses productions sonores. La modulation de ce cycle d'ouverture et de fermeture de la cavité buccale, à l'origine du cadre syllabique, va alors créer la première forme de variation consonantique et vocalique (le contenu) (MACNEILAGE 1998).

> « Modulation of this open-close cycle in humans takes the form of typically producing different basic unit-consonants and vowels, collectively termed phonemes – in successive closing and opening phases ». (MACNEILAGE 1998, p. 501)

Il n'y a pas de modulation du système articulatoire chez les primates avancés. Le tractus vocal est alors utilisé uniquement dans une configuration ouverte au cours de l'émission du cri.

3.1.4. En résumé

L'existence de certaines formes de correspondances physiologiques et cérébrales entre le cycle d'ingestion, les gestes visuo-faciaux de communication et la parole humaine a ainsi pu être dégagée. Ces trois structures de mouvements activent la même région cérébrale et se basent sur un patron moteur similaire : l'oscillation mandibulaire. Ce cycle repose alors sur deux phases qui s'enchaîneraient de manière rythmique, à savoir l'ouverture et la fermeture de la cavité buccale respectivement générées par l'abaissement et l'élévation de la mâchoire inférieure. Cette cyclicité biphasique s'inscrit parfaitement dans le modèle de la structuration motrice générale des hominidés. Le contrôle de ce cycle est alors à la base du développement des premiers éléments consonantiques et vocaliques apparaissant dans le cadre syllabique, et de sa modulation résultera la différenciation de ces éléments.

Après avoir cerné la filiation d'un tel patron de mouvements, nous insisterons sur la prépondérance de la mandibule et de son déplacement au sein même de sa fonction langagière ou plus particulièrement sur son rôle articulatoire dominant.

3.2. Son rôle dans l'organisation articulatoire

Dans la ligne de la théorie « *Frame then Content* » de MACNEILAGE (1998), nous avons mentionné à plusieurs reprises que la mâchoire inférieure, plus communément appelée mandibule, se présentait comme l'articulateur dominant de l'émergence de la parole en établissant, grâce à son déplacement vertical, un cadre de mouvements pour les autres articulateurs.

Afin d'illustrer l'implication physiologique de la mandibule au sein du système de production de la parole, nous en proposerons une brève description anatomique avant d'insister sur la précocité de son contrôle moteur.

3.2.1. Une structure rigide : un support articulatoire

La structure anatomique ainsi que les trajectoires de déplacement et les muscles engagés nous aideront, dans un premier temps, à trouver une explication à la fonction prépondérante de la mandibule dans le processus de parole, puis nous verrons comment l'influence de cet articulateur se matérialise.

3.2.1.1. Anatomie d'une structure rigide

Contrairement à la langue, aux lèvres ou encore au palais mou, la mandibule est un articulateur osseux qui intègre le squelette visuo-facial.

La taille de la structure crânienne est nettement corrélée à la forme et au volume des cavités de résonance ainsi qu'à la longueur du conduit vocal (GOLDSTEIN 1980, BECK 1996, dans MENARD 2002). Elle subit une poussée de croissance importante à partir de 6 mois jusqu'à deux ans et se développera encore jusqu'à 20-25 ans (BECK 1996, *cf.* figure 3).

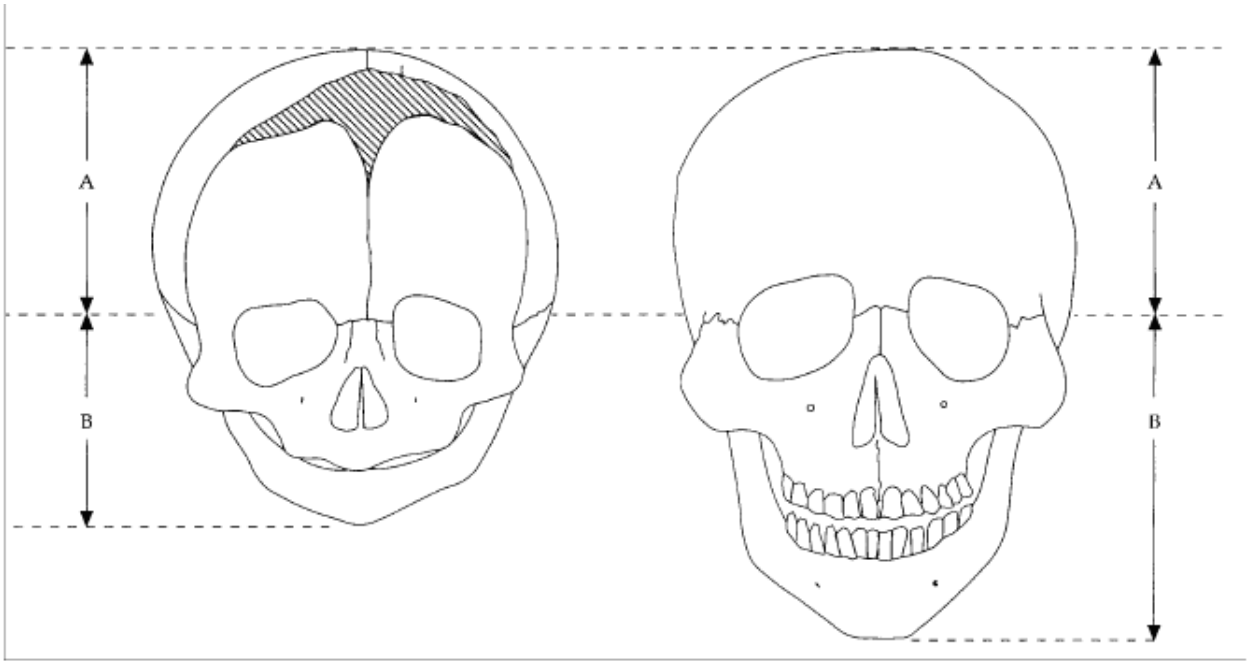


Figure 3. *Rapport entre les dimensions relatives du squelette visuo-facial du nouveau-né (gauche) et celles de l'adulte (droite) proposé par BECK 1996, p. 268*

BOE et MAEDA (1997) ont simulé grâce au modèle VLAM (*Variable Linear Articulatory Model*) les espaces vocaliques maximaux, c'est-à-dire l'étendue de toutes les valeurs formantiques possibles, à différents stades de croissance situés entre 0 et 21 ans. Ils ont donc étudié par pallier d'une année, le champ de ces fréquences sur les plans F1, F2 et F3. Il a alors été démontré que les fréquences formantiques couvraient, de manière générale, un espace plus important chez le nouveau-né que chez l'homme qui diminuait progressivement au cours de la croissance. Cependant, lorsque l'échelle des Hertz fut convertie en Bark, il a été montré que l'amplitude de variation de F1 se réduisait peu à peu au cours de la croissance. F2, en revanche, semble avoir une étendue plus réduite pour le nouveau-né, mais qui reste la même de 1 à 21 ans. Enfin, F3 augmente avec la croissance.

Par ailleurs, SHILLER, LABOISSIERE et OSTRY (2002) ont essayé de quantifier la raideur de la mandibule. Ils ont donc testé la perturbation de la mandibule dans 16 positions

pour les articulations maintenues /i, e, a, ae/. La variabilité cinématique au cours de la production de la parole est élevée dans les directions où la mandibule est basse. Pour les élévations les plus hautes, la raideur est plus grande et la variabilité cinématique moindre.

3.2.1.2. Déplacements et engagements musculaires

Même si l'axe vertical définit la trajectoire de déplacement prépondérante durant l'activité de production de la parole, la mandibule peut se mouvoir dans deux autres directions : horizontale et oblique (HARDCASTLE 1976). Dans la dimension verticale, cet articulateur est alors amené à s'élever ou à s'abaisser, dans la dimension horizontale à s'avancer ou à se rétracter, c'est se que l'on appelle respectivement la propulsion et la rétropulsion. Enfin, la mandibule peut également se déplacer dans la dimension latérale (la diduction). La mandibule évoluerait alors le long de ces axes, mais pivoterait également autour de chacun d'eux (VATIKIOTIS-BATESON & OSTRY 1995). Les déplacements mandibulaires seraient alors spécifiés en rapport à ces mouvements de translation et/ou de rotation (*cf.* figure 4). VATIKIOTIS-BATESON & OSTRY (1995) ont alors cherché à observer les déplacements mandibulaires dans ces trois dimensions afin de déterminer comment ces composantes interagissaient dans le processus de production. Ils ont ainsi conduit une étude Optotrak dans laquelle les mouvements de 2 locuteurs anglais et de 2 locuteurs japonais furent examiner lors de la production de plusieurs séquences de types VCVCa où les cooccurrences VC étaient répétées (ex : asasa). Les résultats confirment d'une part que les composantes principalement actives dans le processus de parole s'inscrivent dans le plan medio-sagittal et suggèrent d'autre part que la translation verticale et la translation horizontale seraient étroitement corrélées. En effet, la translation verticale ne serait pas directement contrôlée mais serait plutôt une conséquence de la translation horizontale faisant avancer le condyle pour atteindre une position haute.

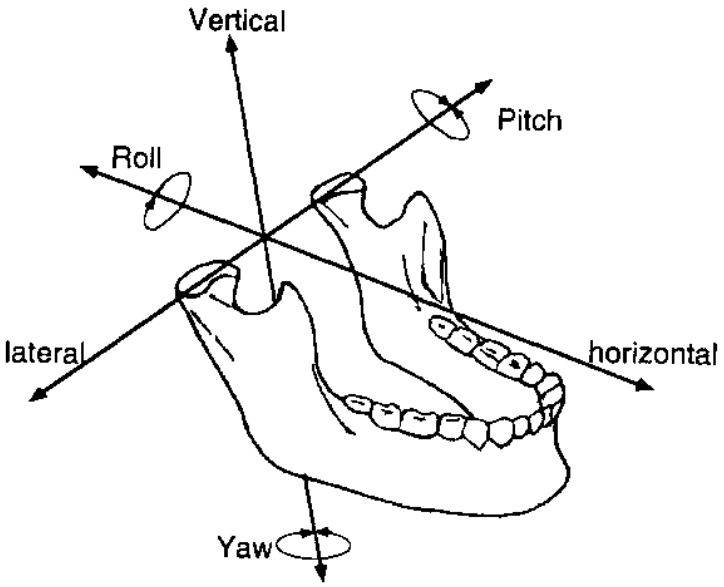


Figure 4. *Schéma présentant les trois axes de translation et de rotation de la mandibule (VATIKIOTIS-BATESON & OSTRY 1995, p. 102)*

En fonction du mouvement engagé, différents muscles sont activés. Selon HARDCASTLE (1976), au cours de l'élévation, le pterygoïde interne, le masseter et le temporal se contractent, pour l'abaissement, ce sont le pterygoïde externe, le geniohyoïde, le

digastrique, le mylohyoïde et le génioglosse qui entrent en mouvement. Dans la dimension antérieure-postérieure, l'avancement de la mandibule est généré par le pterygoïde interne et le pterygoïde externe et son retrait par le temporal, le mylohyoïde, le geniohyoïde, le disgastrique et le génioglosse. Enfin la trajectoire oblique résulterait de l'activation du pterygoïde externe et du temporal (*cf.* figure 5).

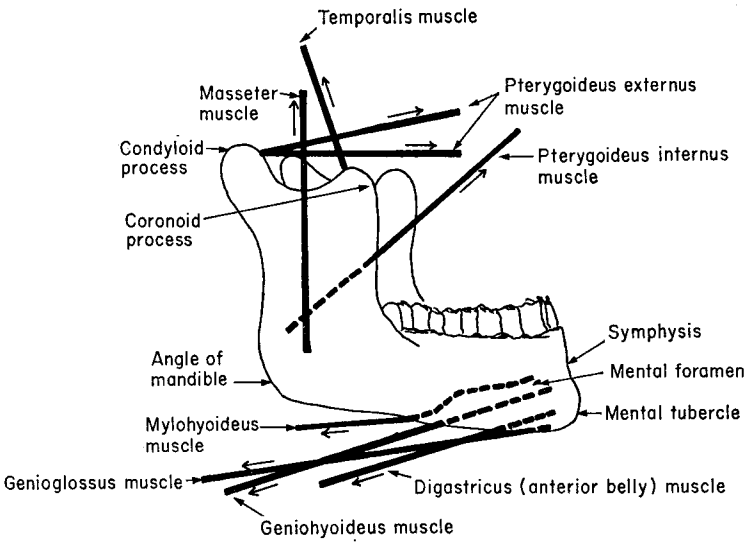


Figure 5. *Vue latérale de la mandibule présentant ses principales parties structurelles et les mouvements de la mandibule quand les différents muscles mandibulaires se contractent par rapport à leur position fixe (HARDCASTLE 1976, p. 107)*

En 1980, BOGNAR apporte quelques modifications au fonctionnement musculaire décrit par HARDCASTLE quant à la position mandibulaire (*cf.* tableaux 1 et 2). Par exemple, selon les deux auteurs, l'action d'élévation engage sensiblement les mêmes muscles. En revanche, chez BOGNAR l'abaissement engage le ptérygoïde externe, le géniohyoïde, le digastrique et le mylohyoïde, alors que chez HARDCASTLE cette action verticale implique également le génioglosse, même si ce muscle est généralement considéré comme un muscle de la langue.

Tableau 1. Récapitulatif des actions des muscles mandibulaires, selon les travaux de BOGNAR 1980, p. 98

MUSCLES	ACTIONS
Temporal	- élévation - rétropulsion
Masseter	- élévation - propulsion
Ptérygoïde externe	- propulsion - diduction - abaissement
Ptérygoïde interne	- élévation - propulsion
Géniohyoïde	- abaissement - propulsion
Mylohyoïde	- abaissement - propulsion
Disgastrique	- abaissement - propulsion

Tableau 2. Comparaison des muscles engagés dans l'activité mandibulaire entre la conception de HARDCASTLE et celle de BOGNAR

DIMENSION	ACTION	Muscles engagés selon **HARDCASTLE**	Muscles engagés selon **BOGNAR**
Verticale	**Abaissement**	**- Ptérygoïde externe** **- Géniohyoïde** **- Digastrique** **- Mylohyoïde** **- Génioglosse**	- Ptérygoïde externe - Géniohyoïde - Digastrique - Mylohyoïde
	Elévation	**- Ptérygoïde interne** **- Masseter** **- Temporal**	- Ptérygoïde interne - Masseter - Temporal
Horizontale	**Propulsion (avant)**	**- Ptérygoïde interne** **- Ptérygoïde externe**	- Ptérygoïde interne - Ptérygoïde externe - Masseter - Géniohyoïde - Mylohyoïde - Disgastrique
	Rétropulsion (arrière)	**- Temporal** **- Mylohyoïde** **- Géniohyoïde** **- Disgastrique** **- Génioglosse**	- Temporal
Oblique	**Diduction**	**- Ptérygoïde externe** **- Temporal**	- Ptérygoïde externe

3.2.1.3. Implication articulatoire

La mandibule est un articulateur porteur. À l'inverse, la langue, les lèvres et le vélum sont des articulateurs portés qui peuvent subir son influence.

3.2.1.3.1. Le plancher lingual

Le déplacement de la mandibule peut influencer celui de la langue en altérant sa position et sa forme (HARDCASTLE 1976). Cette relation s'explique par l'interconnexion physique de ces articulateurs. En effet, la partie pharyngale de la langue et la mandibule sont toutes deux reliées à l'os hyoïde par le génioglosse (*cf.* figure 6). Par ailleurs, la portion mobile de la langue située dans la cavité orale est attachée au plancher de la bouche par une corde membraneuse appelée frenulum.

Au cours d'une investigation cinéfluorographique examinant le déplacement de la mandibule et de la langue dans les productions de deux locuteurs anglo-américains variant systématiquement au niveau de leur contexte phonétique et de leur rythme, l'une des conclusions majeures que GAY (1974) a mise en évidence est l'influence de la mâchoire inférieure sur la hauteur de la langue pour la réalisation d'une voyelle ouverte. Les consonnes /p, t, k/ et les voyelles /i, a, u/ furent combinées dans des séquences trisyllabiques insérées dans une phrase porteuse de façon à créer tous les contextes VCV possibles. Les données linguales et mandibulaires obtenues pour la voyelle /a/ ont alors révélé une corrélation spatiale et temporelle de ces articulateurs prouvant leur interdépendance. La hauteur de la langue covarierait, par conséquent, avec la mandibule. Cette coordination a de nouveau été confirmée par EDWARDS (1984) grâce à l'examen (rayons X) des mouvements articulatoires de ces articulateurs au cours de l'articulation alvéolaire [t] insérée dans un environnement vocalique variable. Les séquences VCV, où V1 pouvait être /i/ ou /a/ et V2 /i/, /a/, ou /æ/, furent prononcées dans une phrase porteuse par une locutrice anglo-américaine, et les transitions voyelle-consonne et consonne-voyelle analysées. Les moyennes de déplacement indiquent que la taille des mouvements était plus petite pour /it/ que pour /at/ dans le cadre VC, que se soit pour la mandibule ou la langue. Dans le contexte CV l'amplitude de déplacement allait dans l'ordre croissant /ti/, /ta/, /tæ/.

Ces affirmations sont néanmoins à pondérer. Certains chercheurs de l'Institut de Phonétique de Strasbourg, comme BOTHOREL (1983), ont cherché à établir les rapports de dépendance, d'indépendance et d'interdépendance pouvant exister entre les différents articulateurs grâce à l'observation, par cinéradiographie, de leur comportement articulatoire et de leur organisation temporelle. Il ressort que les mouvements de la mandibule sont, d'une certaine mesure, indépendants de ceux de la langue.

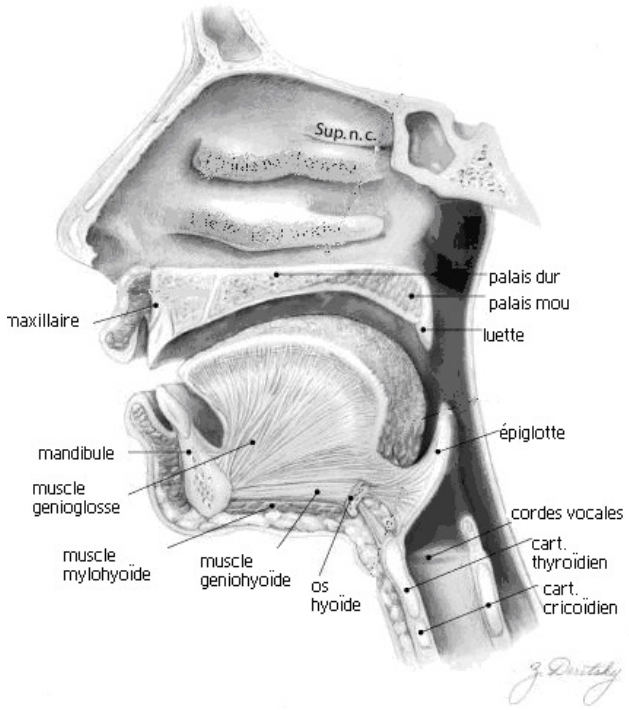


Figure 6. *Coupe sagittale du conduit vocal*
(http://www.cortexity.com/nicksblog/images/pharynx.jpg)

3.2.1.3.2. La mandibule influence aussi le déplacement de la lèvre inférieure

Compte tenu de la connexion physique entre la lèvre inférieure et la mandibule, il se pourrait que les articulations de la lèvre inférieure, dans leur dimension verticale, soient également influencées par cet articulateur.

Dans une investigation de SMITH et GOFFMAN (1998), des énoncés de 6 syllabes (Buy bobby a puppy) produits par plusieurs locuteurs de 4 ans, 7 ans et de jeunes adultes furent analysés dans la perspective de déterminer les caractéristiques cinématiques temporelles et spatiales de la lèvre inférieure. Les auteurs ont focalisé sur les déplacements engendrés lors de la production de deux éléments de l'énoncé, à savoir « bob » et « pup ». Tous les groupes ont alors manifesté une distribution similaire de l'amplitude de mouvement avec un geste plus vaste pour « bob » que pour « pup ».

Ces résultats peuvent dès lors être rapprochés de ceux obtenus pour la mandibule par GAY (1974). D'après ces données, /p/ serait l'occlusive sourde qui engendrerait la plus petite fermeture mandibulaire. Plus précisément, SUSSMAN *et al.* (1973) avait déjà tenté de déterminer la magnitude et la vitesse du déplacement articulatoire des lèvres supérieure et inférieure ainsi que de la mâchoire au cours des productions VCV de 5 locuteurs (dans lesquelles les voyelles représentées étaient /i/, /ɛ/ et /æ/ et les consonnes, /p/, /b/ et /m/). En s'attachant au déplacement mandibulaire, il est apparu que le degré d'abaissement était plus prononcé lors de la production de /b/ que celle de /p/, quel que soit l'environnement vocalique. Cette première conclusion rejoint ainsi celle de SMITH et GOFFMAN (1998) pour la lèvre inférieure.

Ainsi, en considérant différentes études s'attachant à l'observation des mouvements des lèvres et/ou de la mandibule, il apparait que l'amplitude relative de ces articulateurs peut être comparée. L'influence de la mandibule sur la lèvre inférieure peut alors émerger de cette

comparaison. Les mouvements engagés au cours des articulations [p] et [b] révèlent ainsi une amplitude systématiquement plus faible pour [p] que pour [b], que l'on s'intéresse à la mandibule ou aux lèvres.

3.2.1.3.3. Et le vélum ?

Des facteurs physiques ou spatiotemporels pourraient également expliquer une corrélation entre le vélum, la mandibule, et la langue.

La langue et le vélum seraient physiquement connectés par le palatoglosse (WRENCH 1999) ; le potentiel fonctionnel de ce muscle étant d'abaisser la partie antérieure du vélum et/ou de lever et rétracter la racine de la langue. Les enregistrements des mouvements de la langue, du vélum, des lèvres et de la mandibule, réalisés à l'aide d'un articulographe électromagnétique, chez 4 lecteurs anglais, ont permis à WRENCH (1999) de supposer que l'abaissement mandibulaire agissait sur l'abaissement du palatoglosse. Ainsi, en donnant une position basse et avancée au dos de la langue, l'abaissement mandibulaire va accentuer l'abaissement du vélum. La corrélation entre les déplacements du vélum et ceux de la mandibule a été vérifiée par SERRURIER et BADIN (2005) par l'extraction des représentations 3D des organes des tractus vocal et nasal à partir d'images IRM et CT[7] obtenues chez un locuteur produisant un corpus de voyelles et de consonnes tenues. Une analyse en composante principale directe a ensuite été appliquée dans le but d'expliquer le maximum de la variance du vélum par un nombre minimal de paramètres de contrôle. Ces auteurs ont ainsi utilisé la hauteur de la mandibule comme premier paramètre de contrôle articulatoire du vélum. Il ressort que la hauteur de la mâchoire inférieure explique 37 % des variances de tous les points du vélum.

L'organisation spatiale et temporelle de l'activité vélaire témoigne également de l'influence réciproque des articulateurs oraux au cours du processus de production de parole. Dans une tentative d'étendre les observations sur la coordination spatiotemporelle des mouvements articulatoires au vélum, KOLLIA *et al.* (1994) ont tenté d'établir les liens fonctionnels entre la mandibule, les lèvres, et le vélum en examinant et en comparant leur timing relatif et leur configuration. Les gestes de 6 sujets adultes (anglais) ont été enregistrés lors de la production de la séquence /mabnab/. Cette étude focalise par conséquent sur les caractéristiques des mouvements véliques en rapport avec les mouvements labiaux et mandibulaires concomitants et sur le degré de couplage temporel qu'ils entretiennent. Pour les mouvements associés à chaque syllabe, le vélum affichait des patrons qualitativement similaires à ceux des lèvres et de la mandibule, tant au niveau spatial que temporel. Néanmoins, les relations vitesse/déplacement étaient plus robustes pour l'abaissement que pour l'élévation du vélum. Il existe donc une preuve d'une synergie interarticulatoire entre le vélum et la mâchoire, et le vélum et la lèvre supérieure, bien que ce couplage ne soit pas si fort que celui observé entre les articulateurs oraux. En effet, les pics de corrélation vitesse-déplacement liés aux deux mouvements d'élévation vélaires étaient statistiquement significatifs, mais plus faibles que les corrélations observées entre les mouvements oraux. Par

[7] L'IRM (Imagerie à Résonance Magnétique) est une technique d'imagerie médicale, permettant de générer des images 3D du corps humain par exposition à un double champ magnétique qui provoque la résonance des atomes d'hydrogène. On distingue alors l'IRM anatomique utilisé pour la représentation des tissus biologiques de l'IRM fonctionnelle qui permet l'observation de l'activité cérébrale et organique par la mesure du taux d'oxygénation de l'hémoglobine.
La CT (Computerized Tomography ou Tomographie Computationnelle) reconstruit une représentation 3D fixe des tissus biologiques par projection d'un faisceau de rayon X à travers le corps.

ailleurs, le mouvement d'abaissement vélaire, qui affichait les corrélations les plus robustes, montrait aussi un couplage temporel fort avec le mouvement d'abaissement mandibulaire.

3.2.2. Un contrôle moteur précoce

La mandibule, fortement impliquée dans la production de la parole précoce, serait le premier articulateur à atteindre sa maturité. De nombreuses études acoustiques et articulatoires se sont notamment intéressées à l'évolution prématurée de sa motricité.

En 1985, dans une étude de la variabilité des mouvements labio-mandibulaires au cours de la production de séquences du type [ba] et [ma] produites par des enfants âgés de 4 ans, 7 ans, 10 ans, ainsi que par des adultes, SHARKEY et FOLKINS (1985) ont conclu à une diminution de la variation temporelle entre les groupes d'enfants et d'adultes pour la lèvre inférieure. La mandibule, elle, ne semblait pas affectée par le même phénomène. Pour les auteurs, l'absence de diminution de la variabilité entre les groupes d'enfants et les locuteurs adultes est certainement liée au fait que la mandibule se serait stabilisée plus tôt.

Sur un paradigme similaire, SMITH (1995) a également pu observer à travers des réalisations CVC d'enfants âgés de 5 ans, 8 ans et 11 ans, que la variabilité articulatoire se réduisait avec l'âge, mais que ce déclin était beaucoup plus pertinent pour la lèvre inférieure que pour la mandibule. En effet, les gestes de la lèvre inférieure tendaient, de manière générale, à une variabilité plus grande laissant supposer que la stabilisation des articulations mandibulaires lui était préalable. Au vu de ces résultats, l'affinement du mouvement de la mandibule surviendrait entre 5 et 8 ans, alors que le déplacement de la lèvre inférieure se fixerait après 11 ans.

NITTROUER (1993) avait déjà montré, grâce à l'analyse formantique de séquences /schwa-C occlusive-V2/, qu'à l'âge de 3 ans les phases d'abaissement et d'élévation de la mâchoire inférieure suivaient des trajectoires similaires à celles qui sont recensées chez l'adulte, même si souvent les mouvements de l'enfant sont produits plus lentement et avec une plus grande variabilité.

Enfin, les études plus récentes de GREEN *et al.* (2000 et 2002) ont défendu l'antériorité du contrôle de la mandibule sur celui des lèvres. En s'appuyant sur l'hypothèse que chaque articulateur possédait un programme développemental unique, ils ont avancé l'âge de ce développement moteur à 1 an. En effet, à 1 et 2 ans, la stabilité des mouvements mandibulaires de l'enfant s'approchait plus significativement de ceux de l'adulte que les mouvements des lèvres qui s'avéraient beaucoup plus variables (*cf.* figure 7).

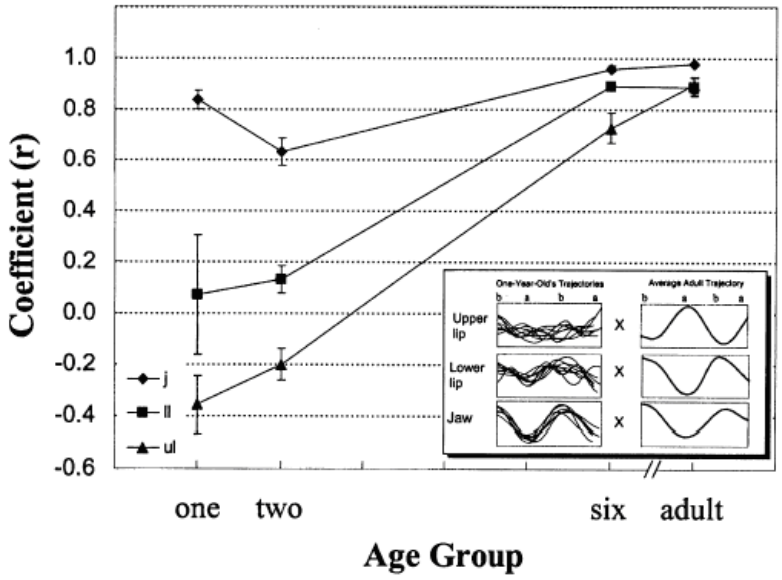


Figure 7. *Indication de la variabilité de la mandibule (J), de la lèvre inférieure (LL) et de la lèvre supérieure (UL). Les barres verticales sont les indices de cette variabilité (GREEN et al. 2002)*

La mandibule serait l'articulateur le plus efficace pour la parole précoce, étant donné que son architecture biomécanique offre une source de stabilité de mouvement. Cela est lié à sa structure osseuse, les lèvres ou la langue étant constituées de structures molles et déformables demandent plus de complexité pour le système nerveux (GREEN *et al.* 2002). GREEN *et al.* (2000) ont sondé les cibles /papa/, /baba/ et /mama/ chez quatre groupes de sujets (1, 2, 6 ans et de jeunes adultes), englobant le continuum développemental du babillage à la parole mature. Il ressort ainsi que la contribution mandibulaire à la fermeture orale serait significativement plus importante à 1 an que dans les autres groupes analysés. La participation de cet articulateur faiblirait entre 1 et 2 ans, alors que celle de la lèvre inférieure augmenterait entre 2 et 6 ans. Enfin, à 6 ans, les déplacements des articulateurs testés rejoindraient ceux enregistrés chez l'adulte, tout en étant plus variables. La mandibule serait donc l'articulateur dominant de la parole précoce (RUARK & MOORE 1997).

3.2.3. En résumé

La mandibule est essentielle au système de production de la parole et à son apprentissage. Si l'on considère l'émergence séquentielle du contrôle moteur, c'est notamment cet articulateur qui atteindrait sa maturité en premier. Au niveau organisationnel, elle influence les dynamiques verticales de certains articulateurs. Cette fonction prédominante est sensiblement liée à ses dispositions physiologiques. En effet, la mandibule est une structure rigide, puisque constituée d'une masse osseuse qui jouerait le rôle d'un support articulatoire stable, limité par son élasticité. Contrairement aux lèvres ou à la langue, dont la plasticité est plus difficilement contrôlable, la configuration même de la mandibule impose certaines contraintes à ses trajectoires de déplacement.

De l'activité cyclique de ce socle articulatoire résulterait, selon MACNEILAGE, le cadre temporel de la parole.

3.3. Un générateur de rythme

La porteuse mandibulaire, dont le mécanisme de mise en mouvement s'inscrit dans une dynamique oscillatoire, serait un générateur de rythme qui poserait les contours de l'organisation temporelle de la parole.

Dans cette partie, nous verrons que le cadre temporel de la parole peut être décrit à travers la fréquence oscillatoire de la mandibule (Hz), mais aussi à travers le rythme d'occurrence (nombre de syllabes / seconde) et la durée syllabique (ms). Puis, nous verrons si ces variables établissent une concordance absolue.

3.3.1. Une fréquence oscillatoire

Même s'il est tout à fait concevable que l'oscillation mandibulaire de la parole dérive d'un cycle préexistant, celui d'ingestion, la littérature fait souvent mention d'une distinction entre le timing des activités motrices de non-parole et celles de la parole.

3.3.1.1. Les actions de non-parole

Les cycles d'ingestion, tels que la mastication et la succion, sont à la base du mouvement mandibulaire primaire qui se serait développé, au fil du temps, pour des besoins de parole.

Chez l'adulte, le rythme de mastication s'enchaînerait sur une fréquence pouvant s'établir de 1.5 Hz (JÜRGENS 1998) à 3 Hz (MORIMOTO *et al.* 1984).

La modulation des patrons de mouvement mandibulaire par l'altération du rythme de mastication fut analysée chez 9 sujets par MORIMOTO *et al*. Les sujets avaient pour tâche de mâcher un chewing-gum à un rythme volontairement déterminé ou établi par un flash lumineux qui variait de 2 à 7 Hz. Les résultats révèlent que la mastication était généralement conduite à une fréquence de 3 Hz lorsque le rythme était volontairement ordonné. Quand il était défini par les conditions expérimentales, la vitesse dépassait rarement 6 Hz. La conclusion principale de ce travail se résumerait donc par la découverte que la mastication normale évoluerait autour de 3 Hz.

Chez l'enfant, en revanche, l'expérience de GALLISTEL (1980), reprise par GOLDFIELD et WOLFF (2003), visant à distinguer les comportements « réflexes » et rythmiques, atteste de valeurs fréquentielles plus lentes que pour l'adulte. Le rythme oscillatoire s'élèverait à 2 Hz lorsque l'expérimentateur effleure la bouche du nourrisson avec son doigt, cette fréquence est également observée pendant le sommeil sans qu'aucune stimulation orale ne soit émise. Le processus bien connu de succion non nutritive serait aussi engagé sur un rythme de 2 Hz, mais quand le flux de lait arrive, la fréquence passerait de 2 Hz à 1 Hz.

3.3.1.2. La parole

La parole adulte serait générée à 5 Hz (JÜRGENS 1998) ou 6 Hz (SOROKIN & GAY 1980, RHARDISSE & ABRY 1994, LINDBLOM 1983). Pour JENKINS (1941), la mandibule couvrirait un rythme de 4 cycles par seconde. Les productions de l'enfant, elles, répondraient à un rythme de 3 Hz. La lecture des travaux de BICKLEY *et al.* (1986), KOOPMANS (1993) et BOYSSON-BARDIES *et al.* (1981) par DUCEY-KAUFMANN (2007) converge vers cette fréquence. Partant de l'hypothèse surprenante que le cadre de la parole pouvait être enchâssé dans celui du signe, DUCEY-KAUFMANN (2005, 2007) a retrouvé cette fréquence dans une

étude dont l'objectif visait à mettre en parallèle l'organisation cyclique du babillage et celle du pointage gestuel. 6 sujets, suivis sur 12 mois, ont alors présenté un mode babillage à 3 Hz alors que leurs pointeurs s'établissaient sur le rythme deux fois moins élevé de 1.5 Hz. Deux syllabes entreraient donc dans un geste de pointage.

Si l'on confronte ces résultats à ceux de PETITTO *et al.* (2001, 2004) sur l'activité manuelle, il est possible de déduire que 3 Hz serait un rythme intrinsèque au comportement du bébé. Reprenons l'expérience : les gestes de deux groupes de jeunes sujets entendants furent enregistrés et observés à 6, 10 et 12 mois par le biais de la technique Optotrak. 3 d'entre eux sont des bébés non exposés à l'input de la parole (parents sourds-muets), alors que les 3 autres le sont. Tous les sujets présentent donc un développement sain dont la seule distinction relève de la nature de l'input familier. L'hypothèse motrice prédit que, parce que les bébés confrontés au langage signé n'emploient pas la bouche et la mandibule pour apprendre la parole, leur activité manuelle pourrait être sensiblement similaire à celle des bébés exposés à la parole. Ce point de vue prédit par conséquent que l'activité rythmique de la main serait indépendante du patron de l'input linguistique. Selon l'hypothèse linguistique, si le babillage reflète le patron du langage, les différences de formes de l'input devraient impliquer des différences dans l'activité manuelle des deux groupes : différences linguistiques et non linguistiques. Les bébés non exposés affichaient une activité manuelle bimodale, c'est-à-dire un mode majeur à 1 Hz et un mode mineur à 2.5 Hz. Les bébés exposés à la parole, en revanche, ancraient leur motricité manuelle dans un cadre unimodal à 3 Hz. Les hautes fréquences reflèteraient dans les deux cas une activité non linguistique, alors qu'1 Hz signalerait l'intention linguistique.

Dans le cadre manuel, il existe donc une opposition comportementale entre les activités linguistiques et non linguistiques. Il semblerait que ce contraste soit aussi identifiable au sein du cadre mandibulaire. Chez l'adulte, en effet, nous avons mentionné que la parole s'établissait sur un rythme de 6 Hz tandis que la mastication s'organisait sur une fréquence préférentielle de 3 Hz. De la même manière, chez l'enfant, la succion serait engagée sur 2 ou 1 Hz alors que le babillage se fixerait autour 3 Hz. La parole s'avère donc plus rapide que la nutrition. Cependant, cette observation ne cautionne pas nécessairement l'éventualité de générateurs de patrons distincts, mais présume seulement d'un niveau de contraintes différent. Dans le cas de la nutrition, il s'agit d'un mouvement naturel, alors que dans le cas de la parole, il est question d'un mouvement spécifique, certes, mais qui n'implique pas l'intrusion d'un corps étranger. Néanmoins, il est intéressant de constater qu'au cours d'une activité autre que le pointage ou l'intention de communiquer, la main se cale sur le même rythme que le babillage ou autour des hautes fréquences avoisinantes. De ce fait, il est tout à fait possible d'envisager que la fréquence de 3 Hz chez le bébé ne soit pas une fréquence aléatoire, mais, au contraire, une fréquence qui ferait partie intégrante du comportement moteur précoce dont l'origine reste à déterminer.

Compte tenu de ces résultats, il apparaît que le cycle mandibulaire est jusqu'à 2 fois plus lent chez l'enfant que chez l'adulte. La rapidité des mouvements de l'adulte par rapport à ceux de l'enfant a fait l'objet d'une étude de SMITH et GARTENBERG (1984), au cours de laquelle, les déplacements de la mandibule et des lèvres inférieures ainsi que leur vitesse furent analysés chez 4 enfants (4 ans et 6 mois, 5 ans et 4 mois, 6 ans et 11 mois et 7 ans) et 3 adultes anglais. La tâche de production intégrait des séquences de type CVC (C1 : /p, b, f/, V : /i, I, a/, C2 : occlusive) au sein d'une phrase porteuse. Il résulte alors que la vitesse de la mandibule se déplace de 55 mm par seconde chez l'adulte *vs.* 24 mm chez l'enfant, soit 2 fois plus rapidement chez l'adulte. Néanmoins, pour que ces données soient réellement

interprétables, certains éléments anatomiques, tels que l'amplitude du mouvement, doivent être pris en considération.

Il est possible que l'adulte déplace ses articulateurs plus rapidement pour couvrir les plus grandes distances de son conduit vocal (KUEHN & MOLL 1976). Or le fait que l'adulte bouge sa mandibule plus rapidement que l'enfant n'est pas un résultat de la configuration du déplacement car les mêmes patrons sont observés dans les deux groupes. En effet, bien que l'adulte possède une mandibule plus grande, l'amplitude de déplacement observée pour l'ouverture maximale atteint 48 mm pour 42 mm chez l'enfant. Les différences de vitesse observées ne sont donc pas directement et totalement liées à la taille du conduit vocal. Si les différences de taille mandibulaire avaient un effet significatif sur la vitesse articulatoire, on pourrait prédire que les différences de vitesse seraient proportionnelles aux différences de taille. Or, la mandibule est 35.45 % plus grande chez l'adulte, mais 50 % plus rapide. Par conséquent, la taille de la mandibule n'est que partiellement responsable. La plus grande variabilité observée chez l'enfant pourrait être l'indication d'un contrôle moteur moins mature à cause de mouvements plus lents. Ainsi, une des possibilités pouvant expliquer la différence de célérité est que les mécanismes périphériques de la parole, moins matures chez l'enfant, limitent le rythme auquel il peut réaliser les mouvements articulatoires résultant dans la production de durées plus longues. Cette observation sera confirmée par d'autres travaux (SMITH & MACLEAN-MUSE 1987 et SMITH & GOFFMAN 1998).

3.3.2. Le timing syllabique

Si l'on considère que la syllabe est le résultat du cycle mandibulaire, l'autre moyen de rendre compte du rythme est de s'intéresser au nombre d'unités produit en une seconde ainsi qu'à leur durée.

3.3.2.1. Le nombre de syllabes par seconde (syll/s)

Dans la littérature, de nombreux travaux révèlent qu'à débit normal, 5 à 6 syllabes sont produites par seconde au cours du processus de parole. Ainsi, en condition de lecture, PASDELOUP (2004, 2005) trouve une vitesse d'articulation moyenne de 4.2 syllabes par seconde en débit lent, 5.2 en normal et 6.8 en rapide. Ses résultats convergent avec ceux de FOUGERON & JUN (1998) qui ont montré, chez 3 locuteurs français, que 5.2 à 6 syllabes, en moyenne, étaient lues dans l'intervalle d'une seconde. La condition de lecture n'enlève rien à la fiabilité de ces chiffres, car le rythme conversationnel normal en français atteindrait, selon les résultats de MALECOT *et al.* (1972) 5.73 syll/s et 5.29 syll/s pour GROSJEAN et DESCHAMPS (1975). VAXELAIRE (1993) relève un rythme de parole allant de 4.2 à 4.6 syll/s en débit normal, et de 5.8 à 6.3 syll/s en débit rapide.

Le rythme d'articulation peut aussi varier en fonction de la langue, mais se maintient dans cette moyenne. DELLWO et WAGNER (2003) ont ainsi testé 16 sujets appartenant à des groupes linguistiques différents, à savoir 5 anglais, 4 français et 7 allemands, au cours d'une tâche de lecture à débit variable (normal, lent, très lent et rapide, très rapide). En vitesse normale, on obtient alors un rythme plus élevé pour le français, avec 5.86 syll/s, que pour l'anglais par exemple : 5.78 syll/s.

Le rythme syllabique peut également dépendre de l'agencement de la syllabe, c'est-à-dire du nombre de phones qui la constituent (CRYSTAL & HOUSE 1990). Ainsi, le rythme articulatoire serait une conséquence naturelle du contenu de la séquence et plus particulièrement du nombre de segments intégrant le groupe consonantique. SIGURD (1973), a cherché à déterminer à quelle vitesse, différents types de syllabes pouvaient être répétées. 9

sujets de langues différentes (allemand, américain, anglais, suédois, coréen) ont été soumis à la répétition de syllabes progressivement accélérées, lesquelles pouvaient être composées de clusters double ou triple. Il ressort que plus long est le cluster, plus faible est la fréquence. De ce fait, quand la syllabe est formée d'une consonne simple, le rythme moyen atteint 6.7 syll/s. En revanche, quand le groupe consonantique augmente, la vitesse d'occurrence décroît. Ainsi, lorsque le cluster est constitué de deux éléments, le rythme syllabique baisse à 5 syll/s et lorsque qu'il contient 3 consonnes, le rythme n'est plus que de 3.6 syll/s.

Chez le jeune locuteur, ce phénomène n'est pas aussi évident. En effet, dans les énoncés monosyllabiques, jusqu'à 20 mois, la durée de la syllabe ne serait pas affectée par le nombre d'éléments. Par exemple, la structure CV serait temporellement égale à la structure CVC. Cependant, à partir de 21 mois, leur durée évolue différemment, et la durée des syllabes à deux éléments diminue alors que celle à trois éléments augmente (KONOPCZYNSKI 1986b). Dans les énoncés polysyllabiques, une évolution semblable est relevée pour les syllabes non finales. Pour les syllabes finales, en revanche, cette distinction reste peu perceptible.

3.3.2.2. La durée syllabique

La durée moyenne d'une syllabe s'inscrit autour de 200 ms. SIGURD (1973) définit une plage pouvant aller de 158 ms à 278 ms, CRYSTAL et HOUSE (1990) lui attribuent une valeur moyenne de 233 ms. Dans leur description générale des productions de 21 sujets à 3, 6 et 9 mois, KENT et MURRAY (1982) précisent que les mesures de la durée syllabique pouvaient être égales ou inférieures à 400ms. La durée de la syllabe est donc plus lente chez le bébé.

Nous avons vu dans la session précédente que, chez l'adulte, la constitution de la syllabe faisait varier le rythme articulatoire. Or, sa position dans le groupe rythmique peut également avoir une incidence sur sa durée. WENK et WIOLAND (1982) ont montré à travers un extrait de l'interview de Pierre Mendès-France, que les syllabes accentuées[8] étaient nettement plus longues que celles qui ne l'étaient pas. Ils ont retenu comme moyenne, 146 ms pour le type CV non accentué et 310 ms pour les syllabes porteuses d'accent. Ces résultats sont confirmés par CRYSTAL et HOUSE (1990). Leur expérience prouve d'une part, que les syllabes précédant une pause sont toujours plus longues que les syllabes non finales ; et d'autre part, que les syllabes portant un accent de type secondaire sont elles aussi allongées (*cf.* JUN & FOUGERON 2000). La longueur d'une séquence CV finale est alors attestée à 350 ms, contre 134 ms dans le cas contraire. Lorsqu'il s'agit d'une syllabe médiane proéminente, la durée moyenne s'élèverait à 206 ms et tomberait à 101 ms si elle n'est pas accentuée.

3.3.3. Et si le cycle n'était pas l'équivalent absolu de la syllabe…

Selon la théorie motrice de MACNEILAGE, seule la mandibule, active dans sa dimension verticale, serait responsable de la production syllabique au stade du babillage. Or, l'observation de la parole adulte a mis au jour l'éventualité que le cycle mandibulaire ne soit pas formellement l'homologue articulatoire de la syllabe. JÜRGENS (1998), par exemple, conteste ce consentement en donnant comme illustration à son opposition certaines séquences VCV. Ainsi, ce type de productions intégrant une consonne vélaire à environnement vocalique identique (ex : [eke]), ou une consonne bilabiale enclavée entre [u] ou [o] (ex : [umo]), ou encore certaines combinaisons d'occlusives dentales et de voyelles antérieures (ex : [idi]) ne seraient pas accompagnées de mouvement mandibulaire. De la même manière,

[8] En français, la dernière syllabe d'un groupe rythmique porte l'accent primaire. Cette accentuation se caractérise par un allongement de la durée.

ROCHET-CAPELLAN et SCHWARTZ (2006) ont confirmé par des données articulatoires que la correspondance entre le cycle mandibulaire et la syllabe n'était pas stricte. Les mouvements de la mandibule de 5 locuteurs furent enregistrés au cours de réalisations d'enchainements CVCV, où C1 était une occlusive coronale et C2 une occlusive labiale ou inversement C1 était une occlusive labiale et C2 une occlusive coronale. La technique Optotrak fut utilisée et la tâche à accomplir sous-tendait une répétition progressivement accélérée puis décélérée des séquences. L'augmentation du débit impliquerait une réorganisation de la coordination entre les constricteurs, de sorte qu'une fois la zone de saturation atteinte, la production d'une séquence bisyllabique bascule sur le mode d'un cycle mandibulaire unique. Ainsi, les productions CVCV avec deux constrictions différentes (labiale-coronale : /pati/) et inférieures à 400 ms peuvent être produites sur un ou deux cycles, alors que les séquences redupliquées (labiale-labiale) se maintiennent systématiquement sur deux cycles mandibulaires.

Cette observation peut être associée aux travaux de RHARDISSE et ABRY (1994), qui ont montré la tendance à l'économie de la syllabe. En effet, dans une séquence bisyllabique comme /alis/, les chercheurs ont pu suivre une hauteur croissante de la mandibule et non pas deux mouvements d'abaissement et d'élévation successifs. La parole adulte reposerait sur le principe de l'économie articulatoire, où les séquences CVCV de type labial-coronal sont plus économiques que les séquences redupliquées (ROCHET-CAPELLAN et SCHWARTZ 2006). C'est en minimisant le nombre de cycles mandibulaires au sein d'une séquence de parole, grâce à une utilisation non systématique de la mandibule comme constricteur, que l'économie devient possible. En revanche, au stade du babillage où les énoncés redupliqués dominent, la mandibule est associée à l'occlusion. Le bébé devra donc apprendre peu à peu à utiliser ses autres articulateurs.

3.3.4. En résumé

Nous venons d'établir les références temporelles du cycle et de la syllabe. Quatre points sont à retenir. Premièrement, le déplacement mandibulaire est plus lent dans les activités de non-parole que dans les activités de parole chez l'enfant comme chez l'adulte. Deuxièmement, le processus de production articulatoire s'initie sur un rythme plus soutenu chez l'adulte que chez l'enfant. L'observation de patrons de vitesse plus élevés chez le locuteur adulte serait le résultat d'un contrôle moteur acquis. Troisièmement, le comportement manuel et le mode babillage d'un bébé soumis à un environnement linguistique sonore s'établissent tous deux à 3 Hz (PETITTO *et al.* 2001, 2004). Cette convergence nous laisse entrevoir une fréquence intrinsèque au comportement rythmique précoce. Enfin, nous avons pu relever une concordance temporelle entre la durée syllabique (200 ms) et la fréquence oscillatoire de la mandibule (5-6 Hz). Cependant, il semblerait que le cycle mandibulaire soit suffisant à la création d'une syllabe, mais l'inverse ne serait pas vrai.

3.4. Conclusion

Le rôle dominant de la mandibule sur le système de production est détectable à travers son influence sur les autres articulateurs tels que la langue, les lèvres ou le vélum.

Cet articulateur rigide, également recruté dans les cycles d'ingestion, serait contrôlé très tôt. En effet, dès le plus jeune âge, les déplacements de la mandibule offrent des trajectoires similaires à celles de l'adulte, sauf qu'ils sont plus lents.

Ainsi, l'une des différences perçues entre les syllabes adultes et celles du bébé s'inscrit au niveau temporel. Une autre distinction s'appuie sur le fait que la réalisation d'une unité

syllabique reposerait sur une alternance systématique des phases d'ouverture et de fermeture au stade du babillage, alors que chez l'adulte ce phénomène ne serait pas récurrent. Le locuteur mature adopterait une stratégie de production qui viserait à l'économie articulatoire dans le sens où il n'utiliserait pas la correspondante cyclique pour l'élaboration de chaque syllabe. La parole n'impliquerait donc pas un couplage systématique de la mandibule et de la langue comme le mentionne la théorie motrice de MACNEILAGE (1998) chez le bébé. Nous pouvons alors émettre l'hypothèse que l'accès au contrôle moteur tendrait à l'indépendance des articulateurs, c'est-à-dire à l'engagement de la langue sans mouvement de mandibule.

RÉSUMÉ – CHAPITRE IV

L'existence d'une unité plus petite que la syllabe, le segment, ne fait pas consensus dans la littérature. Différents raisonnements s'opposent pour défendre la pertinence d'une unité plutôt qu'une autre. Les partisans de l'unité syllabique soutiennent leur conception en s'appuyant sur des phénomènes articulatoires, tels que la coarticulation ou les cycles de sonorité. Mais la syllabe se justifierait également d'un point de vue perceptif et prosodique. Le segment trouve autant d'arguments convaincants. Le segment serait avant tout une unité distinctive et n'en serait pas moins une unité de production au sein de laquelle différents gestes articulatoires se concrétisent. Enfin, si l'on accepte la notion de perception catégorielle, c'est que l'on accepte celle du phonème et de son homologue articulatoire : le segment. Notre travail repose sur l'hypothèse d'une représentation segmentale phonémique du contrôle de la parole adulte. Cependant, nous travaillons dans le cadre de la théorie de MACNEILAGE (1998) et pour nous, ces deux unités ne s'excluent pas l'une l'autre. Au contraire, elles fonctionneraient hiérarchiquement.

Mots clés : segment – syllabe

***
**
*

ABSTRACT – CHAPTER IV

The existence of a unit smaller than the syllable, the segment, is not a consensus in the scientific literature. Different arguments have been opposed in order to support one unit rather than another. Proponents of a syllabic unit, defend their conception by basing their arguments on articulatory phenomena, such as co articulation or sonority cycles. But the syllable could be defended from perceptual and prosodic points of view. The segment finds as much convincing support as the syllable. It would be above all, a distinctive and productive unit within which articulatory gestures take shape. Finally, if we accept the notion of categorical perception, it means that we accept the phoneme and its articulatory homologue, the segment. Our research is based on the hypothesis of a segmental and phonemic representation in adult speech. Nevertheless, the starting point is MACNEILAGE's theory (1998), thus for us, the syllable and the segment are not mutually exclusive. On the contrary, they would function hierarchically.

Key words: segment – syllable

***
**
*

CHAPITRE IV

L'EXISTENCE DU SEGMENT

4.0. Introduction

Nos hypothèses de travail partent du fait qu'il existe une unité de production indissociable au stade le plus précoce de la parole : la syllabe, qui peu à peu va se scinder en ses composantes consonantiques et vocaliques avec l'émergence du contrôle articulatoire. Ainsi, au cours du processus de maturation du développement langagier, la syllabe, initialement déterminée par des facteurs moteurs ou encore physiologiques (*cf.* chapitre III), va se diviser en phases autonomes. Cette fragmentation constituerait alors un des premiers pas vers un contrôle notoire qui marquerait le passage du babillage à la parole.

Or, l'existence d'unités plus petites que la syllabe, en l'occurrence celle des segments, est controversée. Nous avons, par conséquent, choisi d'examiner dans ce chapitre comment la littérature fait état de l'opposition syllabe-segment. Plus exactement, nous considérerons séparément le fonctionnement de chacune de ces entités dans les systèmes de production et de perception de la parole. L'objectif étant d'essayer de se positionner par rapport à la question de l'existence du segment et de sa viabilité.

4.1. La syllabe

Il peut paraître difficile d'évaluer la syllabe comme la juxtaposition de segments délimités par une frontière, alors que la nature même de cette entité reposerait sur les caractéristiques de l'enchaînement et de la connexité.

MEYNADIER (2001), dans un compte-rendu très pédagogique de ses lectures sur la syllabe, montre parfaitement que son existence a été établie au niveau de la production, de la perception et de la phonologie. À notre tour, nous nous inspirerons de ce condensé pour faire valoir les indices qui jettent le doute sur l'éventualité d'une linéarité segmentale sous-tendant le principe de formation de la syllabe.

4.1.1. Sur le plan de la production

Quelle place peut bien couvrir la syllabe au sein du système de production ? Mais aussi, d'un point de vue plus matériel, quels sont les principes articulatoires qui sous-tendent la solidarité de sa structure interne ? Nous tenterons d'apporter quelques réponses à ces deux interrogations dans les sections qui suivent.

4.1.1.1. La structuration de l'output

Le rôle fonctionnel de l'unité syllabique sur le système de production a été vérifié par FERRAND *et al.* (1996) dans une série de quatre expériences réalisées chez des locuteurs français.

Afin de tester l'impact de la syllabe sur le système de production de la parole, le paradigme « *masked priming* »[9] fut adopté. La première tâche consistait en la dénomination de mots bi ou trisyllabiques partageant la même initiale CVC qui pouvait correspondre ou non à la première syllabe du stimulus (*ba.lade, bal.con*). Le protocole intégrait une brève présentation visuelle, de type CV ou CVC, avant l'apparition de la cible. Il ressort alors que le temps de réponse était systématiquement plus rapide lorsque le mot cible était précédé de la séquence équivalant à sa syllabe initiale. La syllabe antéposée aurait donc un effet significatif de facilitation pour la dénomination. Cependant, cette investigation tend à confirmer l'incidence de la syllabe sur l'accès lexical plutôt que son incidence sur l'output.

Par conséquent, la tâche fut renouvelée en substituant les mots de départ par des non mots. De cette manière, l'absence de charge sémantique devrait écarter l'implication directe de la représentation lexicale dans la facilitation de la dénomination. Les résultats offrent une orientation identique, c'est-à-dire que le temps de réponse diminue lorsque la séquence visuelle précédant le mot à dénommer correspond à la première syllabe de la cible. Les syllabes seraient donc des unités impliquées dans l'établissement de l'output au cours de la tâche de dénomination.

Pour renforcer l'idée que l'effet syllabique pèse sur l'output sans être une conséquence de l'accès au lexique, les sujets ont été soumis, dans une troisième expérience, à une tâche de décision lexicale. Ils devaient alors juger si les mots proposés appartenaient ou non au lexique français. L'idée sous-jacente était que si le « *priming effect* » de la syllabe est lié à l'accès lexical, il devrait être observable dans une tâche de décision lexicale. Le même protocole fut utilisé, mais aucun résultat significatif n'est apparu, confirmant ainsi que l'influence de la syllabe, présentée antérieurement, est plutôt de l'ordre de l'output que de l'accès lexical.

Enfin, les mots et non mots utilisés dans les expériences 1 et 2 furent remplacés par des images. Une fois encore, lorsque une image cible est précédée par une séquence qui correspond à la transcription écrite de la première syllabe de son nom, le temps de réponse est plus court.

Cette expérimentation démontre que la séquence antéposée favorise la rapidité du processus de production quand elle correspond à la syllabe initiale de la cible. Ainsi, la syllabe participerait à l'encodage phonologique et faciliterait l'output subséquent. Tout comme un inventaire de sons serait mentalement intégré, un répertoire de syllabes serait

[9] Cette technique, aussi appelée « technique sandwich » a été développée par FORSTER et DAVIS en 1984 dans la tâche de décision lexicale. Un bloc test, visuellement présenté, est alors constitué d'un patron masqué, suivi d'une suite graphique très brève, puis de la cible. Ex : XXXXXX, BALXXX, BALCON. Ce paradigme vise à étudier l'influence de la séquence antécédente sur la reconnaissance de la cible. Il est toutefois important de signaler que cette relation ne peut pas relever, de par le caractère quasi imperceptible de la séquence antérieure, d'une appréciation consciente.

également stocké (LEVELT 1989), de façon que les programmes moteurs correspondants soient activés pour l'articulation. Une perception antérieure, même très rapide, préparerait alors d'une certaine manière cet encodage. En effet, nous avons vu que si une séquence antéposée était plus courte que la syllabe initiale du mot cible (baXXXX pour balcon), le temps de réaction pour la dénomination de celui-ci s'en trouvait directement affecté. En français, le système de production serait donc structuré en syllabes, mais des investigations, similaires aux expériences 1 et 3, conduites par FERRAND *et al.* (1997), ont mis en évidence que la syllabe serait aussi l'unité de production de l'anglais.

4.1.1.2. Des pistes articulatoires

La syllabe est obligatoirement composée d'un noyau vocalique auquel peut être associé une attaque et/ou une coda. Ce noyau serait en relation étroite avec les consonnes qui l'entourent. L'action motrice ainsi que les phénomènes coarticulatoires constituent les témoins les plus tenaces de la légitimité syllabique.

4.1.1.2.1. L'action motrice

Plusieurs paramètres moteurs peuvent attester la robustesse de la solidarité des constituants syllabiques.

Le premier argument, souvent abordé jusqu'ici, est celui de MACNEILAGE (1998). Rappelons que selon la théorie de cet auteur, le cadre syllabique relèverait de la cyclicité générée par l'oscillation mandibulaire. Un tel patron, nous l'avons montré, trouve son explication à la fois aux niveaux cérébral, moteur et physiologique. Les phases d'ouverture et de fermeture alternées qui en résultent instaurent alors les configurations consonantiques et vocaliques du contour syllabique. C'est sur cette structure que les éléments du contenu viendront se surimposer.

Mais plus qu'une correspondance avec le cycle mandibulaire, la syllabe fusionnerait aussi avec le cycle de sonorité. Le rôle important du voisement pour la syllabe a été mis en évidence dès 1881 par SIEVERS. Le principe de sonorité, repris entre autres par CLEMENTS (1992) ordonnerait l'organisation interne de la syllabe. En effet, ses segments constitutifs pourraient être hiérarchisés sur une échelle en fonction de leur degré de sonorité intrinsèque. L'élément le plus voisé correspondrait alors au noyau (ou pic) d'une syllabe. Ainsi, les voyelles sont le type de pic syllabique le plus favorisé dans les langues, tandis que les obstruentes le sont le moins (voyelle>glide>labiale>nasale>occlusive). De ce fait, le processus de syllabification localise le pic autour duquel s'organisent les éléments moins sonores, les consonnes. Selon le principe de dispersion (GREENBERG 1978), l'ensemble de la dispersion des valeurs de sonorité est maximisé dans la première moitié de la syllabe et minimisé dans la seconde. En d'autres termes, l'ordre de regroupement des constituants correspond à un ordre croissant de sonorité dans la partie initiale de la syllabe, c'est-à-dire jusqu'au noyau (occlusive>nasale>labiale>glide), et à un ordre décroissant dans sa partie finale, c'est-à-dire après le noyau.

Le dernier argument défendant la syllabe comme unité motrice nous vient de STETSON (1928). En effet, la syllabe serait une unité motrice correspondant à un pic d'air phonatoire dû à la contraction des muscles intervenant dans la respiration. Il existerait une correspondance syllabe / pic d'air expiratoire. Mais cet argument n'est pas suffisamment robuste pour LADEFOGED (1958) car il pourrait y avoir plusieurs syllabes sur un pulse.

4.1.1.2.2. Sous l'influence de la coarticulation

La coarticulation, principalement guidée par la tendance à l'économie articulatoire qui pèse sur le processus de production de la parole, est un facteur qui authentifie la syllabe comme une unité. Ce phénomène pourrait être défini comme l'influence mutuelle de segments contigus coexistant au sein d'une séquence, laquelle marque ainsi leur interdépendance. La structure syllabique serait donc le terrain de prédilection d'un tel comportement. Selon KEATING (1983), la voyelle et la consonne s'influenceraient mutuellement au sein de la syllabe.

La manifestation de la coarticulation comme épiphénomène syllabique est alors observable aux niveaux acoustique, articulatoire et temporel. Ce champ d'étude étant très vaste, nous ne donnerons que quelques exemples des travaux existants sur ce thème.

4.1.1.2.2.1. D'un point de vue acoustique : la théorie et les équations du locus

Les techniques de manipulation des formes acoustiques déjà utilisées par le laboratoire Haskins ont permis à DELATTRE *et al.* (1955) de mettre au jour, à travers la théorie du locus, l'importance des transitions formantiques pour la perception des consonnes. En effet, la direction des transitions de F2 constituerait un indice majeur pour l'identification du lieu d'articulation consonantique (*cf.* figure 8). Une transition viserait donc un locus particulier, c'est-à-dire un point de fréquence virtuel, déterminé par la nature de la consonne observée. De ce fait, le deuxième formant des consonnes labiales vise un point de fréquence assez bas (700 Hz), celui des alvéolaires un point de fréquence moyen (1700 Hz) et celui des palato-vélaires un point de fréquence élevé (3000 Hz) (DELATTRE 1962, 1968, 1970).

Cependant, ÖHMAN (1966), au cours d'une étude sur les transitions (VC et CV) de séquences variables de type VCV en suédois, anglais et russe, a montré que les trajectoires formantiques dépendaient non seulement du lieu articulatoire de la consonne, mais également du contexte vocalique. La structure acoustique de la transition du deuxième formant nous donnerait donc des informations sur la voyelle et les consonnes adjacentes d'une syllabe. On parle alors de coarticulation progressive ou régressive selon qu'un segment est influencé par le segment qui le précède ou qui le suit.

L'attraction réciproque des éléments co-occurrents illustre donc leur corrélation articulatoire au sein de l'entité syllabique.

Mais LINDBLOM (1963) va plus loin en désignant le premier le concept d'équation du locus. La relation entre les fréquences relevées au début de la transition F2 et au milieu de la voyelle permet d'établir une droite de régression caractéristique du degré de coarticulation entre les sons voisins. Une pente s'approchant de 0 (plate) témoigne d'une absence de coarticulation, alors qu'une pente se rapprochant de 1 révèle une coarticulation maximale. Une droite fut alors établie pour chaque catégorie d'occlusives (b, d, g) chez un seul locuteur suédois. L'observation acoustique de ces réalisations s'est révélée discriminante et a ainsi mis en évidence que la consonne [g] demandait la plus grande coarticulation et [d] la plus faible. Ces résultats ont été confirmés par SUSSMAN *et al.* (1991). Pour ce dernier, le niveau de coarticulation est une manifestation du lieu articulatoire car les consonnes d'une même catégorie se dispersent autour d'une pente distincte.

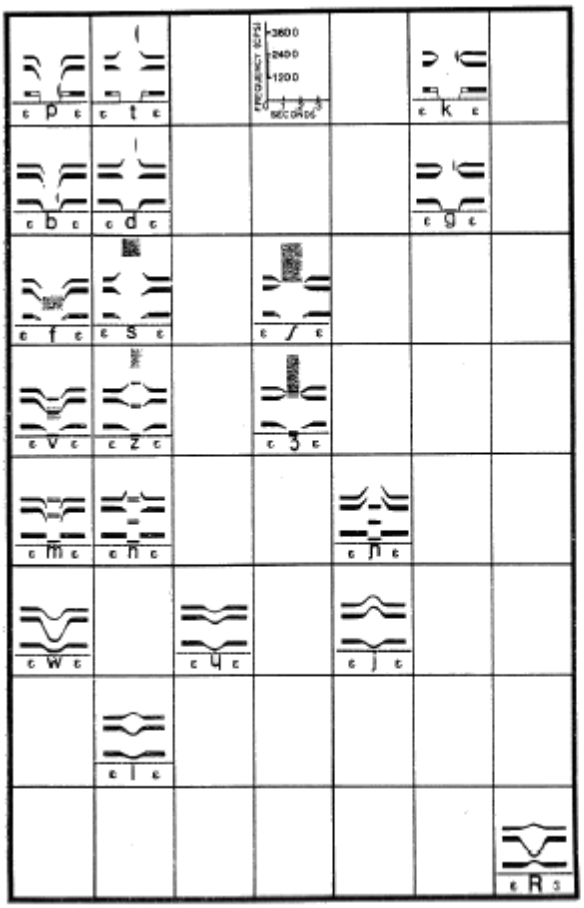


Figure 8. *Formes spectrographiques des consonnes intervocaliques (DELATTRE 1970, p. 36)*

4.1.1.2.2.2. L'anticipation gestuelle

Le fait que la consonne et la voyelle d'une syllabe CV soient coproduites a été, entre autres, suggéré depuis les années 60 par KOZHEVNIKOV et CHISTOVICH (1965) ou PERKELL (1969).

Les mouvements labiaux, de par leur accessibilité, sont très souvent étudiés pour rendre compte du phénomène de coarticulation. Il semblerait alors que lorsqu'une consonne est insérée dans un environnement vocalique arrondi, la protrusion des lèvres s'amorce bien avant l'articulation vocalique elle-même. LINDBLOM (1983) a par exemple montré que, dans la séquence [ku], l'arrondissement labial débutait pendant le mouvement lingual d'occlusion. BELL BERTI et HARRIS (1979) avaient également noté que l'arrondissement de la voyelle [u] apparaissait toujours avant son début acoustiquement défini. Un tel phénomène s'expliquerait par la tendance à l'économie articulatoire qui stimule l'activation de l'articulateur non recruté pour l'occlusion, par anticipation, pour la production du son à venir. Plus récemment, VAXELAIRE *et al.* (1999), puis FERBACH-HECKER (2002), en s'appuyant sur les configurations cinéradiographiques des séquences [atu] et [aku] produites par deux locuteurs, ont pu expliquer que l'arrondissement de la voyelle arrondie [u] traversait la consonne occlusive. Mais BENGUEREL et COWAN (1974) ont montré que le geste de protrusion pouvait affecter plus qu'un seul segment consonantique. Le mouvement d'arrondissement de V2 dans un groupe VCCC…V serait perceptible dès la première consonne d'un cluster de 4-6 constituants. Dans certains cas, elle commencerait même pendant la voyelle précédant le cluster. C'est cette deuxième affirmation que confirme ROY (2004) à l'aide de l'analyse de

données cinématiques. En effet, elle a pu mettre en évidence que le mouvement des lèvres s'initiait dès la phase de stabilité de V1, c'est-à-dire avant le contact occlusif pour les séquences [iy, iky, ikky, iksky, ikssky, ikssky, ikstsky], et ce chez les deux locuteurs observés. Néanmoins, selon MAEDA (1997), la labialisation ne serait pas une coarticulation anticipatoire, mais une articulation auditivement requise par [k].

> « Labialization is not anticipatory coarticulation, but the auditorily required articulation for [k] » (p. 41)

En effet, les tests de perception réalisés à partir de séquences synthétisées de type VCV montrent que lorsque V2 correspond à la voyelle [u], la synthétisation de la consonne [k] n'est pas satisfaisante. En revanche, après modification de la cible consonantique prenant en considération l'effet anticipatoire de [u] de manière à ce que pendant la fermeture les lèvres soient déjà arrondies, la consonne est jugée hautement intelligible. L'arrondissement serait donc une partie de l'articulation explicite nécessaire pour que la consonne soit perçue comme [k].

Le déplacement du vélum peut également apporter des renseignements sur le phénomène de coarticulation. KENT *et al.* (1974) ont décrit la production de la première consonne nasale /n/ dans la séquence « intend ». L'initiation de la fermeture vélaire en anticipation de la consonne orale suivante /t/ est synchrone aux gestes de la langue qui produisent /n/. En effet, lorsque l'occlusion pour /n/ est atteinte, le vélum est déjà à mi-chemin de sa configuration fermée.

4.1.1.2.2.3. Sur l'échelle du temps

La durée segmentale est déterminée par différents facteurs, c'est-à-dire soit par des propriétés intrinsèques, soit par des facteurs contextuels. Le niveau intrinsèque indique par nature un caractère segmental, mais la coarticulation temporelle sous-tendrait plutôt un trait de l'organisation syllabique (LISKER 1978). La littérature a, par exemple, fait connaître depuis longtemps qu'une voyelle précédant une consonne voisée était plus longue qu'une voyelle précédant une consonne non voisée (ROSITZKE 1939, HEFFNER 1941, BELASCO 1953, PETERSON & LEHISTE 1960…).

Cette forme d'influence temporelle a été détectée par RAPHAEL *et al.* (1980) dès l'âge de 3 et 4 ans. 7 paires minimales CVC, différant seulement par le trait de voisement de la consonne finale, furent obtenues de 20 locuteurs anglo-américains. Les analyses ont fait ressortir que les enfants produisent des différences de durée vocalique de même nature et de même grandeur que celles trouvées dans les séquences adultes. La durée de la voyelle, ainsi que celle du voisement au cours de la fermeture de la consonne finale, prédisent de manière fiable les caractéristiques de voisement de la consonne finale.

4.1.2. Au cœur de la perception

Nous avons vu qu'il existait une variation allophonique importante des segments. En d'autres termes, la manifestation phonétique de ces entités subit de trop grandes variations de contexte à contexte. Ainsi, le phonème ne serait jamais une composante phonétique totalement libre. Il faut donc considérer la syllabe comme une unité potentielle de reconnaissance, d'une part car la majorité des effets coarticulatoires se propage au sein même de cet ensemble, et d'autre part parce qu'elle possède aussi un statut prosodique qui fonctionne comme un tout. Ce serait également une unité effective dans le domaine temporel (FUJIMURA 1975).

La syllabe pourrait donc agir comme l'unité naturelle de perception. Nous nous attacherons à présenter quelques expériences qui soutiennent la décomposition du continuum

de la parole en syllabes. Nous focaliserons sur la perception de la syllabe chez le bébé et donnerons ensuite quelques exemples des investigations menées chez l'adule.

4.1.2.1. Chez le jeune auditeur

Plusieurs auteurs, dans leur intention d'élucider le mode de structuration du système perceptif chez le très jeune auditeur, ont conclu à une propension à reconnaître la syllabe comme unité distinctive dès le plus jeune âge.

Pour répondre à cet objectif, EIMAS (1999) a opposé les paradigmes de détection segmentale et syllabique. Dans une série de 4 expériences, il a donc étudié l'habileté des bébés de 3-4 mois à former des représentations catégorielles des consonnes initiales dans des stimuli monosyllabiques, ainsi que des syllabes initiales et finales des stimuli bisyllabiques. La technique du « temps de regard » lui a permis de tester la présence de discrimination : une durée d'observation plus longue des stimuli audiovisuels indiquait qu'une nouveauté était perçue. Au cours de la première analyse, les bébés furent familiarisés avec 4 ou 6 monosyllabes possédant une consonne identique, [b] ou [d]. La tâche consistait à vérifier si le changement de C1 était reconnu. Ce protocole fut répété dans l'expérience 2 avec une phase de familiarisation moins rigoureuse. Dans les deux cas, la catégorisation n'apparaît pas, chaque syllabe semble traitée comme nouvelle. Aucune catégorisation segmentale n'est détectable. La troisième expérience visait à évaluer la représentation des syllabes initiales. Les patrons bisyllabiques commençaient donc par [ba] ou [da]. À première vue, contrairement aux enfants familiarisés avec 4 patrons, les enfants familiarisés avec 6 présentent une preuve de catégorisation quand la syllabe est nouvelle. Ces résultats vont dans le sens d'une catégorisation de la structure syllabique quand le nombre d'exemples familiers est suffisamment large. L'expérience a alors été renouvelée avec la syllabe finale. Les bébés habitués à 6 patrons, même si les résultats sont moins robustes qu'en syllabe initiale, ont manifesté une tendance à la différenciation.

Cette série d'expériences se prononce en faveur du fait que la chaîne de parole est initialement segmentée par l'enfant en structure syllabique, ou du moins que les représentations syllabiques sont les plus robustes. Cette disposition serait active à un âge encore plus précoce. BIJELJAC-BABIC *et al.* (1993) ont ainsi prouvé, grâce au procédé de la succion non nutritive, que les enfants (français) de 4 jours étaient en mesure de discriminer les énoncés multisyllabiques sur la base du nombre de syllabes ou de phonèmes. Dans un premier temps, ils ont réussi à démontrer que les nouveau-nés discriminaient les deux échantillons d'énoncés phonétiquement variables composés de 2 ou 3 syllabes. Aussi, la réduction des différences naturelles de durée entre les types de séquences n'affecterait pas la discrimination. Enfin, l'incidence du nombre de phonèmes sur la performance de discrimination a été testée. Aucune preuve n'indique que les enfants sont sensibles au changement du nombre de constituants phonémiques au sein d'énoncés bisyllabiques. BERTONCINI et MEHLER (1981) ont eux aussi examiné le rôle de la syllabe dans le processus de découpage de la parole chez les très jeunes enfants. Trois types de stimuli furent utilisés (syllabe, non syllabe et syllabe synthétique) et présentés à des sujets âgés de moins de 2 mois. Les résultats mettent en évidence le fait que les stimuli syllabiques sont mieux discriminés que les stimuli non syllabiques. Ces chercheurs ont ainsi trouvé que lorsque les consonnes initiale et finale d'une syllabe CVC étaient permutées, le changement était identifié. En revanche, lorsque l'inversion survenait au sein d'une syllabe non viable, du type CCC, la discrimination ne fonctionnait pas. Par ailleurs, la commutation de la première et de la troisième consonne dans une structure VCCCV était également discriminée lorsque la configuration bisyllabique était possible. Pour eux, la syllabe est l'unité naturelle de perception :

«We interpret our results as favoring a view according to which the syllable is the natural unit of speech segmentation and processing» p. 247

4.1.2.2. Chez l'auditeur mature

Nous ne nous attarderons pas sur la discrimination de la syllabe chez l'adulte. Nous ne donnerons que deux justifications de son effet sur le système de perception. La première nous vient de PULGRAM (1965) qui défend l'universalité syllabique. En effet, plusieurs sujets ont été confrontés à la tâche de segmentation de la séquence [atatatata…]. Tous, sans exception, ont proposé une segmentation après chaque voyelle et non après la consonne. Il existerait donc une représentation de la structure canonique syllabique. La seconde s'appuie sur les travaux de MEHLER *et al.* (1981). Ainsi, la reconnaissance d'une séquence phonémique se ferait plus rapidement quand elle correspond à une syllabe. La séquence [ba] dans *balance* serait plus vite reconnue que dans *balcon* et, inversement, [bal] serait plus rapidement détectée dans *balcon* que dans *balance*. L'interprétation de tels résultats s'oriente vers la défense de la syllabe comme unité perceptive de base. Néanmoins, cette forme de traitement varierait en fonction de la langue cible. Elle serait alors valable pour le français, mais pas pour l'anglais (CUTLER *et al.* 1986 dans NGUYEN 2005).

4.1.3. Une unité phonologique

Selon JAKOBSON et HALLE (1956), la syllabe serait une unité phonologique de regroupement et d'arrangements segmentaux. Nous décrirons son statut phonologique à travers son implication aux niveaux distributionnel et suprasegmental.

4.1.3.1. La combinatoire

Il est difficile de décrire le système phonologique d'une langue sans faire référence à sa combinatoire. Or, les contraintes associatives ou phonotactiques ne peuvent être discutées qu'au sein même de la syllabe. Il est vrai que chaque locuteur a assimilé, en tant que spécialiste de sa langue, que certaines combinaisons sont totalement proscrites. Un Français a, par exemple, intégré que le cluster consonantique [pbt] n'est pas possible dans sa langue. ARNOLD (1956) signale que certains groupes consonantiques interdits, au sein d'une seule unité, peuvent être les déclencheurs d'une borne syllabique. Aussi, la séquence [tl] ne peut pas apparaître, en français, dans les positions initiale et finale, mais lorsqu'on la trouve en position intervocalique comme dans [matla], le processus de syllabation impose une frontière entre /t/ et /l/ car ce sont des phonèmes qui vont respectivement prendre la place de coda et d'attaque. Par ailleurs, certains phénomènes d'assimilation[10] peuvent également s'expliquer en rapport à la syllabe. Ainsi, en espagnol, les consonnes nasales adoptent le lieu articulatoire des obstruentes ou des glides qui les suivent, si une frontière syllabique intervient entre les deux composantes. De ce fait, *un beso* (un baiser) sera prononcé [umbeso] et *un gato* (un chat), [u ŋ g a t o] (HOOPER 1972, HARRIS 1969). La syllabe pourrait donc être considérée comme une unité d'organisation phonologique régie par des règles qui déterminent certaines possibilités combinatoires tout en excluant d'autres.

[10] L'assimilation correspond à la modification que subit un son par contact avec un autre son, de sorte que les disparités entre eux sont réduites. Le son concerné acquiert alors une partie des caractéristiques du son qui lui est contigu, comme par exemple un changement de lieu ou de sonorité. Ainsi ,dans *ça va de soi*, le phonème [d] est assourdi au contact de la consonne [s] qui est non voisée.

C'est également en relation à la syllabe qu'un certain nombre de préférences associatives sont déterminées par MACNEILAGE et DAVIS (2000 a, b), tant chez le bébé que dans les langues du monde. Aussi, comme nous l'avons déjà mentionné dans le chapitre II, l'immaturité du système moteur ou la tendance à l'économie articulatoire s'expliquent en partie par l'inertie linguale intra-syllabique. De cette manière, les consonnes bilabiales privilégient les voyelles neutres, de sorte que la syllabe [ba] est favorisée par rapport à [bi]. On relèvera également une prédominance des associations consonnes coronales + voyelles antérieures offrant alors les configurations [te] plutôt que [tu]. Enfin, les consonnes vélaires sont majoritairement combinées aux voyelles postérieures à l'instar de [go] ou de [ku].

4.1.3.2. Application suprasegmentale

N'oublions pas que la syllabe est également le champ d'application de la prosodie. C'est en effet, sur le noyau vocalique de cette unité que va porter l'accent, lequel peut se manifester par une variation de la durée, de l'intensité, ou du contour de F0.

La syllabe joue alors un rôle sur la place de ce phénomène suprasegmental. En effet, dans les langues à accent libre, l'accent de mot portera uniquement sur une syllabe lourde par opposition à la syllabe légère. Pour qu'une syllabe puisse attirer l'accent, elle devra alors contenir une voyelle longue, une diphtongue ou une voyelle brève associée à une ou plusieurs consonnes. Dans les langues à accent fixe, l'accent prend toujours la même position. En français, il affectera systématiquement la dernière syllabe du groupe rythmique, en lui attribuant une durée plus longue (*cf.* MEYNADIER 2001 pour une revue plus détaillée).

4.1.4. En résumé

Lorsque l'on écoute quelqu'un parler, on perçoit différents types de segments, mais dans la chaîne continue de la parole, ceux-ci ne sont pas temporellement discrets (FOWLER 1980). En effet, ils ne peuvent pas être indépendamment observés ni dans le signal de parole ni dans le flux des mouvements articulatoires (HAMMARBERG 1976).

> « Segments cannot be objectively observed to exist in the speech signal nor in the flow of articulatory movements. There no invariant cues of segmentalness" (HAMMARBERG 1976, p. 355)

L'existence du segment serait donc contestée au profit d'une unité de production et de perception plus grande. Les partisans de cette conception ont réussi à faire ressortir la valeur effective d'une unité de la taille de la syllabe sur les plans acoustique, articulatoire, moteur et phonologique.

Néanmoins, un certain nombre de questions reste en suspens. Comment expliquer la configuration de la syllabe mono-phonématique si nous écartons l'indépendance segmentale ? Comment la distinction [bar] – [kar] peut-elle être viable si le segment n'existe pas, alors que la commutation paradigmatique [b-k] crée une opposition significative ? En d'autres termes, pourquoi perçoit-on des différences à l'intérieur même d'une syllabe ? Sans la notion de segment, à quoi correspondrait le contenu face au cadre dans la théorie de MACNEILAGE (1998) ? Nous tenterons d'apporter quelques éléments de réponse dans ce qui suit.

4.2. Le segment

JUSCZYK *et al.* (1999) ont montré la sensibilité aux constituants intra-syllabiques dès 9 mois. Par ailleurs, on ne peut pas nier l'influence réciproque des segments ni la difficulté à délimiter le segment, mais il est tout aussi difficile d'exclure qu'une unité de sa taille puisse exister. En effet, l'idée que l'action réciproque des segments contigus, les uns sur les autres, s'arrête aux bornes de la syllabe paraît tout aussi compliquée à accepter. Nous montrerons ici comment le segment trouve sa place dans le système langagier. À ce titre, nous proposerons en premier lieu une définition de cette notion de segment parfois ambiguë, puis nous envisagerons successivement son statut dans les domaines de la phonologie, de la production et de la perception de la parole.

4.2.1. Qu'est-ce qu'un segment ?

À l'instar de la syllabe, les frontières du segment ne sont pas identifiables. Si la syllabe est une unité intermédiaire entre le mot et le segment, ce dernier peut, en retour, être défini comme une sous-composante syllabique. Le segment correspond, par conséquent, aux éléments vocaliques et consonantiques d'une langue.

Mais cela ne suffit pas à éclaircir la définition de cette notion si ambivalente. Pour clarifier le statut du segment dans le système langagier, il faut prendre en considération le domaine dans lequel on se positionne.

On peut, en effet, traiter le segment selon différents points de vue. La première distinction s'opère aux niveaux phonologique et phonétique. Dans le premier cas, le segment est une unité discrète fonctionnelle qui possède une valeur linguistique : c'est une entité inférieure au morphème, équivalant au phonème. Phonétiquement, le segment perd sa valeur abstraite et répond au matériel acoustique ou articulatoire. Le segment acoustique est accepté comme un son, alors que le segment articulatoire est assimilé à l'association de gestes. Le premier est de l'ordre de la transmission-perception, le second de celui de la production.

Par ailleurs, le segment peut lui-même être scindé en unités plus petites. La phonologie prête alors au phonème des traits distinctifs. Du point de vue physique, si l'on considère le geste comme préalable au son, les éléments constitutifs de la parole peuvent être décomposés en un petit nombre d'unités discrètes primitives, les gestes, qui peuvent, elles aussi, se combiner d'une autre façon pour créer de nouveaux éléments (GOLDSTEIN 2003). Ainsi, pour se rapprocher d'un contour consonantique ou vocalique, le segment articulatoire doit intégrer une combinaison de gestes comme le phonème réunit une association de traits distinctifs. STUDDERT-KENNEDY et GOODELL (1992) refusent d'ailleurs le trait comme unité d'organisation articulatoire, proposant à la place le geste. En effet, le trait n'a pas d'existence indépendante : il existe dans un système et c'est une unité abstraite qui ne permet pas de définir les dynamiques de la parole. Le geste, en revanche, est un événement observable. Nous proposons le tableau récapitulatif suivant :

Tableau 3. Récapitulatif des correspondances segmentales et sous-segmentales aux niveaux phonologique et phonétique

	Correspondance	**Scission du segment**
Segment Phonologique	**Phonème**	Traits distinctifs
Segment Phonétique	***Acoustique***	*Articulatoire*
	Son	Gestes

4.2.2. Une unité distinctive

Le phonème serait la plus petite unité pouvant être délimitée au niveau phonologique. Le segment établit son existence, dans le domaine linguistique, à travers un statut fonctionnel bien marqué qui lui attribue une valeur distinctive.

En effet, dans le sillage du structuralisme européen (SAUSSURE) le fonctionnalisme (MARTINET) propose de repérer un segment phonologique et de détecter sa pertinence au sein du système étudié, grâce aux principes de permutation (axe syntagmatique) (/sale/ *vs.* /lase/) et de commutation (axe paradigmatique) (/par/ *vs.* /kar/). Si la substitution opérée crée une opposition de sens, le phonème est localisé et accepté comme une unité à part entière. Selon MARTINET (1970), le langage s'inscrit dans une double articulation, dont l'unité de première articulation serait associée au morphème, qui à son tour serait décomposable en une unité de seconde articulation : le phonème.

Une autre manière de détecter et d'attester la valeur distinctive d'un phonème nous vient de l'école distributionnaliste américaine (HARRIS). Ce courant vise à l'étude du contexte comme indice de pertinence. Ainsi, si deux segments apparaissent dans des distributions équivalentes en créant une paire minimale, les phonèmes sont déclarés distincts. En revanche, lorsqu'ils ne constituent pas une paire minimale et présentent une distribution complémentaire, il s'agit de la variante combinatoire du même phonème.

Nous venons de montrer que du point de vue phonologique l'unité segmentale pouvait être extraite et qu'elle était viable de par sa fonction distinctive.

4.2.3. Une unité minimale de production ?

L'étude des phénomènes coarticulatoires a aidé nombre de chercheurs à appuyer l'hypothèse de la syllabe. Cependant, les frontières syllabiques ne bloquent pas les effets de la coarticulation. Aussi, dans une séquence de type VCV, la consonne contraindrait à la fois la première voyelle et la seconde. Les résultats obtenus par cinéfluorographie (GAY 1977, 1978) indiquent que ce serait dans l'intervalle consonantique que prendrait fin le geste du dos de la langue engagé dans l'articulation de V1 et que s'initierait, après fermeture, celui de V2. Selon LISKER (1978) il n'est pas suffisant de montrer l'existence d'une interdépendance temporelle entre les segments adjacents pour prouver que la syllabe fonctionne comme une unité. Il faut trouver que le lien coarticulatoire est plus faible entre les syllabes. Il a donc effectué des mesures temporelles sur les productions [kapi, kabi, kami, gabi, gami] réalisées dans un ordre aléatoire par un locuteur américain. Il ressort que la durée de V1 varie significativement en fonction de C1 comme de C2. Compte tenu de ces quelques données expérimentales, pourquoi privilégier la syllabe au segment si sa délimitation n'est pas véritablement plus efficace ?

D'un autre côté, si l'on considère le segment articulatoire comme la réalisation physiologique des éléments consonantiques et vocaliques, on constate que plusieurs gestes sont nécessaires à cette correspondance. Le segment ne serait donc pas l'unité minimale de production et le problème de savoir si le segment est plus légitime que la syllabe d'un point de vue articulatoire reste entier.

Selon nous, l'existence d'une sous-composante segmentale ne remet pas en cause la validité articulatoire du segment, de la même manière que les traits distinctifs n'annulent pas la valeur distinctive du phonème. Dans leur démarche de mettre en place une phonologie articulatoire, BROWMAN et GOLDSTEIN (1987, 1989, 1990) décrivent les gestes comme des primitifs qui se coordonnent spatialement et temporellement afin de caractériser les patrons

phonologiques. Les contrastes peuvent alors être distingués sur la base des valeurs de quatre attributs, à savoir l'ensemble des articulateurs mis en activité, le lieu de la constriction, le degré de constriction et un mode décrit dynamiquement[11]. Ces gestes ne capturent pas la distinctivité individuellement. Au contraire, ils se chevauchent dans le flux continu de la parole. Le chevauchement et les structures anatomiques sous-jacentes donnent ainsi lieu à des organisations différentes qui peuvent être utilisées contrastivement. Cependant, au stade du babillage, le segment n'existerait pas du point de vue articulatoire. En effet, cette période développementale caractérise une absence de chevauchement gestuel dans la mesure où le mouvement mandibulaire domine et que les autres articulateurs affichent une relative inertie (*cf.* Chapitre II). L'oscillation mandibulaire crée alors un cadre où la syllabe est unitaire. Au cours du processus de maturation, les autres articulateurs devront se détacher de cette porteuse de façon à devenir indépendants dans leurs déplacements. C'est alors que la mise en mouvement de plusieurs articulateurs suivant des trajectoires différentes devient possible. Aussi, le bébé découvrirait la façon dont il doit associer ses gestes en reconnaissant un lien entre ses propres modèles sonores et les sons qui composent le mot cible qu'il essaye d'imiter (STUDDERT-KENNEDY 2000). Ainsi, c'est en améliorant la combinaison de ses gestes, dans le temps et dans l'espace, que le bébé va enrichir la variété des contrastes distinctifs et qu'il sera amené à produire des unités segmentales variées. Cette progression est perceptible au cours de la première année. OLLER et STEFFENS (1994) ont notamment montré l'accroissement de ces contrastes dans une étude longitudinale menée chez 3 enfants entre 10 et 24 mois.

4.2.4. Perception catégorielle

De manière générale, la perception catégorielle établit une relation entre la discrimination et la classification, la première étant limitée par la seconde. La perception catégorielle suppose, par conséquent, que les sons de la langue intègrent des classes perceptives distinctes, dont les variantes acoustiques gravitent autour d'un prototype qui agit comme un modèle de référence (KUHL 1991). Cela signifie que, pour une catégorie définie, les variations phonétiques sont tolérées jusqu'à provoquer un basculement dans la catégorie voisine. De ce fait, deux sons appartenant à la même classe phonétique, mais portant des différences acoustiques, seront perçus comme équivalents, alors que si les déviances dépassent la frontière phonémique, la distinction sera perçue. On peut cependant s'interroger sur le traitement perceptif de segments ayant un statut particulier, comme par exemple le phonème de liaison pouvant émerger entre deux mots. Selon WAUQUIER-GRAVELINES (1996), il serait plus difficile de détecter un phonème cible quand celui-ci correspond à un phonème de jointure entre deux mots, comme c'est le cas pour le [n] dans [sɔ̃navjɔ̃], que lorsqu'il s'agit de la consonne initiale d'un mot, comme dans d'un [sɔ̃naviʀ]. Ce phénomène est lié à la nature de la liaison qualifiée par l'auteur de segment flottant. Néanmoins, selon notre interprétation, le statut particulier de ce phonème ne contredit pas la conception d'une représentation segmentale de parole, puisque même s'il est moins bien détecté il reste discriminé.

Il est manifeste que la perception catégorielle opère au niveau segmental, même si elle semble plus concerner les consonnes que les voyelles et qu'elle dépendrait de la tâche de

[11] Les variables de l'appareil vocal reposent principalement sur : la protrusion et l'aperture labiales qui engagent à la fois les lèvres et la mâchoire, le lieu et le degré de constriction de la pointe de la langue impliquant la pointe et le corps de la langue ainsi que la mandibule, le lieu et le degré de constriction du dos de la langue qui intègrent les déplacement du corps de la langue et de la mâchoire inférieure, l'aperture du vélum et enfin l'aperture de la glotte.

discrimination (GERRITS & SCHOUTEN 2004). Le phonème serait effectivement traité au niveau cérébral et engagerait un réseau neuronal localisé dans l'hémisphère gauche, plus précisément dans le lobe temporal, chez l'enfant comme chez l'adulte (DEHAENE-LAMBERTZ & GLIGA 2004, DEHAENE-LAMBERTZ *et al.* 2002, DEHAENE-LAMBERTZ 1999).

La conviction que la perception catégorielle puisse rendre compte de l'existence d'une unité plus petite que la syllabe repose sur le fait que la discrimination entre deux syllabes CV survient quand la déviance consonantique traverse une catégorie phonémique de la langue maternelle de l'auditeur. Cette conclusion a été validée par DEHAENE-LAMBERTZ (1997) lors d'une expérience menée chez 12 auditeurs français, reposant sur l'enregistrement des potentiels évoqués au cours d'une tâche de discrimination. Des déviances acoustiques furent introduites dans un ensemble de syllabes identiques, de sorte que certaines consonnes franchissaient les frontières d'une catégorie phonologique alors que d'autres n'impliquaient qu'une simple variation phonétique. Deux oppositions phonémiques furent étudiées : l'une présente dans la langue maternelle (/ba/-/da/), l'autre pas (/da/-/Da/). Il est nettement apparu que les réponses électro-physiologiques les plus grandes apparaissaient lorsque les stimuli à discriminer répondaient au couplage des variables de la distinctivité phonologique et de la langue. Les bébés affichent des outils de traitement phonologiques analogues à ceux trouvés chez l'adulte dès l'âge de 3 mois. Un protocole expérimental similaire fut utilisé par DEHAENE-LAMBERTZ et BAILLET (1998). Ainsi, trois syllabes furent synthétisées à égale distance le long d'un continuum /ba-da/, de sorte que S1 et S2 sont perçues comme appartenant à la même catégorie et S3 à une catégorie différente. Trois types de stimuli ont été construits : dans le premier cas, la même syllabe (S2) était répétée, dans les deux autres la dernière syllabe offrait un changement phonémique ou une simple variation acoustique. Les potentiels évoqués, enregistrés chez 24 bébés français, laissent également entrevoir une réponse plus large pour un changement phonologique.

Certaines anomalies de la perception catégorielle renforcent l'hypothèse d'une possible délimitation perceptive du segment. Notons que, en comparaison à un lecteur sein, les enfants dyslexiques présentent un déficit de la perception catégorielle des sons de la parole, caractérisé par une discrimination plus pauvre des différences entre les catégories et une meilleure discrimination des différences au sein d'une même catégorie (SERNICLAES *et al.* 2005). Ces désordres de la stabilisation des frontières perceptives désigneraient une cause envisageable de ces troubles de la lecture en entravant la formation de la correspondance graphème – phonème.

4.2.5. En résumé

Plusieurs arguments contribuent à la démonstration qu'il existe une unité plus petite que la syllabe, une unité de la taille du segment. Nous avons en particulier montré que le segment avait une valeur phonologique, perceptive, mais aussi articulatoire. Sur le plan de la phonologie, sa validité est attestée par sa fonction distinctive. Au niveau de la perception, sa recevabilité se manifeste à travers une catégorisation fonctionnelle. Chaque segment gravite autour d'un prototype ; si la distance qui les sépare est trop importante, le segment change de catégorie. Enfin, du point de vue articulatoire, le segment implique la concaténation de plusieurs gestes. Le geste, en tant que tel, n'a pas d'existence à part entière dans le sens où il n'est pas autonome.

4.3. Conclusion

Nous concluons à la pertinence du segment dans le système de parole, sans, néanmoins, exclure la validité de la syllabe. Nous entendons que ces unités fonctionnent à des niveaux différents, c'est-à-dire que la syllabe interviendrait à un niveau supérieur en offrant une hyperstructure aux unités segmentales. Selon les propos de JAKOBSON et HALLE (1956), la syllabe serait définie comme « une unité de regroupement et d'arrangement segmentaux ». En d'autres termes, il s'agirait d'une unité structurelle au sein de laquelle l'unité segmentale se réalise (KAHN 1976). On rejoint tout à fait les notions de cadre et contenu de MACNEILAGE, où les éléments du contenu viennent se superposer sur le cadre syllabique. Le processus de maturation sous-tendrait le passage de l'unité minimale syllabique à l'unité minimale segmentale.

Ce point de vue correspond à une de nos hypothèses principales que nous tenterons de vérifier à partir de données expérimentales. Nous proposons au lecteur de prendre connaissance d'abord du protocole expérimental que nous avons utilisé avant de lui livrer les résultats de nos investigations.

PARTIE II

La deuxième partie est dédiée à notre première phase expérimentale, qui s'inscrit dans le domaine acoustique.

Deux chapitres, l'un décrivant la méthodologie, l'autre les résultats, constituent cette partie :

- *Chapitre V* Détecter l'émergence du contrôle segmental dans le signal acoustique
- *Chapitre VI* La variation temporelle comme indice de contrôle

RÉSUMÉ – CHAPITRE V

La première partie expérimentale de notre travail vise à retrouver l'émergence du contrôle articulatoire et segmental dans le signal acoustique. Pour ce faire, nous nous inscrivons dans une étude longitudinale des productions de deux bébés âgés de 9 à 14 mois. Nous envisageons de faire ressortir la variation temporelle comme une phase par laquelle transite l'émergence du contrôle. L'évolution de trois paramètres est alors prise en considération ; celle du cycle, celle de la voyelle et celle du rapport que la phase vocalique entretient avec la phase consonantique. Il nous a donc fallu délimiter différents cycles articulatoires nous permettant de couvrir un maximum de productions.

Mots clés : protocole expérimental – étude acoustique

***
**
*

ABSTRACT – CHAPTER V

The first experimental part of our work aims at finding trace of articulatory and segmental control emergence in the acoustic signal. Thus, a longitudinal study of the productions of two babies, between the ages of 9 months and 14 months, was carried out. The gist of this research work is to show temporal variation as an essential phase of motor control development. The variation of three parameters is analysed: cycle, vowel, relationship between a vocalic phase and consonantal one. In this perspective, different articulatory cycles which could cover as many productions as possible were determined.

Key words: experimental protocol – acoustic study

***
**
*

CHAPITRE V

DÉTECTER L'ÉMERGENCE DU CONTRÔLE ARTICULATOIRE DANS LE SIGNAL ACOUSTIQUE : Expérience 1

5.0. Introduction

Le chapitre II met en évidence le fait que le babillage est un stade au cours duquel les productions sont contraintes par le rythme oscillatoire de la mandibule qui donne un caractère régulier aux séquences de syllabes redupliquées. Par ailleurs, le cycle généré par le mouvement mandibulaire impose une solidarité des composantes qui le constituent ; si bien que les constituantes de la syllabe ainsi produite, n'existent pas encore en tant qu'unités indépendantes.

Notre objectif est donc d'observer la mise en place du développement du contrôle articulatoire. Cependant, les techniques d'acquisition pour de tels objectifs chez le bébé sont très limitées et complexes. La possibilité qui s'offre initialement à nous, en tant que phonéticienne, s'inscrit dans le champ d'investigation acoustique.

L'émergence du contrôle articulatoire peut-elle être retrouvée dans le signal acoustique ? Si l'on retient le cadre de la théorie de MACNEILAGE (1998) selon laquelle la régularité temporelle est un indicateur de production précoce (DAVIS & MACNEILAGE 1995), la variation temporelle peut être considérée comme une prédiction de la mise en place d'une certaine forme de contrôle.

Notre première étude est une étude acoustique dans laquelle nous chercherons donc à détecter l'évolution de l'indépendance segmentale, comme indice de contrôle articulatoire, à travers une étude longitudinale de la durée du cycle et de ses phases chez deux sujets.

Ce chapitre sera consacré à la présentation du protocole expérimental. Nous verrons successivement, comment l'acquisition des données audio s'est déroulée, comment les enregistrements recueillis ont été traités et comment les données ont été exploitées.

5.1. Acquisition des données

L'acquisition des données audio est une phase préparatoire sur laquelle repose tout le cheminement expérimental. Voyons quels choix nous avons faits pour le recrutement des sujets, le protocole expérimental et le corpus.

5.1.1. Les sujets

Pour recruter nos locuteurs, nous avons démarché auprès des crèches strasbourgeoises. Il nous fallait trouver un établissement comptant parmi son effectif des enfants âgés de 6 à 9 mois (stade précédant le babillage tardif), acceptant de nous accueillir régulièrement sur une période relativement longue en vue d'une étude longitudinale et qui pouvait mettre à notre disposition un endroit isolé. La crèche collective « Belin[12] » a répondu favorablement à notre requête et nous a procuré la liste des sujets potentiels. Nous avons retenu deux enfants de sexe masculin, de langue maternelle française, âgés de 8 mois et 1 semaine et 9 mois au début de l'investigation.

Après avoir recensé les sujets disponibles, nous avons mis en place une procédure écrite, détaillant l'objectif de notre étude, afin de recueillir les différents accords parentaux.

Enfin, avant de débuter notre investigation, nous nous sommes assurée du développement sain de chaque sujet grâce au rapport de la directrice, lui-même basé sur un bilan parental ponctuel. C'est par ce contrôle que nous avons exclu, en cours d'étude, une petite fille révélant une perte auditive suite à une infection tympanique. En revanche, aucun des sujets retenus ne présentait de troubles moteurs, auditifs ou psychologiques.

5.1.2. Protocole d'acquisition

L'objectif de ce travail s'inscrit dans un cadre longitudinal. Nous avons donc suivi individuellement nos sujets chaque semaine pendant six mois et demi, soit du 15/11/2004 au 6/06/2005. Toutefois, nous avons dû faire face à certaines absences (vacances, maladie).

Pour plusieurs raisons, nous avions d'abord envisagé de réaliser nos enregistrements au moment du change. D'une part, parce que ce choix évitait toute phase de familiarisation préalable entre le bébé et l'investigateur, étant donné que l'interaction impliquait une puéricultrice. D'autre part, parce que l'on imaginait que cette période d'échange privilégiée favoriserait les productions vocales. Malheureusement, au cours de l'acquisition pilote, il s'est avéré que ce créneau était beaucoup trop court.

Par conséquent, nous nous sommes directement investie dans l'interaction en créant une situation de jeu avec le bébé afin d'initier ses émissions. Le sujet était alors installé dans un parc dans le but de réduire son espace de déplacement. Ses jouets favoris étaient mis à sa disposition : livres, téléphone en plastique, peluches, cubes, ballon… Même si les premières séances furent moins fructueuses, la phase d'habituation ne fut que de courte durée. Le système d'enregistrement était constitué d'un DAT (*Sony TCD-D3*) et d'un micro directif (*BST à condensateur UM-3*). Ce dernier était placé à proximité du bébé, mais hors de sa portée afin de ne pas trop attirer son attention.

La durée des séances excédait rarement 20-25 minutes par sujet, la distraction augmentait au-delà de cet intervalle de temps.

[12] Une crèche collective est une structure gérée par la mairie ou le département. Le gestionnaire de la crèche « Belin » est en l'occurrence l'Association d'Action Sociale du Bas-Rhin (AASBR).

5.1.3. Le corpus

Etant donné que la mise en place d'une situation de contrôle est impossible lors de l'acquisition de données chez le bébé, les conditions expérimentales étaient nécessairement orientées sur le recueil de productions spontanées.

Environ 1 à 2 minutes de productions babillées pouvaient, en moyenne, être extraites d'une séance d'enregistrement. Sur ces quelques minutes, nous avons dû sélectionner les séquences babillées exploitables en fonction : de la qualité, les séquences trop bruitées n'ont pas été analysées, et du type, nous avons retenu les types C occlusive + V ainsi que V + C occlusive + V. Le répertoire du babillage, dont les caractéristiques impliquent la dominance des séquences CV, contribue en partie à l'explication de ce choix (MACNEILAGE 1994, 1998, MACNEILAGE & DAVIS 2000a, 2000b, 2001, 2003 ; DAVIS & MACNEILAGE 1995, 2000 ; BOYSSON-BARDIES 1996, KONOPCZYNSKI 1986b…), mais l'éventualité qu'une phase d'ouverture apparaisse en position initiale existe. Par ailleurs, les nombreuses études témoignant de la prépondérance des consonnes occlusives au stade du babillage ont également éclairé notre sélection (DAVIS & MACNEILAGE 1994, 2000 ; MACNEILAGE & DAVIS 2001 ; DAVIS *et al.* 2002 ; KERN 2001 ; BOYSSON-BARDIES 1996 ; STOEL-GAMMON 1985 ; REDFORD *et al.* 1997 ; ROUG, LANDBERG & LUNBERG 1989…).

Par la suite, chacune des séquences fut transcrite, puis segmentée et étiquetée sous Praat®.

5.2. Traitement des données

Une fois le matériel acoustique recueilli, le meilleur moyen de traiter nos données devait être mis à plat. Compte tenu de notre paradigme de recherche, nous avons choisi d'extraire des cycles acoustiques du signal. Puis, nous avons défini un protocole de segmentation strict, de manière à apporter un cadre rigoureux à nos mesures. Enfin, nous avons tenté de trouver une démarche nous permettant de mettre en évidence la fiabilité de notre démarche.

5.2.1. Etablissement des cycles

Notre recherche s'inscrivant dans le cadre de la théorie de MACNEILAGE (1998) et par conséquent dans celui de la rythmicité articulatoire, nous avons porté notre intérêt sur les événements cycliques au sein des énoncés polysyllabiques en vue de rendre compte de l'existence et de l'évolution de la régularité temporelle syllabique défendue par cet auteur. Les énoncés monosyllabiques, qui se définissent par la présence d'un cadre unique, ont de toute évidence été écartés. Notons que les énoncés bisyllabiques se sont révélés majoritaires.

L'exigence s'oriente ainsi vers la délimitation concrète d'une unité cyclique perceptible sur le signal acoustique (CANAULT *et al.* 2006, 2007). Un cycle peut être défini comme l'intervalle temporel existant entre la réitération d'un même événement acoustique. De cette manière, les cycles délimités devraient intégrer les deux phases décrites par MACNEILAGE (soit une phase de fermeture et une phase d'ouverture). Ce paradigme impliquant les notions de cycle et de phase a été emprunté aux psychomotriciens (*cf.* chapitre

III) et transposé à l'analyse de la parole par différents chercheurs (ABRY & PERRIER 1985, DELATTRE & PERRIER 1991, SOCK 1998…).

Plusieurs délimitations s'avèrent ainsi possibles. Notre première proposition a consisté à considérer la durée existant entre deux relâchements (cycle 1 ou le cycle des relâchements) lorsque la séquence est constituée de 2 syllabes CV au minimum (*cf.* figure 9).

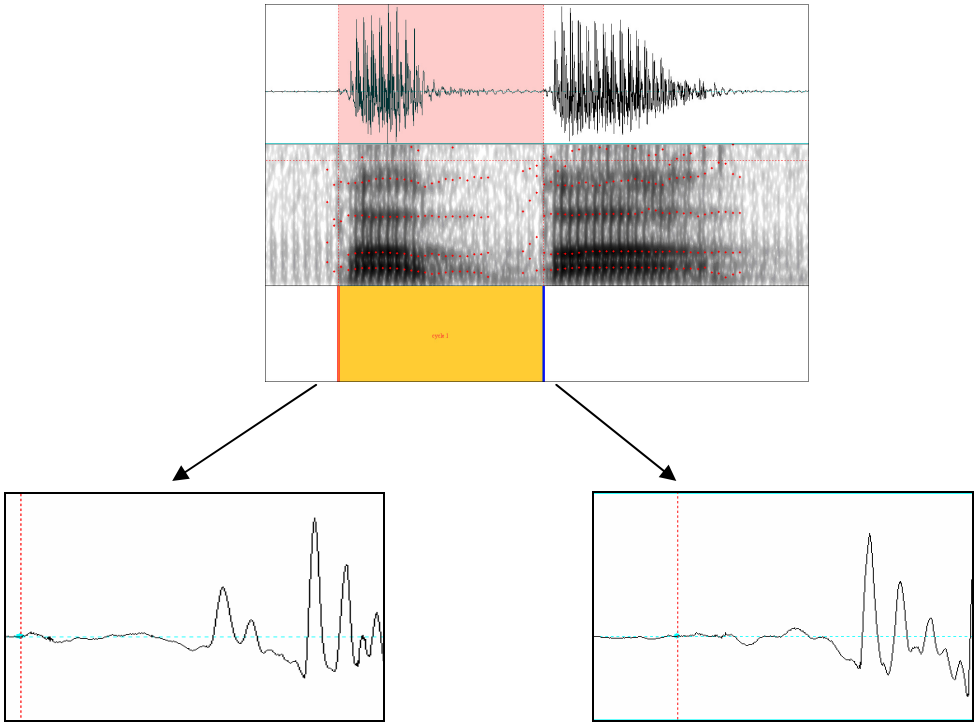


Figure 9. *Segmentation du cycle 1*

Cependant, ce marquage rend impossible l'analyse d'une séquence bisyllabique à initiale vocalique (ex : /aga/). C'est pour cette raison que nous avons pris aussi en considération un deuxième cycle, le cycle 2, lequel s'étend du début de la structure formantique stable de la première voyelle au début de la structure formantique stable de la voyelle suivante. En termes articulatoires, ce cycle s'initie par un état suffisamment ouvert du conduit vocal permettant l'apparition des résonances vocaliques adéquates ; il encadre la phase consonantique obstruente. C'est ce que SOCK (1998) désigne comme « le cycle VVO[13]-VVO ou cycle d'apparition d'une structure formantique définie de la voyelle correspondant au champ VC » (p. 178).

Par ailleurs, le choix d'une telle segmentation s'explique aussi par sa fiabilité. Il est vrai que ce cycle est très proche du premier, mais il s'avère précieux de l'associer à l'analyse des séquences CVCV, car le marquage de la structure formantique apparaît plus aisé que celui du relâchement. Le relâchement est difficilement repérable sur un signal bruité, il est également faible dans un contexte purement voisé. Les conditions d'enregistrements dans lesquelles nous nous trouvions ne ressemblaient en rien à celles obtenues lors d'une acquisition optimale en chambre anéchoïque. En effet, bien que le système d'acquisition fût implanté dans une pièce isolée, la proximité de la salle de jeu des autres enfants troublait la

[13] *Vocalic Voice Onset* ou établissement de la structure formantique stable.

qualité du signal. Cette pièce jouxtait la nôtre et par conséquent la capture des rires et des cris était inévitable.

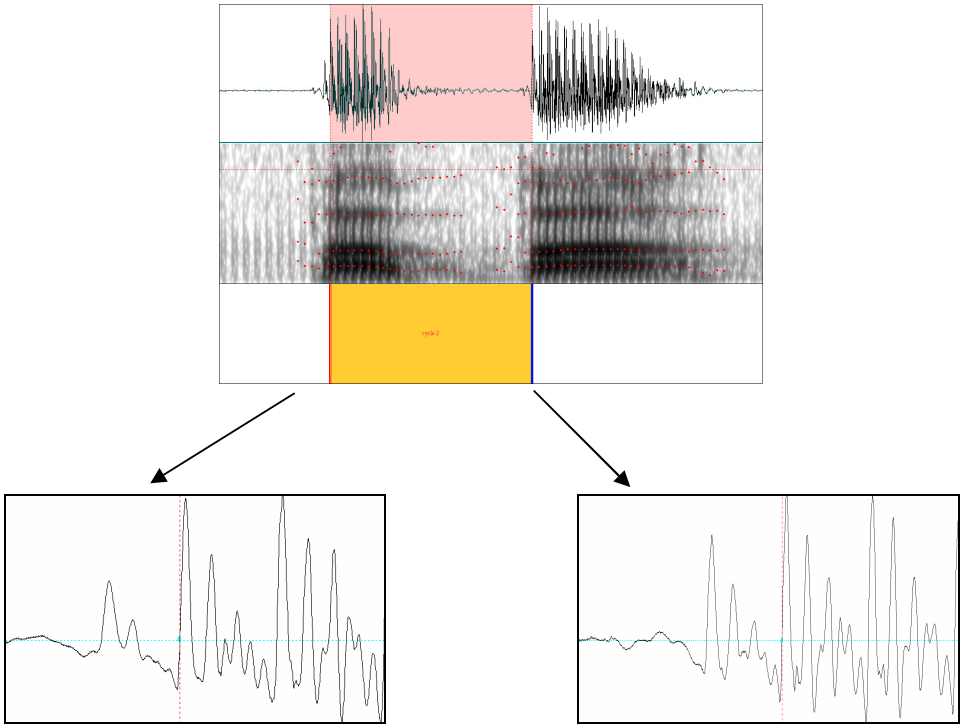


Figure 10. *Segmentation du cycle 2*

Nous nous sommes rendue à l'évidence qu'il était impossible, en utilisant cette segmentation, d'analyser la voyelle finale dans le cadre de ce cycle. Or, cet événement est extrêmement intéressant en français puisqu'il porte un allongement de la durée (WENK & WIOLAND 1982). Il se pourrait donc que la perturbation du cadre syllabique apparaisse avec l'émergence de spécialisation prosodique de l'allongement final. Selon BOYSSON-BARDIES *et al.* (1984), ce serait aux environs de 8 mois que des tendances spécifiques dans la prosodie des vocalisations seraient suffisantes à la désignation linguistique. KONOPCZYNSKI (1986 b) montre une augmentation de la durée de syllabe finale entre 8-10 mois qui se poursuivra jusqu'à 19 mois. Le plus intéressant pour notre paradigme est la revendication d'une forte instabilité de l'évolution temporelle de cette syllabe dans son évolution, sa durée pouvant être très longue ou très brève (p. 169).

Par conséquent, afin d'inclure la dernière syllabe à notre analyse, nous avons choisi d'intégrer un troisième marquage cyclique, que nous appellerons cycle 3 ou cycle consonantique, qui va de la fin d'une structure formantique stable à la fin de la structure formantique stable suivante. C'est un cycle de closion articulatoire, englobant la phase vocalique V2. Cet intervalle temporel coïncide avec le cycle « VVT[14]-VVT » ou cycle de disparition formantique définie. Il correspond au champ CV et sera le domaine préférentiel de la réalisation des différences de durée consonantique (SOCK 1998, p. 178).

[14] *Vocalic Voice Termination* ou disparition de la structure formantique stable

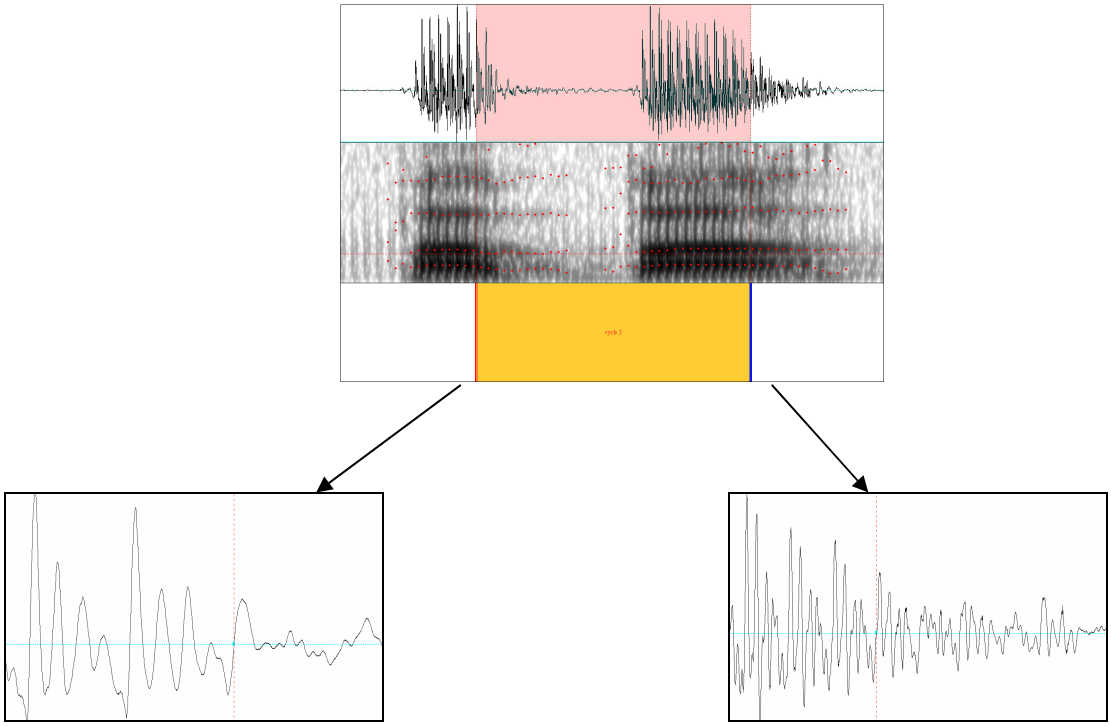


Figure 11. *Segmentation du cycle 3*

5.2.2. Protocole de segmentation

Une bonne analyse acoustique engage une observation simultanée de l'onde sonore (oscillogramme) et du spectre (spectrogramme). Nous ne nous sommes évidemment pas dispensée de cette double prospection.

Nous avons par conséquent choisi d'élaborer un protocole de segmentation que nous nous sommes contrainte à appliquer systématiquement afin de rendre la plus grande fiabilité à nos résultats.

Chaque séquence subissait alors une triple analyse, puisqu'elle était successivement segmentée en cycles 1, 2 et 3.

La première segmentation (*cf.* cycle 1) impliquait le marquage du relâchement afin d'établir la durée entre le relâchement 1 et le relâchement 2, le relâchement 2 et le relâchement 3… Il est évident que cet intervalle n'était pas détectable dans une séquence bisyllabique à initiale vocalique.

Au cours du relâchement, « l'écartement des articulateurs réalisant l'occlusion, à la fin de l'occlusive, relâche l'air comprimé retenu derrière le barrage occlusif provoquant une perturbation acoustique de courte durée, qui peut être intense » (CALLIOPE 1989, p. 92)

• Cette explosion est alors détectable sur l'oscillogramme par un pic avant l'apparition de l'enveloppe vocalique.

• Sur le spectrogramme, cette explosion correspond à une barre verticale grise précédant l'établissement de la structure formantique stable de la voyelle à venir.

La deuxième segmentation (*cf.* cycle 2) résultait de la détection de la structure formantique stable.

On caractérise l'apparition de la structure formantique stable par « le début d'un état supraglottique vocalique associé à une excitation nettement périodique» (CALLIOPE 1989, p.

123). La structure formantique stable apparaît suite à une stabilité relative des articulateurs au cours de l'émission.
• Sur l'oscillogramme, elle est repérable par le début de la périodicité, soit le premier point où l'onde sonore pendra une configuration stable, c'est-à-dire une période qui se répétera sous la même forme.
• Au niveau spectral, la stabilité formantique va se manifester à travers une tendance parallèle des formants à l'axe du temps.

La dernière segmentation (*cf.* cycle 3) impliquait le repérage de la fin de la structure formantique stable. La fin de la structure formantique stable est désignée comme la fin d'une configuration ouverte du conduit vocal.
• Sur l'oscillogramme, la fin de l'état périodique sera marquée par la manifestation de la dernière période, c'est-à-dire l'ultime point où l'onde affiche le dernier signe de vibration régulière (fin voyelle).
• Sur le spectrogramme, cet événement est perceptible par la perte de stabilité formantique, soit par l'altération de l'état de parallélisme des formants.

Il est extrêmement difficile de segmenter des signaux de bébés. Il n'était donc pas surprenant de rencontrer un certain nombre de difficultés, d'autant plus que, comme nous l'avons mentionné dans la section précédente, nous étions confrontée à un signal bruité, loin du produit obtenu lors d'enregistrements réalisés dans les conditions expérimentales d'une chambre sourde.

Afin de faciliter notre processus de segmentation et de vérifier la fiabilité de nos mesures, nous nous sommes imposée certaines règles.

Dans un premier temps, nous avons procédé à la segmentation grossière du signal en nous appuyant essentiellement sur le spectrogramme, prenant soin d'observer le signal avec et sans les formants obtenus via Praat®.

Puis nous avons utilisé le zoom dans le but de détecter plus précisément les événements à l'aide de l'oscillogramme ; en incluant dans le zoom, notre premier marquage ainsi qu'une partie pertinente du signal (ex : une partie droite pour repérer le début de la structure formantique stable, ou encore une partie gauche pour en détecter la fin).

a) Nous avons pris soin de minimiser la fenêtre à agrandir afin d'obtenir un zoom précis.
b) Pour la segmentation des cycles 2 et 3, nous avons pris en considération la première ou la dernière période où l'onde sonore avait une configuration stable. En d'autres termes, nous avons détecté l'établissement d'une configuration périodique puis sa disparition.

Dans certains cas, cela pouvait paraître difficile. Par conséquent, nous zoomions sur une petite portion au centre de la voyelle pour vérifier la configuration d'une période, et faisions défiler le signal jusqu'à trouver le point d'initiation ou de perte de la stabilité.

Enfin, nous réalisions un zoom très fin sur l'oscillogramme pour établir le marquage sur un passage par zéro, c'est-à-dire le point où l'onde rejoint la ligne 0 de l'amplitude. Même si le signal présentait parfois un faible niveau continu non nul, nous prenions comme référence de marquage cette ligne 0.

5.2.3. Fiabilité

Nous avons entrepris deux étapes de vérification de la fiabilité, toutes deux basées sur le principe de reproductibilité. Il était en effet question de renouveler la segmentation de différentes séquences, en respectant le protocole défini précédemment, et d'évaluer la variation existant entre les mesures des intervalles temporels d'une même séquence.

a. Dans un premier temps, nous avons nous-même réitéré la segmentation et la mesure de vingt séquences choisies au hasard parmi les deux sujets. Puis nous avons calculé notre indice statistique de fiabilité selon le procédé suivant :

1. mesure de la durée (ms) des intervalles pertinents pour chaque séquence et chaque segmentation ;
2. calcul des différences temporelles existant entre la segmentation 1 (a) et la segmentation 2 (b) : a-b=c ;
3. calcul du pourcentage de la différence (e) par rapport à la durée moyenne (d) (d= (a+b)/2) de l'intervalle temporel (e = (c*100)/d)
4. calcul de la moyenne de variation (f = *n* e/x). Soit *n*e = la somme de tous les e, et x = le nombre d'occurrences.

Le taux d'erreurs moyen obtenu s'élève à 2.74 %. Ce qui signifie que la fiabilité de nos mesures était relativement satisfaisante.

b. Néanmoins, afin que ce test de fiabilité ne puisse être contesté pour sa subjectivité, nous avons choisi d'introduire l'analyse acoustique d'un second spécialiste (néanmoins peu habitué à ce type de signaux). 20 nouvelles séquences ont été sélectionnées et segmentées par cette personne et nous-même selon le protocole. Puis, le taux de divergence a été calculé selon le même principe.

De cette double segmentation résulte un pourcentage de variation de 7.8 %. La variation est plus importante lorsque la segmentation est réalisée par deux personnes différentes, mais la fiabilité reste convenable.

Compte tenu de la difficulté à acquérir des signaux propres chez l'enfant, on peut affirmer que le bruit environnant n'a pas véritablement affecté la qualité de notre analyse. Il faut dire qu'en focalisant sur la durée nous nous dégagions de certains risques. La durée est un paramètre beaucoup moins altérable par la qualité du signal que les fréquences formantiques par exemple.

5.3. Exploitation des données

Après avoir traité les signaux bruts pour ne retenir que les séquences pertinentes pour notre recherche, nous avons déterminé la manière d'exploiter les données que nous avions à notre disposition de la manière la plus pertinente pour répondre à la vérification de nos hypothèses. Nous avons donc déterminé des tranches d'âge pertinentes, dégagé les paramètres d'analyse de la durée et soulevé le problème des occurrences.

5.3.1. Etablissement des tranches d'âges

Tableau 4. Séances analysées – sujet 1 né le 15/11/2004. Le chiffre entre parenthèses correspond au nombre de réalisations (contenant au moins une occlusive)

Du	Au		Séquences			
14/11/2004	**13/12/2004**	9 mois	**15-nov (1)**	**29-nov (3)**	**06-déc (8)**	**13-déc (39)**
14/12/2004	**13/01/2005**	10 mois	**03-janv (17)**	**10-janv (21)**		
14/01/2005	**13/02/2005**	11 mois	**17-janv (20)**	**24-janv (16)**	**03-févr (13)**	
14/02/2005	**13/03/2005**	12 mois	**24-févr (25)**	**03-mars (20)**	**10-mars (7)**	
14/03/2005	**13/04/2005**	13 mois	**17-mars (10)**	**31-mars (76)**	**07-avr (19)**	
14/04/2005	**13/05/2005**	14 mois	**14-avr (20)**	**28-avr (16)**	**12-mai (24)**	
14/05/2005	**13/06/2005**	15 mois	**30-mai (31)**	**06-juin (34)**		

Tableau 5. Séances analysées – sujet 2 né le 07/03/2004. Le chiffre entre parenthèses correspond au nombre de réalisations (contenant au moins une occlusive)

Du	Au		Séquences			
07/11/2004	**06/12/2004**	8 mois	**15-nov (16)**	**29-nov (15)**	**06-déc (3)**	
07/12/2004	**06/01/2005**	9 mois	**20-déc (16)**	**03-janv (15)**		
07/01/2005	**06/02/2005**	10 mois	**10-janv (7)**	**17-janv (7)**	**24-janv (1)**	**03-févr (20)**
07/02/2005	**06/03/2005**	11 mois	**24-févr (22)**			
07/03/2005	**06/04/2005**	12 mois	**10-mars (19)**	**17-mars (12)**	**24-mars (34)**	**31-mars (38)**
07/04/2005	**06/05/2005**	13 mois	**07-avr (45)**	**28-avr (9)**		
07/05/2005	**06/05/2005**	14 mois	**02-juin(20)**			

Nous avons commencé par établir des tranches d'âge d'un point de vue tout à fait pragmatique, c'est-à-dire mois par mois en fonction de la date de naissance. Par exemple, si un sujet était né le 15 octobre, nous aurions délimité son premier mois du 15 octobre au 14 novembre, son deuxième mois du 15 novembre au 14 décembre (*cf.* tableau 4). Toutefois, peut-on vraiment affirmer que le bébé franchit une étape développementale tel jour plutôt qu'un autre ? Ce découpage pose donc un problème, le développement du langage est un processus progressif et individuel qui prend du temps.

C'est pourquoi, afin d'éviter tant que possible les chevauchements et de dégager des catégories plus pertinentes, nous avons choisi d'analyser uniquement les séquences médianes de chaque intervalle mensuel. Cependant, la très grande variabilité attribuée au processus développemental laisse supposer que le rythme d'observation et peut-être trop rapide pour dégager de réelles tendances.

Pour cette raison, nous nous sommes d'abord orientée vers l'établissement de classes bien distinctes, à savoir 10, 12 et 14 mois, qui correspondent respectivement au stade du babillage tardif, à l'apparition des premiers mots et à l'enrichissement lexical (*cf.* annexe 4, CANAULT 2006, 2007). Une fois les tendances dégagées, nous avons testé mensuellement l'ensemble de la période allant de 9 à 14 mois et ce sont ces résultats que nous présenterons (*cf.* tableau 5).

5.3.2. Analyse de la durée

Notre hypothèse envisageant la variation temporelle comme indice du contrôle segmental, nous focaliserons sur une analyse de la durée des cycles définis et de leurs contenus (les composantes consonantiques et vocaliques).

Nous étudierons plus particulièrement l'évolution temporelle du cycle, la proportion vocalique au sein de celui-ci ainsi que le rapport V/C. Il est évident que nous procéderons à une étude systématique des trois cycles spécifiés.

5.3.2.1. Le cycle

Une étude de l'évolution de la durée du cycle nous permettra d'évaluer si la régularité de l'oscillation mandibulaire, attribuée à un contrôle moteur immature, subit une perturbation temporelle au cours du développement articulatoire.

Plusieurs paramètres expliquent la difficulté de réaliser de véritables statistiques à partir de nos données. Le premier résulte du nombre de sujets (2) peu important, le second concerne l'âge des locuteurs. Le fait que les sujets exploités soient des bébés engage un nombre d'échantillons de productions aléatoire et relativement faible, compte tenu du caractère spontané des acquisitions. Néanmoins, plusieurs outils nous permettront de rendre compte, de façon claire, de l'existence de tendances.

- Les gaussiennes sont les représentations que nous avons choisies pour rendre compte de la variabilité du cycle. Elles nous permettront de mettre en évidence non seulement l'importance de la variation, mais aussi la probabilité qu'une variable prenne une valeur. Aussi, une courbe plate témoignera de la variabilité de la durée des occurrences, alors qu'une courbe pointue indiquera une durée stable autour d'un pic temporel donné.
- L'écart-type, indice chiffré de variance (racine carrée), est aussi « une mesure de dispersion » (*cf.* SANDERS & ALLARD 1984, 1992 p. 98). En d'autres termes, c'est un indice de variation quand il est associé à la moyenne d'une série. Plus il est élevé et plus le rapport écart-type / moyenne est important, plus la série étudiée est soumise à variation.

5.3.2.2. La proportion vocalique au sein du cycle

La proportion vocalique est déterminée par la valeur que la structure formantique stable prend au sein d'un cycle donné.

Il nous a semblé important de considérer cet élément du cycle, parce que d'un point de vue physiologique, le contrôle segmental pourrait commencer par la voyelle. En effet, nous pouvons supposer qu'il est plus facile, à un âge précoce, de moduler une phase d'ouverture dans la mesure où elle subit des contraintes articulatoires moins lourdes n'étant soumise à aucun obstacle. Les consonnes occlusives, uniquement incluses à l'analyse, sont certainement plus difficilement contrôlables. La configuration articulatoire de la voyelle serait, par conséquent, plus facile à maintenir et pourrait ainsi subir de plus grands changements temporels.

Les ellipses de dispersion sont les outils statistiques qui seront appliqués à cette partie de l'analyse. Ces représentations nous permettront d'observer la corrélation entre deux variables, à savoir le cycle et la voyelle. Une vaste dispersion signifiera l'absence de corrélation. D'un autre côté, une vaste dispersion sur un axe donné témoignera d'une grande variabilité et ainsi de l'émergence du contrôle.

Il nous faudra d'une part considérer l'évolution de la variation : un accroissement de la variabilité serait, selon notre hypothèse, significatif de l'émergence du contrôle du segment vocalique. D'autre part, nous essaierons de déterminer si l'évolution de la variation de la proportion vocalique est corrélée ou non à celle du cycle. L'absence de relation serait alors révélatrice d'un contrôle indépendant de la phase d'ouverture.

5.3.2.3. Le rapport V/C

Le rapport V/C est un facteur représentatif de l'évolution des éléments du contenu. L'objectif est de déterminer si la corrélation des deux phases du cycle va dans le sens d'un équilibre ou d'un déséquilibre avec l'âge. (NB : Rapport = 1 équilibre, >1 prédominance de C dans la syllabe, <1 prédominance de V dans la syllabe).

Les ellipses de dispersion nous permettront de voir comment chaque composante évolue avec l'âge au sein du cycle et les gaussiennes nous aideront à mettre au jour la nature de l'évolution du rapport V/ C.

Toutes les ellipses de dispersion ainsi que les gaussiennes ont été réalisées sous l'environnement Matlab.

5.3.3. Les occurrences

Les occurrences relevées au préalable (*cf.* tableaux 4 et 5) ne se sont pas avérées exploitables dans leur totalité. L'organisation de l'analyse en cycles nous a d'abord imposé de ne retenir que les séquences bisyllabiques : une partie importante des productions a donc dû être exclue. Il nous a ensuite fallu retirer les quelques séquences trop bruitées pour être segmentées *(cf.* section 5.1.3.). Le nombre définitif de cycles exploitables s'avère, par conséquent, relativement peu élevé et pourrait facilement être contesté. Néanmoins, nous défendons le maintien de cette étude, bien que modeste, dans notre travail par le fait que l'analyse du processus d'acquisition du langage nécessite beaucoup de patience et de persévérance pour obtenir des résultats aussi infimes soient-ils.

Tableau 6. Nombre d'occurrences analysées après l'exclusion des séquences monosyllabiques et bruitées

Nombre d'occurrences		Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3
Sujet 1	8 mois	/	/	/
	9 mois	1	7	7
	10 mois	6	15	14
	11 mois	6	23	23
	12 mois	24	43	43
	13 mois	13	24	24
	14 mois	2	13	13
	15 mois	24	39	39
Sujet 2	8 mois	/	12	12
	9 mois	25	21	21
	10 mois	10	22	22
	11 mois	12	17	17
	12 mois	6	23	23
	13 mois	6	7	7
	14 mois	4	6	6
	15 mois	/	/	/

Après la segmentation et l'obtention des mesures, le problème des valeurs erratiques s'est posé. Heureusement, les cas furent peu nombreux. Nous avons jugé erratiques les valeurs cycliques qui avoisinaient ou dépassaient 1000 ms, ainsi que les composantes vocaliques et consonantiques les constituant. La raison de cette décision s'explique par la difficulté de trouver une explication cohérente à la présence de 4 séquences de ce type sur l'ensemble des productions des deux sujets. Aucune régularité liée à l'âge, au cycle ou au sujet ne fait ressortir de cohérence.

Enfin, compte tenu du nombre d'occurrences disponibles (*cf.* tableau 6) pour l'analyse du cycle 1 et compte tenu de la difficulté à repérer un tel cycle sur nos signaux, la pertinence des résultats obtenus pour ce cycle et de leur interprétation reste peu fiable. Nous avons ainsi choisi de ne pas le présenter. Néanmoins, nous avons tout de même réalisé l'analyse et la faisons apparaître en annexes (*cf.* annexe 1).

5.4. Conclusion

Notre analyse acoustique s'établit donc sur un corpus des séquences babillées (Cocclusive+V, V+Cocclusive+V) polysyllabiques de deux sujets enregistrés entre la période du babillage tardif et celle des premiers mots.

Notre étude s'appuie sur les principes d'une étude longitudinale. Les mesures conduiront à une analyse statistique dont l'hypothèse principale est que le contrôle segmental transite par la variation temporelle du cycle et de ses phases. Nous vérifierons cette supposition à travers l'observation de trois paradigmes : l'évolution de la durée cyclique, la progression de la proportion vocalique au sein du cycle et l'équilibre des rapports V/C. Nous adopterons deux points de vue, intra-individuel et interindividuel, pour décrire les tendances développementales émergeantes.

RÉSUMÉ – CHAPITRE VI

Le chapitre VI est consacré aux résultats de l'étude acoustique. Il vise à rendre compte du processus de développement du contrôle de la mandibule dans l'activité de parole, mais également de l'émergence de l'indépendance segmentale. Le paramètre d'observation retenu est la variation temporelle.

Nos données nous ont permis de confirmer que la mise en place du contrôle mandibulaire repose sur deux phases distinctes. Une première phase au cours de laquelle la rythmicité de l'oscillation naturelle de la mandibule subit une perturbation temporelle ; une seconde phase au cours de laquelle la restructuration de l'organisation temporelle du cadre mandibulaire, pour des besoins spécifiques de parole, va peu à peu apparaître. La dissociation vocalique et consonantique s'établirait sur un principe binaire sensiblement similaire, c'est-à-dire une phase de forte variation temporelle suivie d'une phase de stabilisation. Il semblerait, par ailleurs, que la maîtrise de la phase d'ouverture précède celle de la phase de fermeture.

Mots clés : contrôle articulatoire – variation temporelle

***
**
*

ABSTRACT – CHAPTER VI

Chapter VI is devoted to acoustic results. It tries to account for mandibular control development process in speech action, and on segmental independence emergence. The parameter of temporal variation is used for such an observation.

The data confirm the fact that mandibular control implementation is based on two distinct phases. In the first phase, the mandible's natural oscillation rythmicity is temporarily perturbed; in the second phase, another temporal pattern of the mandibular frame, specified for speech, progressively appears. The separation of vocalic and consonantal gestures would result from a similar binary principle, *i.e.* a phase of strong variations followed by a phase of stabilization. Moreover, the control of the open phase would precede control of the closed phase.

Key words: articulatory control – temporal variation

***
**
*

CHAPITRE VI

LA VARIATION TEMPORELLE COMME INDICE DE CONTRÔLE

6.0. Introduction

Rappelons brièvement les incitations de notre recherche qui sont celles que nous avons développées dans le chapitre II. La théorie « *Frame then Content* » de MAC NEILAGE défend le fait que les productions du babillage seraient détournées d'une activité biologique impliquant uniquement l'abaissement et l'élévation successifs et rythmiques de la mandibule décrite comme le seul articulateur activé. Les cycles réguliers du babillage seraient initialement empruntés au rythme intrinsèque de l'oscillation mandibulaire générée dans le cycle d'ingestion, et seraient par conséquent le résultat d'un mouvement immature, non spécifié pour l'activité de parole, donc non contrôlé.

Si la régularité temporelle des oscillations mandibulaires peut être perçue comme le reflet de contraintes articulatori-motrices agissant sur le système de production au stade précoce de babillage (DAVIS & MACNEILAGE 1995 et KONOPCZYNSKI 1986), la variation temporelle peut, à l'inverse, être interprétée comme un indice de l'émergence du contrôle. Plus encore, la modulation des phases du cadre, fournies par l'oscillation mandibulaire, sous-tendrait la dissociation des composantes de cette unité et marquerait l'émergence du segment. C'est donc cette hypothèse principale que nous défendons. Néanmoins, la littérature fait également état d'un point de vue quelque peu divergent. Certains auteurs considèrent, au contraire, la stabilité temporelle comme un indice de l'affinement du contrôle articulatoire (SHARKEY & FOLKINS 1985, SMITH 1995…). Ce phénomène pourrait, selon eux, refléter la spécialisation des cibles visées (GREEN *et al.* 2000).

Ces conceptions ne sont pas incompatibles. Nous suggérons, en effet, que le processus d'acquisition du langage passerait par une phase d'exploration qui romprait avec la régularité précoce imposée par le rythme naturel de l'oscillation mandibulaire, à laquelle succéderait une phase de reconstruction temporelle débouchant sur une nouvelle régularité contrôlée celle-là. Une telle supposition se rapprocherait des observations proposées pour l'acquisition des habiletés motrices du bras et de la main (HAY 1978, PELLIZER & HAUERT 1996, FAVILLA 2006). Signalons cependant que le rapprochement de telles habiletés motrices et celles impliquées dans la parole sert davantage pour nous de titre illustratif. Il ne s'agit aucunement de réduire les gestes articulatoires à de simples tâches motrices.

Nous nous intéresserons donc à l'émergence du contrôle à travers une lecture articulatoire de données acoustiques recueillies chez deux bébés. Trois axes d'observation seront privilégiés. Nous procéderons d'abord à une étude détaillée de la progression de la perturbation temporelle du cycle, afin de détecter de quelle manière et à quel moment la mandibule va se dégager du rythme naturel de son oscillation pour accéder au contrôle spécifique de la parole. Puis, nous chercherons à mettre en évidence l'existence d'une éventuelle corrélation entre la variation de proportion vocalique et celle du cycle. Mais surtout nous chercherons à montrer que c'est peut-être par la variation temporelle de la phase d'ouverture du cycle que l'indépendance segmentale va se mettre en place. Dans cet objectif, nous ajouterons un autre paramètre d'investigation. Il s'agira d'examiner parallèlement l'évolution des durées vocalique et consonantique.

Par ailleurs, chaque individu réagit différemment au développement, c'est ce que l'on a coutume d'appeler la variation interindividuelle. Pour déterminer ce qui relève ou non de ce type de variabilité, il nous faudra d'abord focaliser sur l'évolution individuelle de chacun des sujets avant de nous orienter vers une comparaison inter-sujets.

Rappelons que nous ne présenterons pas les résultats obtenus pour le cycle 1 (*cf.* annexe 1), pour les raisons que nous avons évoquées dans la partie méthodologique (*cf.* chapitre V). La difficulté de la segmentation limite les occurrences exploitables et, dans ce cas, les résultats n'apportent aucune information pertinente. Nous préférons nous en tenir aux résultats significatifs et exclure le cycle 1.

6.1. L'évolution temporelle des cycles

En acceptant le fait que la principale contrainte des premières productions résulte du rythme intrinsèque de l'oscillation mandibulaire, il est légitime de penser que la perturbation du cadre syllabique présenterait les premiers indices de l'émergence du contrôle. Le premier pas vers le contrôle articulatoire passerait par la maîtrise des événements temporels, dont la manifestation serait la variation de la durée des syllabes successives. Des énoncés canoniques du type /bababa…/, le bébé passerait à des énoncés du type /babaababaaaba…/ ayant perdu leur régularité temporelle. Nous vérifierons l'hypothèse de l'accroissement de la perturbation temporelle du cadre avec l'âge à travers une étude de la progression de sa durée et de sa variation. Dans cette perspective, nous nous appuierons sur l'analyse de projections graphiques telles que les gaussiennes, ainsi que sur une étude des écarts-types des cycles 2 et 3 (*cf.* chapitre V).

Nous procéderons à un suivi mensuel (9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois). Nous adopterons systématiquement un point de vue intra-individuel pour nous orienter, ensuite, vers la détection de caractéristiques communes révélatrices d'uniformité dans le développement.

6.1.1. Sujet 1 (Pierre)

Observons d'abord les résultats obtenus pour le premier sujet, successivement pour les cycles 2 et 3.

6.1.1.1. Etude du cycle 2

Tableau 7. Durée et variation du cycle 2 – Sujet 1
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport (ET/M). Le nombre d'occurrences apparaît entre parenthèses.

	Cycle 2 (ms)		
	M	*ET*	*R*
9 mois (7)	392.5	162.3	0.41
10 mois (15)	406.18	237.93	0.59
11 mois[15](23)	389.32	186.57	0.48
12 mois (43)	393.74	185.57	0.47
13 mois[16] (24)	305.98	123.43	0.40
14 mois (13)	376.22	115.94	0.31

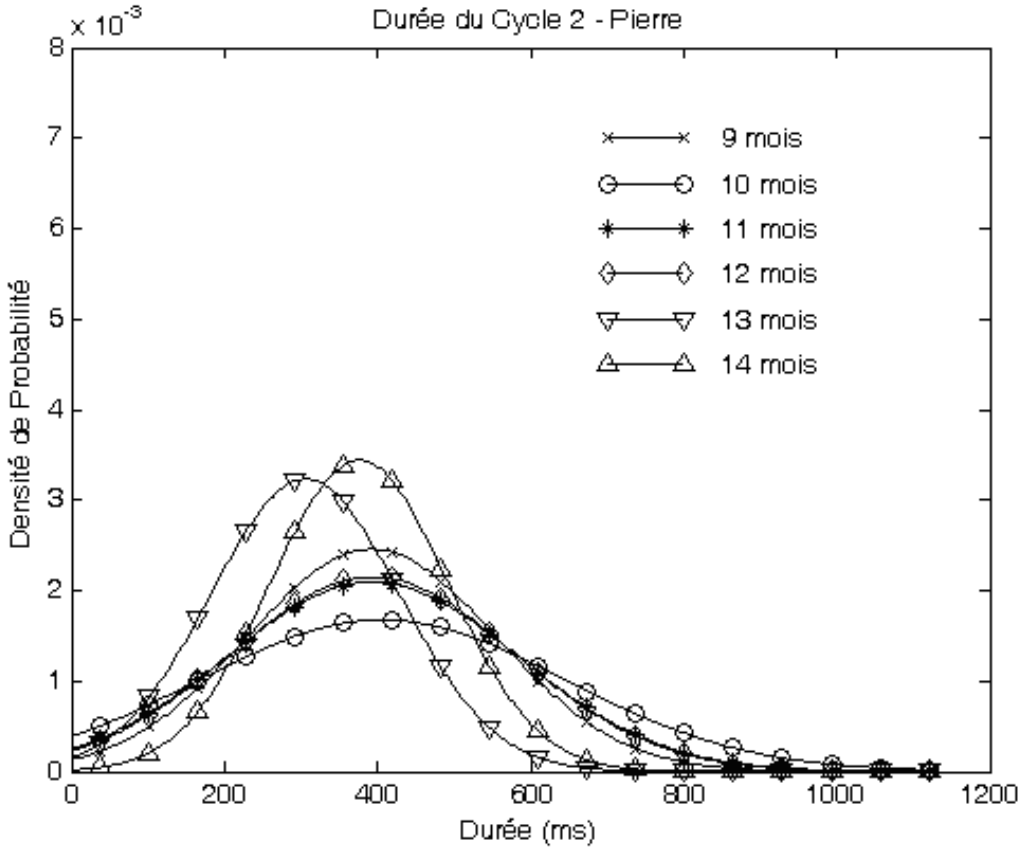


Figure 12. *Gaussiennes représentant l'évolution de la durée du cycle 2 chez le Sujet 1 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois*

[15] La durée d'un seul cycle atteignait 1149.3 ms, tous les autres oscillaient entre 120 et 750 ms. Nous avons donc éliminé cette valeur.
[16] Les durées cycliques 1241.9 ms et 1337 ms n'ont pas été prises en considération.

Comme en témoignent les gaussiennes (*cf.* figure 12), entre 9 mois et 10 mois, la variabilité de la durée du cycle 2 augmente. Les écarts-types associés à ces deux stades passent respectivement de 162.3 ms à 237.93 ms, pour des rapports ET/M évoluant de 0.41 et 0.59. À partir de 11 mois, un nouveau processus de stabilisation s'amorce et la variabilité va progressivement se restreindre jusqu'à 14 mois. En effet, si l'on examine les écarts-types ainsi que les rapports ET/M, leur diminution constante est perceptible entre le stade du babillage tardif (10 mois) et les premiers mots (14 mois).

Par ailleurs, on observe notamment une tendance à la réduction de la durée cyclique entre 10 mois et 13 mois. On constate, en effet, que sa valeur moyenne passe de 406.18 ms à 305.98 ms (*cf.* tableau 7) marquant ainsi une accélération du rythme mandibulaire. Sa durée augmentera sensiblement à 14 mois.

En d'autres termes, l'étude du cycle 2 met en évidence un développement du contrôle suivant deux trajectoires consécutives. Dans un premier temps, la stabilité initiale (9 mois) du cycle céderait à la variation temporelle (10 mois). Puis, le mois suivant, un retour à la stabilité semble s'initier : il se poursuit jusqu'à l'âge de 14 mois.

Ces résultats iraient dans le sens de nos hypothèses. Il y aurait bien une isochronie précoce qui résulterait des contraintes imposées par le patron temporel de l'oscillation mandibulaire (MACNEILAGE 1998, DAVIS & MACNEILAGE 1995). Puis le bébé se libèrerait de cette rythmicité physiologique et apprendrait à maîtriser ses mouvements mandibulaires en rompant la régularité temporelle imposée par le patron oscillatoire de la mandibule. Cependant, il ne faut pas voir cette nouvelle forme d'indépendance des mouvements mandibulaires comme l'aboutissement du processus d'acquisition du timing. Le bébé va s'orienter vers une autre phase de stabilité, il va affiner les patrons temporels de ses cibles de façon à se rapprocher des patrons matures et construire un rythme spécifique à la parole.

Il nous faut néanmoins renforcer ces hypothèses en retrouvant ces observations dans le cycle 3.

6.1.1.2. Etude du cycle 3

Tableau 8. Durée et variation du cycle 3 – Sujet 1
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport (ET/M). Le nombre d'occurrences apparaît entre parenthèses.

	Cycle 3 (ms)		
	M	*ET*	*R*
9 mois (7)	527.7	161.36	0.31
10 mois (14)	490.54	226.75	0.46
11 mois (23)	422.47	177.59	0.42
12 mois (43)	351.2	138.33	0.39
13 mois[17] (24)	310.99	121.16	0.38
14 mois (13)	300.39	72.18	0.24

[17] Le cycle s'élevant à 869,7 ms n'entre pas dans l'observation, dans la mesure où les autres valeurs fluctuent entre 200 ms et 500 ms.

Les tendances exposées précédemment se confirment et s'intensifient avec l'étude du cycle 3. À l'instar des cycles 1 et 2, le cycle 3 présente une diminution de sa durée avec l'âge. Sa durée moyenne évolue de 527.7 ms à 300.39 ms, entre 9 et 14 mois, en passant par 490.54 ms à 10 mois et 351.2 ms à 12 mois (*cf.* tableau 8). On observe ainsi une réduction constante de la durée moyenne du cycle au cours de la période étudiée. On remarque alors que celle-ci se restreint progressivement pour rejoindre une valeur préférentielle de 300 ms (*cf.* tableau 8).

À 14 mois, la gaussienne (*cf.* figure 13) indique clairement que le cycle se stabilise aux environs de 300 ms. L'autre indice de stabilisation se décèle dans l'évolution des écarts-types et des rapports qu'ils entretiennent avec la durée moyenne correspondante. Il est dès lors facile de voir que la valeur de ces écarts-types décroît au fil du temps en révélant une baisse de la variation temporelle du cycle mandibulaire. Une mise en relation étant tout à fait possible entre la diminution de la durée moyenne et celle de l'écart-type, il nous a fallu prendre en considération les rapports les unissant. De cette manière, on remarque une forte réduction de ce rapport à 14 mois qui met en évidence le fort abaissement de la variabilité cyclique précoce.

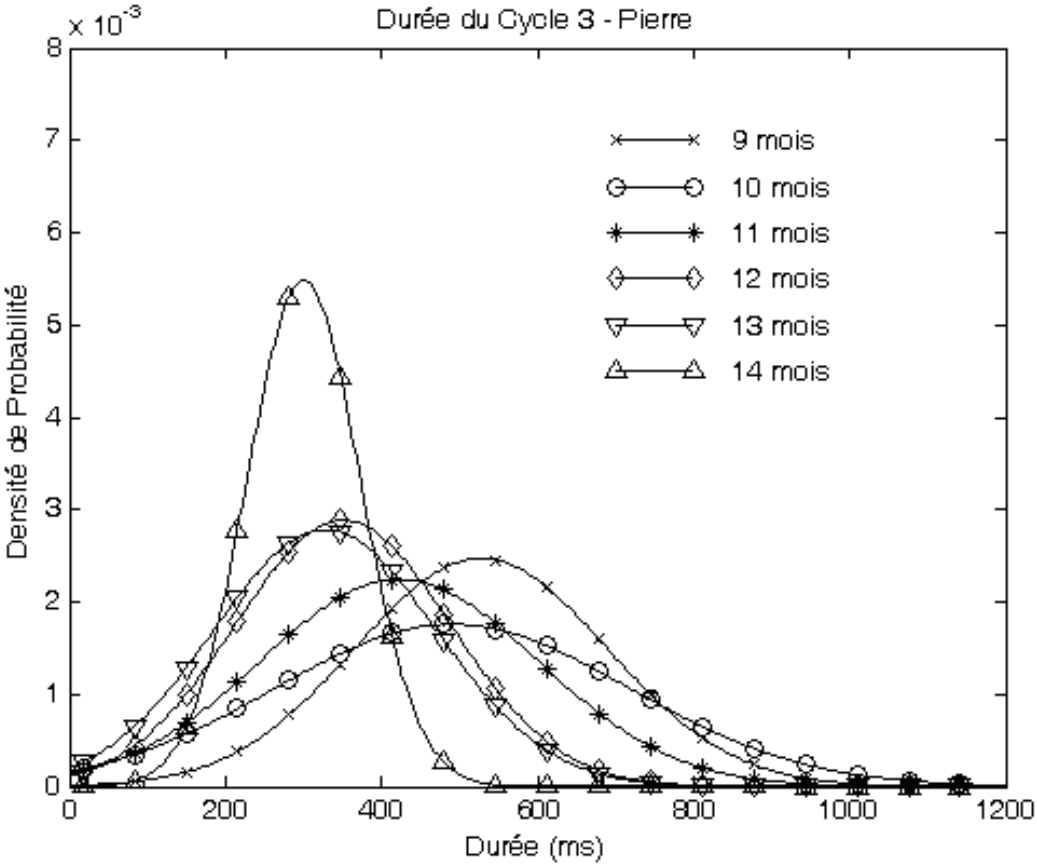


Figure 13. *Gaussiennes représentant l'évolution de la durée du cycle 3 chez le Sujet 1 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois*

6.1.1.3. En résumé

La structuration temporelle du cycle suivrait deux phases successives intégrant 3 stades principaux. À 9 mois, les productions du bébé s'avèrent temporellement stables et seraient la conséquence du mouvement rythmique de la mandibule (MACNEILAGE 1998). Ce stade de stabilité est alors suivi d'une période de forte variabilité au cours de laquelle le bébé va s'affranchir des contraintes biologiques imposées par cet articulateur. Le passage du

premier au deuxième stade constitue la phase 1 du processus de développement du contrôle articulatoire : c'est la perturbation du cadre mandibulaire. Puis, le cycle retrouve peu à peu une nouvelle stabilité (phase 2) entre 11 et 14 mois. Après avoir testé les possibilités de la mandibule, le bébé restreint ses patrons de mouvement et réorganise le timing de ses gestes. Remarquons que ce processus est plus net dans le cycle 3. Notre interprétation est que la segmentation du cycle 3 est la plus proche de la configuration du cadre syllabique CV et par conséquent du cycle articulatoire décrit par MACNEILAGE (1998). De ce fait, il est tout à fait envisageable qu'il valorise les comportements.

Enfin, la durée cyclique moyenne va subir une diminution progressive et venir peu à peu se fixer à 300 ms ou 3 Hz qui se trouve être aussi la fréquence du patron masticatoire adulte selon MORIMOTO *et al*. (1984).

6.1.2. Sujet 2 (Robin)

Comme pour le sujet 1, nous exposerons, pour chaque cycle, les résultats obtenus à 9, 10, 11, 12, 13 et 14 mois chez ce jeune locuteur.

6.1.2.1. Etude du cycle 2

Tableau 9. Durée et variation du cycle 2 – Sujet 2
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport (ET/M). Le nombre d'occurrences apparaît entre parenthèses.

	Cycle 2 (ms)		
	M	*ET*	*R*
9 mois (21)	312.46	45.13	0.14
10 mois (22)	340.31	88.59	0.26
11 mois (17)	309.69	74.22	0.24
12 mois (23)	295.6	64.54	0.22
13 mois (7)	366.66	101.11	0.27
14 mois (6)	266.57	36.05	0.13

À 9 mois, le cycle semble offrir une configuration stable et sa durée vient se situer aux environs de 3 Hz (*cf.* tableau 9). Il affiche plus exactement une durée moyenne de 312.46 ms pour un écart-type de 45.13 ms, soit un rapport ET/M de 0.14. Au stade suivant, en revanche, le rythme mandibulaire perd en stabilité. La gaussienne correspondante s'est en effet aplatie, bien que son pic se maintienne à 300 ms (*cf.* figure 14). De la même manière, l'augmentation de l'écart-type et celle du rapport ET/M confirment l'amplification de la variabilité cyclique (*cf.* tableau 9).

Entre 10 mois et 14 mois le cycle mandibulaire gagne à nouveau en stabilité. La variation temporelle va diminuer au cours de cette période d'analyse jusqu'à atteindre un écart-type de 36.05 ms pour une durée moyenne de 266.57 ms, soit un rapport ET/M de 0.13. De même que la variabilité cyclique s'affaiblit, la durée moyenne du cycle diminue en passant de 340.31 ms à 309.69 ms, puis à 295.57 ms pour arriver à 266.57 ms (*cf.* tableau 9). Le processus de stabilisation n'est pas constant chez ce sujet. À 13 mois, le processus est interrompu et le cycle perd de sa stabilité. Il est difficile d'interpréter ce phénomène, mais

nous pouvons lui accorder un manque de significativité compte tenu du trop petit nombre de séquences acquises et exploitées à cet âge.

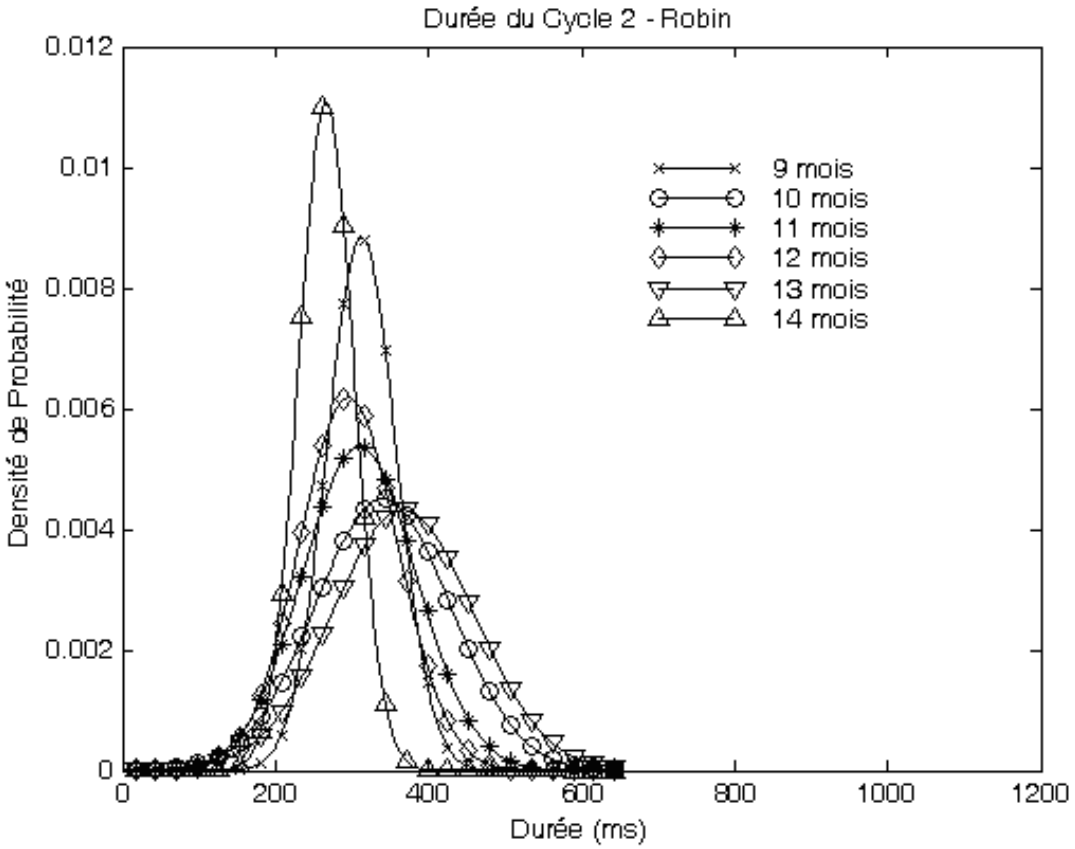


Figure 14. *Gaussiennes représentant l'évolution de la durée du cycle 2 chez le Sujet 2 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois*

6.1.2.2. Etude du cycle 3

Nous ne présenterons pas les résultats à 13 mois. Non pas parce que le nombre d'occurrences est bien trop faible, puisque nous présentons ceux obtenus à l'âge de 14 mois, mais parce que la durée cyclique dépasse les 600 ms pour quatre des sept séquences exploitables et qu'une cinquième excède largement 500 ms. Il faut noter que sur l'ensemble des échantillons couverts chez ce sujet pour le cycle 3, de telles durées sont exceptionnelles et peu représentatives. Sur les 96 occurrences conservées pour l'analyse, seulement 5 dépassent 600 ms c'est-à-dire 4,8 % du corpus. Les 4 occurrences recensées à l'âge de 13 mois représentent alors à elles seules 3,84 % des séquences insolites.

Tableau 10. Durée et variation du cycle 3 – Sujet 2
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport (ET/M). Le nombre d'occurrences apparaît entre parenthèses.

	Cycle 3 (ms)		
	M	*ET*	*R*
9 mois (21)	295.35	39.25	0.13
10 mois (22)	357.48	127.58	0.36
11 mois (17)	316.92	74.46	0.23
12 mois (23)	317.94	74.85	0.23
14 mois (6)	317.62	59.8	0.19

Les tendances dégagées se confirment pour le cycle 3. L'évolution la plus nette apparaît entre 9 mois et 10 mois. La stabilité précoce va clairement être perturbée à 10 mois. En un mois, l'indice de variation est multiplié par trois : l'écart-type passe de 39.25 ms à 127.58 ms et la projection graphique résultante perd de sa densité de probabilité. Par ailleurs, on observe une corrélation entre l'accroissement de la variabilité et celle de la durée moyenne du cycle. En effet, celle-ci va passer de 295.35 ms à 357.48 ms. Néanmoins, les valeurs préférentielles se maintiennent autour de 300 ms (*cf.* tableau 10). La configuration de la gaussienne garantit ces observations, en présentant la courbe la plus plane et un pic à 300 ms (*cf.* figure 15).

Entre 11 mois et 14 mois, le cycle mandibulaire s'oriente vers une nouvelle forme de stabilité. Le degré de stabilité est sensiblement identique entre 11 et 12 mois, mais il augmente à 14 mois.

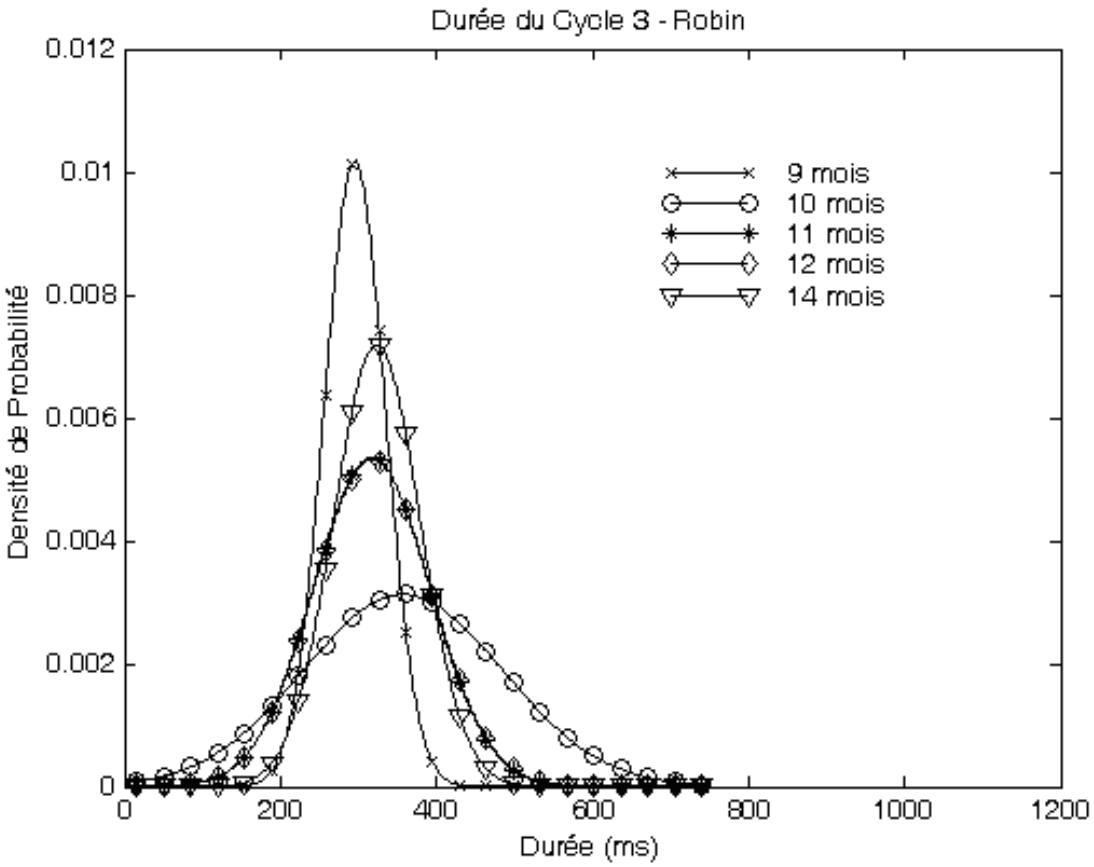


Figure 15. *Gaussiennes représentant l'évolution de la durée du cycle 3 chez le Sujet 2 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois et 14 mois*

6.1.2.3. En résumé

Dès le début de l'investigation, le cycle s'inscrit autour d'une valeur préférentielle de 3 Hz. Malgré une durée moyenne relativement stable, deux trajectoires d'évolution semblent émerger de l'analyse de la variabilité temporelle du cycle. La première va dans le sens d'une perturbation du rythme mandibulaire entre 9 mois et 10 mois. La seconde indique un retour progressif à la stabilité au cours des mois suivants, c'est-à-dire entre 11 mois et 14 mois.

Compte tenu de nos hypothèses de départ, la rythmicité de l'oscillation mandibulaire pesant sur le système de production précoce va subir une forte perturbation à 10 mois pour suivre une nouvelle stabilisation entre 11 et 14 mois. La variation temporelle serait donc incluse au processus d'acquisition du contrôle articulatoire en permettant au bébé de se dégager du rythme biologique imposé par la mandibule, sans en constituer la phase terminale. En d'autres termes, la variation temporelle donnerait accès à l'émergence du contrôle articulatoire mais ne reflèterait pas un contrôle mature.

6.1.3. Les caractéristiques communes de l'émergence du contrôle

Comparons maintenant les résultats obtenus pour chaque sujet afin d'établir l'existence éventuelle de similitudes dans l'évolution temporelle du cycle 2 et du cycle 3.

6.1.3.1. Comparaison du cycle 2

Nous commencerons par évoquer les différences recensées entre le sujet 1 et le sujet 2. Puis, nous verrons où se trouvent les convergences dans le cycle 2.

6.1.3.1.1. Divergences inter-sujets

De manière générale, la configuration des gaussiennes témoigne d'une variation temporelle du cycle plus importante chez le sujet 1. Au contraire, le sujet 2 laisse apparaître un rythme mandibulaire plus stable dès le début de l'investigation. Par ailleurs, la durée moyenne s'avère beaucoup plus élevée chez le sujet 1 de 10 mois à 12 mois.

6.1.3.1.2. Convergences inter-sujets

Malgré la présence de plusieurs divergences dans le mécanisme d'apprentissage du contrôle du cadre de ces deux sujets, plusieurs convergences s'installent.

On retrouve ainsi un accroissement de la durée moyenne du cycle entre 9 et 10 mois qui est sitôt suivi d'une diminution. Aussi, les réalisations atteignent-elles majoritairement, au terme de l'investigation, les caractéristiques intrinsèques du patron oscillatoire adulte à 3 Hz, recensées pour le processus de mastication adulte. Ce deuxième phénomène est perceptible jusqu'à 13 mois chez le sujets 1 et 14 mois chez le sujet 2.

On note également deux phases similaires de structuration temporelle du cycle chez ces deux sujets. Une phase de régression de la stabilité entre 9 et 10 mois suivie d'un retour progressif de la stabilisation du timing du cycle mandibulaire.

6.1.3.2. Comparaison du cycle 3

De la même manière, nous procéderons à l'établissement des différences et des correspondances perçues dans l'évolution temporelle du cycle 3 chez nos deux sujets.

6.1.3.2.1. Divergences inter-sujets

Comme pour le cycle précédent, une plus forte variabilité est repérée dans les réalisations cycliques du sujet 1. Ce phénomène est particulièrement prononcé aux deux stades les plus précoces, mais semble légèrement s'atténuer avec l'âge.

6.1.3.2.2. Convergences inter-sujets

Plusieurs éléments attestent d'éventuelles traces d'uniformité dans le développement du contrôle segmental. La première propriété partagée répond à la baisse de la durée moyenne du cycle après 10 mois en faveur d'une durée préférentielle s'élevant à 300 ms. Le second élément garantissant l'existence de convergences implique le paramètre de la stabilité temporelle. Comme nous l'avions déjà mentionné pour le cycle 2, le cycle 3 se voit également marqué par deux phases d'évolution, à savoir :

- Une perte de la régularité temporelle imposée par le rythme biologique de l'oscillation mandibulaire qui se manifeste, à 10 mois, par des séquences fortement variables.
- Un retour plus ou moins progressif de la stabilité temporelle entre 11 et 14 mois.

6.1.3.3. En résumé

On a pu voir émerger les développements non uniformes de certaines variables, comme le degré de variabilité entre les sujets ou l'évolution du paramètre de la durée. Cependant, quel que soit le cheminent suivi par le processus de structuration temporelle, la génération d'un pattern stable, au stade le plus tardif, est perceptible chez les deux sujets et dans tous les cycles analysés.

Par ailleurs, il a été observé que la régularité temporelle initiale résultant de la rythmicité intrinsèque de l'oscillation mandibulaire (MACNEILAGE 1998) se dissipait à 10 mois au profit de productions beaucoup plus variables. Puis, lorsque le cycle atteint sa variabilité maximale, un nouveau processus de stabilisation se met en place.

6.1.4. Synthèse

Deux paramètres de durée, mesurés sur le signal acoustique, nous ont permis de rendre compte du développement du contrôle mandibulaire : l'évolution de la variabilité cyclique ainsi que celle de sa durée moyenne.

L'observation de la variabilité temporelle du cycle laisserait entrevoir trois principaux stades dans le processus d'acquisition de l'habileté motrice de la mâchoire inférieure entre 9 mois et 14 mois :

1. Une stabilité temporelle initiale (9 mois) interprétée comme le résultat de contraintes imposées par la mandibule (*cf.* chapitre II).

2. Une rupture avec la régularité temporelle établie par le rythme mandibulaire (10 mois). En effet, le babillage tardif (10 mois) semble présenter les productions les plus variables. Cette variabilité pourrait alors être perçue comme un premier indice de l'émergence du contrôle moteur. Le mouvement mandibulaire aurait acquis un certain degré de liberté signifiant que le sujet s'est affranchi de certaines contraintes articulatoires et par conséquent de la dominance de la régularité du rythme oscillatoire. Cette rupture pourrait alors être associée à une phase au cours de laquelle le bébé explore les possibilités de son conduit vocal. Celle-ci permettrait au bébé de se libérer du rythme intrinsèque de la mandibule et de construire une organisation temporelle indépendante pour la parole.

3. Si la variation temporelle peut être un indicateur de l'émergence du contrôle, elle ne signifie pas pour autant que le processus est achevé. Ainsi, une nouvelle forme de stabilité, avec l'apparition des premiers mots, va progressivement se mettre en place entre 11 et 14 mois. Après une phase de familiarisation avec les possibilités de variation temporelle du cycle mandibulaire, le bébé restreint ses possibilités. Cette nouvelle manifestation de stabilisation coïncide avec l'apparition des premiers mots et l'accroissement lexical. La production de mots va imposer de nouvelles contraintes phonotactiques auxquelles l'enfant devra se soumettre et qui auront des répercussions sur l'organisation temporelle de ses réalisations (VIHMAN 1991). SHARKEY et FOLKINS (1985), dans leur observation sur la durée des mouvements d'ouverture des lèvres et de la mâchoire chez des sujets âgés de 4, 5, et 7 ans, avaient déjà observé un degré décroissant de variabilité dans le déplacement de la lèvre inférieure avec l'âge. Le fait que cette tendance n'ait pas été observée pour la mandibule pourrait s'expliquer par nos résultats. En effet, il semblerait que ce phénomène intervienne plus tôt, pour la mâchoire, c'est-à-dire entre 12 et 15 mois (GREEN *et al.* 2000). STUDDERT-KENNEDY (1990) considère que le développement de la parole dépend non seulement de la maturation et de l'usage du système moteur vocal, mais aussi de la découverte progressive par l'enfant de la structure de la parole qu'il entend : en apprenant comment écouter, l'enfant apprend comment parler. La perception influencerait donc l'action (KUHL & MELTZOFF 1996, SCHWARTZ *et al.* 2000). De

ce fait, STUDDERT-KENNEDY envisage l'acquisition du langage comme un processus au cours duquel les cycles de différenciation et d'intégration s'enchaînent continuellement. Ainsi, les vocalisations précoces impliqueraient la différenciation des activités respiratoires et vocales. Plus tard, le babillage canonique s'associerait à l'intégration des patrons de constriction et d'ouverture du tractus vocal dans des structures syllabiques. Lui succèderait enfin le babillage varié et l'apparition des premiers mots qui engendreraient la différenciation des gestes d'ouverture et fermeture des syllabes successives, donnant l'impression de variation entre C et V (différenciation des composantes gestuelles). Cette démarche pourrait tout à fait se rattacher à nos résultats. Même si la période analysée est décrite comme une phase de pure intégration par STUDDERT-KENNEDY, il semblerait qu'elle puisse aussi être décomposée selon ce principe binaire. La différenciation pourrait ainsi être associée à la modification du comportement régulier du cycle, et l'intégration à l'assimilation des caractéristiques temporelles matures.

Enfin, conjointement à la diminution de la variabilité, la durée cyclique moyenne va elle aussi subir un affaiblissement. De manière générale, les enfants produisent des segments, des syllabes et des phrases plus longues et plus instables que l'adulte (SMITH & GOFFMAN 1998). Au cours du développement, il faudra alors accroître leur rythme de production mais aussi en diminuer sa variabilité. Au stade le plus tardif de notre étude, soit à 14 mois, la fréquence oscillatoire du cycle va rejoindre le patron mature en atteignant 3 Hz (MORIMOTO *et al.* 1984). Le contrôle moteur de la mandibule est alors envisageable. BACRI (1987) défend l'influence du contrôle moteur sur la durée articulatoire d'une syllabe. Selon elle, il existe une corrélation entre le tempo articulatoire, associé à la durée syllabique entre autres, et la maturation des coordinations sensori-motrices. Le tempo articulatoire serait alors détectable dans les productions précoces du fait que les caractéristiques motrices adultes y sont présentes. Cependant, il faut considérer le fait que ces caractéristiques ne sont pas véritablement celles de la parole, mais celles de la mastication. On peut donc contester la précocité d'une telle habileté, mais des chercheurs, comme GREEN *et al.* (2002), ont déjà mis en évidence la performance précoce de la motricité mandibulaire en apportant une explication physique. Pour ces auteurs, les structures articulatoires pourvues d'un degré de liberté plus grand, seraient soumises à un processus de contrôle plus long : la langue et les lèvres, étant déformables, engendrent plus de complexités pour le système nerveux. De ce fait, la plasticité relativement pauvre de la mandibule sous-tendrait une maturation plus rapide de ses patrons moteurs.

6.2. Progression de la voyelle au sein des cycles

Nous nous appuyons sur l'hypothèse d'une représentation segmentale du contrôle de la parole chez l'adulte (*cf.* chapitre IV). Ainsi, le deuxième intérêt de notre recherche nous place du côté de l'émergence de ce contrôle segmental. Nous essaierons donc de montrer que les composantes vocalique et consonantique du cycle mandibulaire vont devenir des unités à part entière indépendamment contrôlées. Comment cette évolution peut-elle émerger ? La variation temporelle est une fois encore le paramètre que nous avons choisi comme indice de contrôle. En effet, si une composante est temporellement modulée, c'est qu'elle échappe à l'influence de l'oscillation mandibulaire rythmique dont elle n'était qu'une conséquence passive. Mais le développement de l'indépendance, pour les composantes vocalique et consonantique, va-t-il être simultané ou va-t-il toucher chaque composante successivement, et si oui dans quel ordre ?

Nous supposons que la première source de variation temporelle, et par conséquent d'indépendance segmentale, pourrait émerger de la voyelle. La voyelle a des caractéristiques articulatoires qui pourraient favoriser la variation alors que les possibilités de la consonne occlusive seraient plus restreintes. La voyelle est associée à un passage libre, sans obstacle, de l'air expiré dans la cavité buccale, tandis que la consonne occlusive se caractérise par un point de contact derrière lequel l'air expiré va venir s'accumuler et engager l'explosion. Pour un appareil vocal à l'activité encore immature, la variation vocalique semble plus facile. Une telle supposition rejoindrait alors la conception de PISKE (1997). Selon l'auteur, les patrons articulatoires de base se décriraient comme la combinaison d'un élément consonantique plutôt stable et d'un élément vocalique au degré plus élevé de variation.

La parole peut également être considérée sous son angle acoustique. Dans ce cas, le contrôle de cette faculté se ferait grâce à des paramètres définis dans un espace distal caractérisé par les cibles perceptives à atteindre (ABRY & PERRIER 1995). Une deuxième conception pourrait étayer notre hypothèse. Si l'on accepte le fait que la parole est d'abord une tâche spécifiée dans l'espace acoustique plutôt qu'une tâche spécifiée dans l'espace sensori-moteur, la voyelle étant le noyau acoustique d'une syllabe, on peut envisager que l'élément acoustique dominant sera le premier élément à subir les variations.

Nous vérifierons donc le comportement de la voyelle par une étude de l'évolution de sa durée et de sa proportion au sein des différents cycles retenus et en fonction des tranches d'âge mensuelles que nous avions définies.

6.2.1. Sujet 1 (Pierre)

Voyons l'évolution de ces paramètres chez le sujet 1 au sein des cycles 2 et 3.

6.2.1.1. Etude du cycle 2

Tableau 11. Evolution de V au sein du cycle 2 – Sujet 1
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport (ET/M). Le nombre d'occurrences apparaît entre parenthèses.

		9 mois (7)			10 mois (15)			11 mois[18] (23)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
Cycle 2 (ms)		392.5	162.3	0.41	406.18	237.93	0.59	389.32	186.57	0.48
V	**ms**	183.69	122.95	0.67	262.93	240.55	0.91	210.35	166.82	0.79
	%	46.41	20.88	0.45	55.59	24.73	0.44	49.1	18.1	0.37
		12 mois (43)			13 mois[19] (24)			14 mois (13)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
Cycle 2 (ms)		393.73	185.57	0.47	305.98	123.43	0.4	376.22	115.94	0.31
V	**ms**	182.81	163.56	0.89	126.82	69.28	0.54	209.56	109.58	0.52
	%	41	18.43	0.45	40.80	16.23	0.4	53.19	13.29	0.25

[18] Une occurrence vocalique qui dépassait 1000 ms fut considérée comme erratique étant donné que les productions oscillent majoritairement entre 100 et 150 ms.
[19] *Cf.* section précédente

Le vaste espace couvert par l'ellipse de dispersion (à 2 σ) à 10 mois témoigne de la grande variabilité des proportions vocaliques et des durées cycliques (*cf.* figure 16). L'appréciation des écarts-types, indices de variation quand ils sont rapportés à la valeur moyenne d'une série, confirme la progression de cette instabilité entre 9 mois et 10 mois, tant du point de vue des valeurs absolues, en passant de 112.95 ms à 240.55 ms, que des proportions vocaliques, avec une évolution de 20.88 % à 24.73 %. Il semblerait donc que la structuration vocalique suive celle du cycle. Plus tard, c'est-à-dire entre 10 mois et 14 mois, la variabilité semble peu à peu diminuer : les écarts-types correspondants diminuent progressivement de 240.55 ms à 109.58 ms (*cf.* tableau 11). Les productions semblent se stabiliser. L'espace de dispersion est nettement moins étendu (*cf.* figure 16). Les proportions vocaliques se centralisent entre 45-50 % aux stades les plus tardifs, avec une variabilité modérée par rapport aux tranches d'âge précédentes.

La durée vocalique absolue moyenne augmente au cours des deux premiers mois. Elle atteint 183.69 ms à 9 mois contre 262.93 ms à 10 mois. Ensuite, elle régresse au cours des stades suivants jusqu'à 13 mois, mais elle augmente à nouveau à 14 mois (*cf.* tableau 11). En ce qui concerne les données relatives, la proportion vocalique couvre 55.59 % du cycle à 10 mois et plus que 40.8 % à 13 mois, puis 53.14 % à 14 mois.

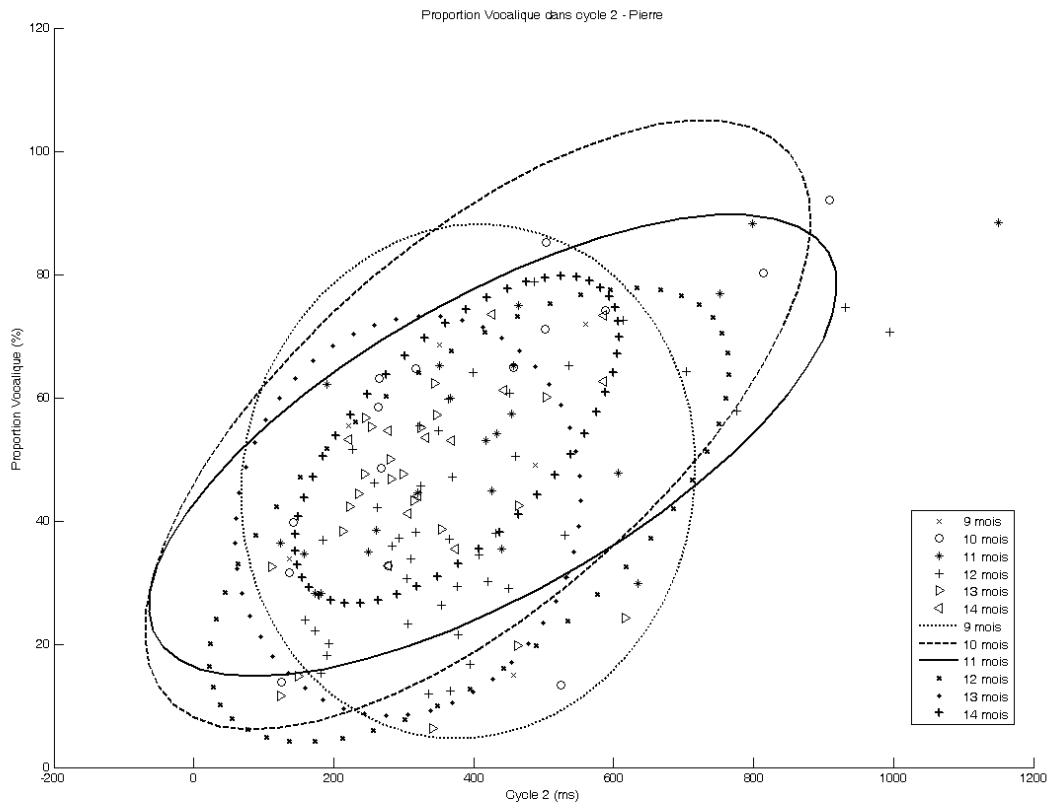


Figure 16. *Ellipses de dispersion de l'évolution de la proportion vocalique au sein du cycle 2 chez le Sujet 1 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois*

6.2.1.2. Etude du cycle 3

Tableau 12. Evolution de V au sein du cycle 3 – Sujet 1
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport (ET/M). Le nombre d'occurrences apparaît entre parenthèses.

		9 mois (7)			10 mois (15)			11 mois (23)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
Cycle 3 (ms)		527.7	161.36	0.31	490.54	226.75	0.46	422.47	177.59	0.42
V	**ms**	318.9	155.24	0.49	369.54	214.69	0.58	252.35	137.89	0.55
	%	60.17	20.71	0.34	70.15	15.85	0.23	58.76	16.76	0.28
		12 mois (43)			13 mois (24)			14 mois (13)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
Cycle 3 (ms)		351.2	138.33	0.39	310.99	121.16	0.38	300.39	72.78	0.24
V	**ms**	131.72	106.84	0.81	120.31	76.64	0.64	134.98	70.05	0.52
	%	34.77	16.94	0.45	40.07	18.03	0.45	43.34	14.07	0.32

Les tendances observées pour le cycle 2 se confirment en partie. L'instabilité de la durée vocalique augmente entre 9 et 10 mois, l'écart-type s'élevant initialement à 155.24 ms passe à 214.69 ms, pour un rapport de 0.49 à 0.58. Néanmoins, la proportion vocalique au sein de ce cycle n'offre pas tout à fait la même tendance (*cf.* figure 17) et semble gagner en stabilité en affichant un écart-type et un rapport ET/M plus faibles. Lorsque la durée du cycle diminue celle de la voyelle augmente et elle occupe alors en moyenne 70.15 % du cycle à ce stade (*cf.* tableau 12).

Ensuite, les valeurs progressent vers une certaine forme de stabilisation entre 10 et 14 mois. Cette observation est toutefois discutable dans la mesure où elle est essentiellement visible pour les valeurs absolues : l'écart-type passe de 214.69 ms à 70.05 ms en diminuant à chaque stade. Pour les valeurs relatives, le degré de variation est à première vue plutôt fluctuant, mais si l'on regarde la figure correspondante (*cf.* figure 17), on s'aperçoit que l'axe verticale des ellipses de dispersion, même s'il ne couvre pas les mêmes valeurs, est assez similaire jusqu'à 13 mois et va se rétracter à l'âge de 14 mois. La variation des écarts-types relatifs entre 11 mois et 13 mois est peu importante. Ces derniers sont très proches à 11 mois et 12 mois, puis on observe une augmentation de 1 % à 13 mois. C'est à 14 mois qu'il diminue. Observe une tendance à la verticalisation de l'ellipse à cet âge qui pourrait indiquer une évolution vers l'indépendance de la voyelle par rapport au cycle. On remarque alors que les proportions vocaliques tendent à se centraliser autour de 45 % (*cf.* figure 17). On peut avancer, tout en restant prudente, que la proportion moyenne ainsi que la variabilité suivent une tendance générale à la diminution.

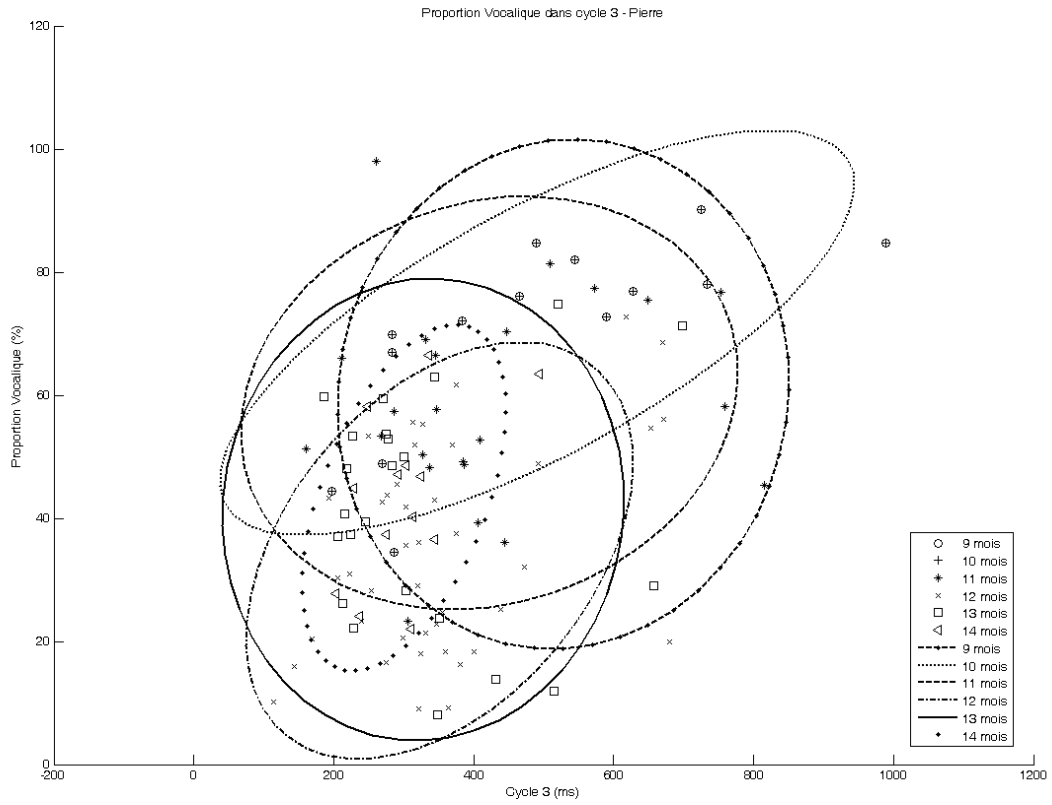


Figure 17. *Ellipses de dispersion de l'évolution de la proportion vocalique au sein du cycle 3 chez le Sujet 1 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois*

6.2.1.3. En résumé

Des tendances intéressantes se dégagent même s'il faut rester très prudent sur la significativité de nos résultats étant donné le petit nombre d'occurrences exploitées.

Le timing de la phase d'ouverture apparaît le plus variable à 10 mois, puis vient se recentrer autour de valeurs préférentielles se situant autour de 40-45 % à la fin de la période étudiée. Plus précisément, la variabilité temporelle de l'élément vocalique s'accroît entre 9 et 10 mois puis faiblit entre 11 mois et 14 mois. L'évolution du contrôle vocalique suit donc deux phases développementales sensiblement identiques à celles du cycle. La mise en place du contrôle segmental passerait donc par une rupture avec la stabilité.

Nous chercherons donc à confirmer les tendances dégagées chez le sujet 1 avec les résultats obtenus pour le sujet 2.

6.2.2. Sujet 2 (Robin)

Quel est le comportement de la voyelle dans les cycles 2 et 3 chez ce sujet ?

6.2.2.1. Etude du cycle 2

Tableau 13. Evolution de V au sein du cycle 2 – Sujet 2
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport (ET/M). Le nombre d'occurrences apparaît entre parenthèses.

		9 mois (21)			10 mois (22)			11 mois (17)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
Cycle 2 (ms)		312.46	45.13	0.14	340.31	88.59	0.26	309.69	74.22	0.24
V	**ms**	125.57	43.3	0.34	153.45	83.98	0.55	129.42	56.04	0.43
	%	39.98	12.88	0.32	42.65	17.04	0.4	40.39	14.53	0.36
		12 mois (23)			13 mois (7)			14 mois (6)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
Cycle 2 (ms)		295.60	64.54	0.22	366.66	101.11	0.27	266.27	36.05	0.13
V	**ms**	118.41	59.8	0.5	135.09	85.43	0.63	89.26	36.23	0.4
	%	40.31	17.36	0.43	36.87	19.45	0.53	32.4	11.9	0.37

Dans un premier temps, la variation s'accroît entre 9 et 10 mois (*cf.* figure 18), les écarts-types passent alors de 43.3 ms à 88.59 ms au niveau absolu et de 12.88 % à 17.04 % au niveau relatif. La proportion vocalique moyenne est affectée et augmente de 39.98 ms à 42.65 ms, mais cette évolution n'est pas véritablement pertinente. De manière générale, cette dernière reste relativement stable tout au long de l'investigation pour ne chuter vraiment qu'à 14 mois.

Puis, après cet accroissement subit de la variabilité, la voyelle va manifester des phases successives d'accroissement puis de diminution de sa variabilité. Entre 10 et 11 mois, l'écart-type absolu ou relatif va diminuer pour augmenter à nouveau jusqu'à 13 mois et chuter à 14 mois (*cf.* tableau 13).

La durée vocalique moyenne et la proportion vocalique affichent une tendance à la diminution dès 10 mois. Seule la diminution de la durée moyenne n'est pas constante puisqu'elle augmente à 13 mois.

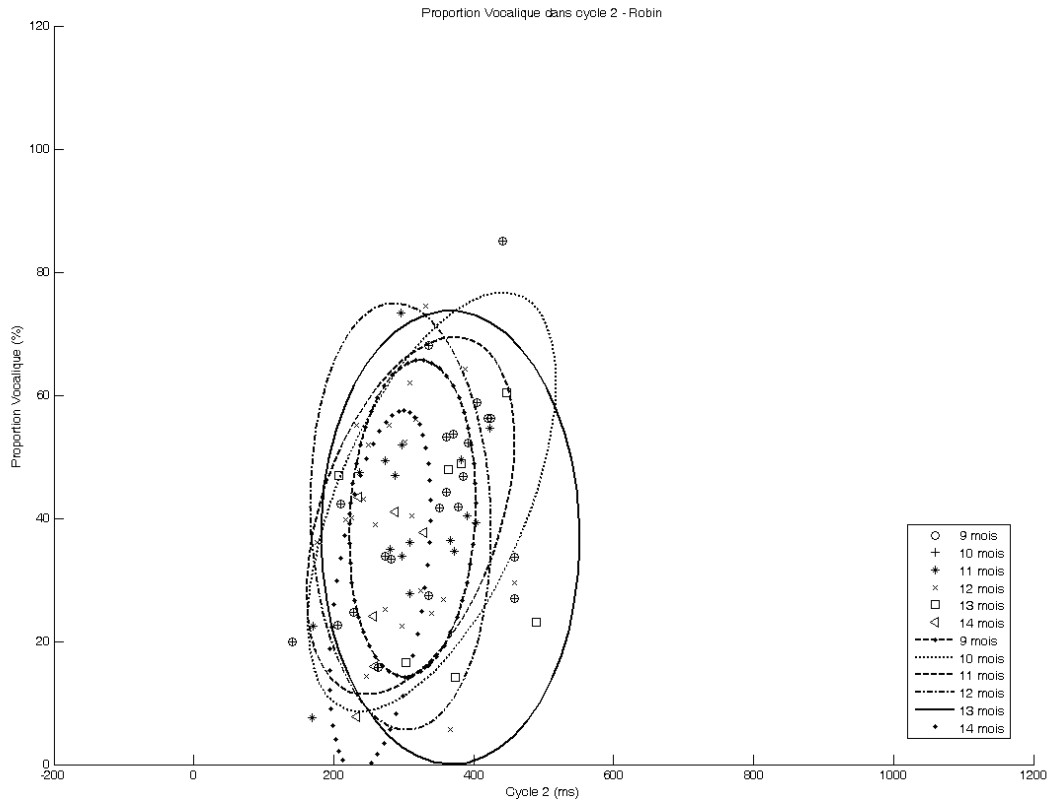


Figure 18. *Ellipses de dispersion de l'évolution de la proportion vocalique au sein du cycle 2 chez le Sujet 2 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois*

6.2.2.2. Etude du cycle 3

Tableau 14. Evolution de V au sein du cycle 3 – Sujet 2
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport (ET/M). Le nombre d'occurrences apparaît entre parenthèses.

		9 mois (21)			10 mois (22)			11 mois (17)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
Cycle 3 (ms)		300.11	40.48	0.13	357.48	127.58	0.36	316.92	74.46	0.23
V	**ms**	113.22	36.15	0.32	179.05	126.13	0.7	136.64	53.03	0.39
	%	37.94	12.27	032	46.31	17.19	0.37	42.61	9.88	0.23
		12 mois (23)			13 mois			14 mois (6)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
Cycle 3 (ms)		322.18	75.69	0.23				351.6	98.64	0.28
V	**ms**	145.02	60.75	0.42				124.54	49.81	0.4
	%	45.33	16.13	0.36				38.56	10.74	0.28

Le développement de la structuration temporelle de l'élément vocalique semble une nouvelle fois évoluer selon deux phases au sein du cycle 3 :

En effet, dans un premier temps, la variabilité de la voyelle augmente brusquement entre 9 mois et 10 mois. En considérant les valeurs absolues des écarts-types, nous nous apercevons qu'elle est quasiment multipliée par deux. D'un autre côté, les ellipses de dispersion proposées à la figure 19 illustrent parfaitement l'accroissement de la variabilité de la proportion vocalique à cette période. Les points s'étendent de 20 % à 80 %.

Au cours des mois suivants, la variabilité va chuter (entre 10 et 11 mois), puis remonter (à 12 mois) et à nouveau faiblir à 14 mois pour osciller autour de 40 %, 38.56 % plus exactement.

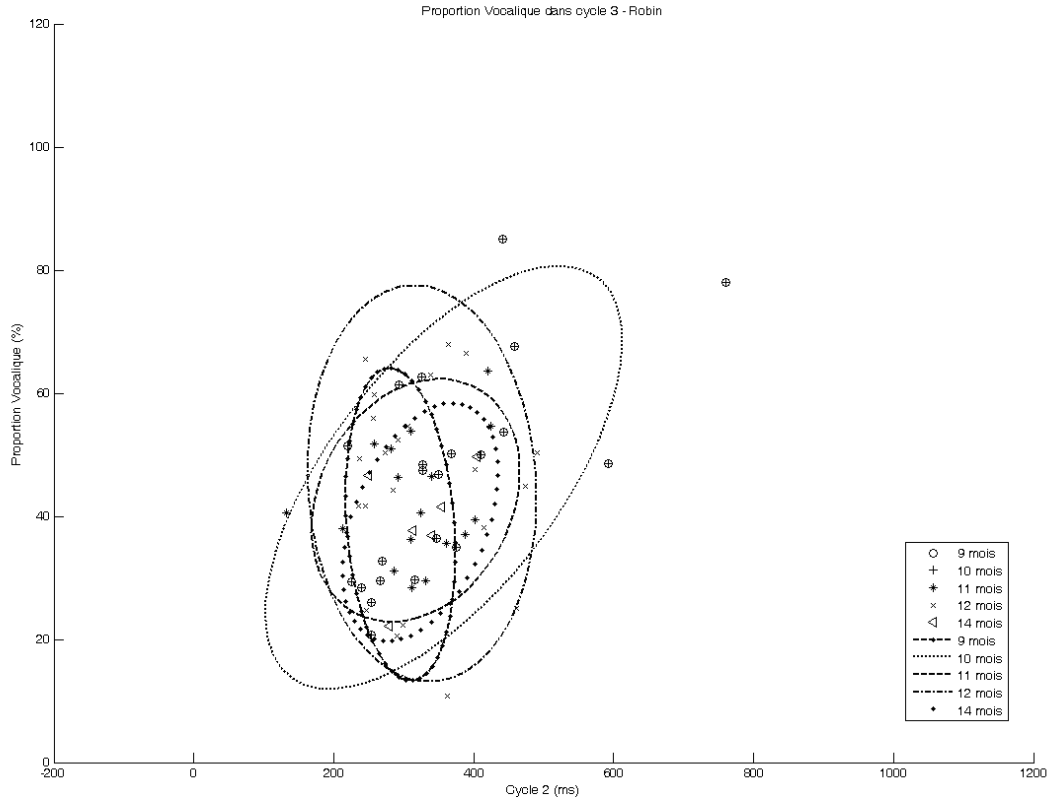


Figure 19. *Ellipses de dispersion de l'évolution de la proportion vocalique au sein du cycle 3 chez le Sujet 2 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11mois, 12 mois et 14 mois*

6.2.2.3. En résumé

Chez le sujet 2, comme chez le sujet précédent, la structuration de la proportion vocalique s'établirait en deux phases. Une première phase au cours de laquelle la variabilité temporelle se met en place (10 mois) et implique une forte modulation de la phase d'ouverture. Une seconde phase, au contraire, laisse entrevoir un nouveau processus de stabilisation entre 10 et 14 mois. Cette évolution n'est pas sans rappeler celle du cycle, et supposerait que la perturbation temporelle de l'élément vocalique sous-tende celle du cycle.

De plus, les valeurs privilégiées aux stades les plus tardifs semblent se concentrer autour de 40 %.

6.2.3. Les caractéristiques communes de l'émergence du contrôle

Après avoir procédé à l'étude individuelle des résultats, essayons maintenant de les rapprocher.

6.2.3.1. Comparaison du cycle 2

L'évolution temporelle de la composante vocalique dans le cycle 2 présente un certain nombre de divergences et de convergences entre nos deux sujets.

6.2.3.1.1. Divergences inter-sujets

Le degré de variabilité est également une source de divergence. Le sujet 1 révèle alors une modulation temporelle plus marquée, à tout âge. Le sujet 2, en revanche, exhibe un espace de dispersion plus restreint, reflet de variation, beaucoup plus stable.

L'évolution de la variabilité s'appuie aussi sur des critères de variation interindividuelle. Ainsi est-elle stable chez le sujet 1 entre 10 mois et 12 mois, mais progresse légèrement chez le sujet 2.

6.2.3.1.2. Convergences inter-sujets

Nous relevons que même si leurs productions vocaliques évoluent de manières très différentes entre 10 et 15 mois, les deux sujets étudiés convergent, lors de la dernière période d'âge étudiée, vers des caractéristiques similaires. La proportion de la phase vocalique se situe majoritairement aux environs de 40 %. Cette manifestation ne ressort peut être pas de manière distincte des figures, mais se dégage parfaitement des chiffres proposés dans les sections précédentes (*cf.* tableau 14). Toutefois, malgré de légères divergences, le processus établi chez les deux sujets est relativement analogue dans la mesure où il s'inscrit systématiquement dans le sens d'une régression progressive de la proportion vocalique.

6.2.3.2. Comparaison du cycle 3

Le cycle 3 témoigne également de la présence de disparités et de similarités.

6.2.3.2.1. Divergences inter-sujets

La variabilité de la proportion vocalique moyenne, au sein du cycle 3, s'accentue chez le sujet 1 entre 10 mois et 12 mois. À l'opposé, le sujet 2 présente d'abord une tendance à la diminution en 10 mois et 11 mois, qui sera suivie par son accroissement le mois suivant.

Cependant, la tendance à la réduction de la proportion vocalique n'affecte pas la variabilité temporelle chez le sujet 1. Les productions recensées à 10 mois et 12 mois sont effectivement pourvues d'une vaste dispersion de l'espace temporel. Le sujet 2, en revanche, présente une variation à peine plus restreinte. Bien que nous la relevions, cette dissimilitude n'est pourtant pas la plus pertinente. En revanche, il ressort qu'à 10 mois la phase d'ouverture occupe des proportions beaucoup plus élevées chez le sujet 1 que chez le sujet 2.

6.2.3.2.2. Convergences inter-sujets

Outre ces dissemblances, la proportion vocalique au sein du cycle 3 suit une évolution assez similaire chez les deux sujets. Entre 10 et 12 mois, on note les indices de la présence d'une forte variabilité pesant sur la composante vocalique. Puis, au cours de la période subséquente, correspondant au stade de l'accroissement lexical, ce phénomène de fluctuation temporelle s'atténue, de sorte que la voyelle s'oriente en direction d'une valeur préférentielle atteignant 40 %.

6.2.4. Synthèse

Les quelques divergences observées pour l'évolution de la proportion vocalique et de sa variabilité au sein du cycle témoignent du caractère individuel de l'acquisition du langage.

Au cœur de cette disparité se dégagent cependant plusieurs tendances communes. L'organisation temporelle de la voyelle semble se structurer en deux phases. La première de ces phases implique un accroissement de la variabilité vocalique entre 9 et 10 mois. Cette variabilité va ensuite peu à peu se réduire au cours de la phase suivante. Les sujets partagent, au stade le plus tardif de l'investigation (14 mois), la propension de la configuration ouverte du tractus vocal à atteindre une proportion de 40 %-45 % du cycle. Chaque sujet transite par une phase d'exploration temporelle, où la variabilité se manifeste. C'est par cette prospection que le bébé développe l'apprentissage moteur. Progressivement, en évaluant les possibilités de son conduit vocal, il va restreindre les disparités et stabiliser ses cibles afin que ses propres patrons sonores atteignent les modèles disponibles qui lui sont offerts par son environnement langagier. Cette stabilisation, observée dès l'apparition des premiers mots, peut alors être associée à l'influence de la tâche linguistique sur la production (VIHMAN 1991, BUDER & STOEL-GAMMON 2002).

6.3. Comportements vocaliques et consonantiques et rapport V/C

L'élément vocalique pourrait être le premier élément du cycle à être indépendamment contrôlé. La dissociation de l'unité articulatoire CV, constituée par le cycle mandibulaire au stade précoce du babillage, pourrait résulter de la modulation temporelle de la phase d'ouverture. C'est l'hypothèse que nous avons tenté de démontrer dans la section 6.2. Nous avons pu mettre en évidence certaines tendances du comportement vocalique entre 9 mois et 14 mois et la manière dont la voyelle pouvait se soustraire de l'influence du cycle à travers sa variation temporelle, mais nous n'avons pas répondu entièrement à la question : est-ce que la voyelle trouve son indépendance avant la consonne où simultanément ? Nous nous sommes rendue à l'évidence que pour pouvoir montrer que la voyelle était le premier élément indépendant il fallait comparer son développement à celui de la consonne.

C'est pourquoi nous observerons parallèlement l'évolution du comportement temporel des deux constituantes du cycle mandibulaire. Nous comparerons leur organisation temporelle et dégagerons le rapport que ces deux éléments entretiennent afin de déterminer si la phase d'ouverture domine le processus d'apprentissage segmental.

Les mêmes outils d'analyse seront exploités que dans les parties précédentes pour le cycle et la proportion vocalique.

6.3.1. Sujet 1 (Pierre)

Comme dans les sections précédentes, nous observerons le comportement de la composante vocalique et celui de la composante consonantique successivement dans les cycles 2 et 3.

6.3.1.1. Etude du cycle 2

Tableau 15. Evolution de V et C – cycle 2 – Sujet 1
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport (ET/M). Le nombre d'occurrences apparaît entre parenthèses.

		9 mois (7)			10 mois (15)			11 mois (23)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
V	**ms**	183.69	122.95	0.67	262.93	240.55	0.91	210.35	166.82	0.79
C	**ms**	208.83	127.76	0.61	143.25	92.7	0.65	178.87	86.99	0.49
		12 mois (43)			13 mois (23)			14 mois (13)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
V	**ms**	182.81	163.86	0.89	126.82	69.29	0.54	209.56	109.58	0.52
C	**ms**	210.93	68.82	0.33	179.16	96.24	0.54	166.97	40.44	0.24

Si l'on considère les écarts-types et les rapports ET/M reportés dans le tableau ci-dessus, la voyelle reste l'élément le plus variable du cycle entre 9 mois et 14 mois.

Entre 9 et 10 mois, la modulation vocalique explose et la variation consonantique semble se maintenir même si les ellipses de dispersion témoignent d'une variation légèrement plus importante à 9 mois. Néanmoins, cet effet de variation plus prononcée à ce stade serait la conséquence de seulement deux occurrences dont la durée dépasse 300 ms, sur seulement 7 analysées. Le stade le plus variable pour la consonne apparaît à 13 mois. La voyelle perd de sa variabilité au cours du développement, mais reste très variable entre 10 et 12 mois.

Aux environs de 14 mois, les durées consonantiques et vocaliques vont se recentrer autour des valeurs préférentielles se situant entre 100 et 200 ms (*cf.* figure 20).

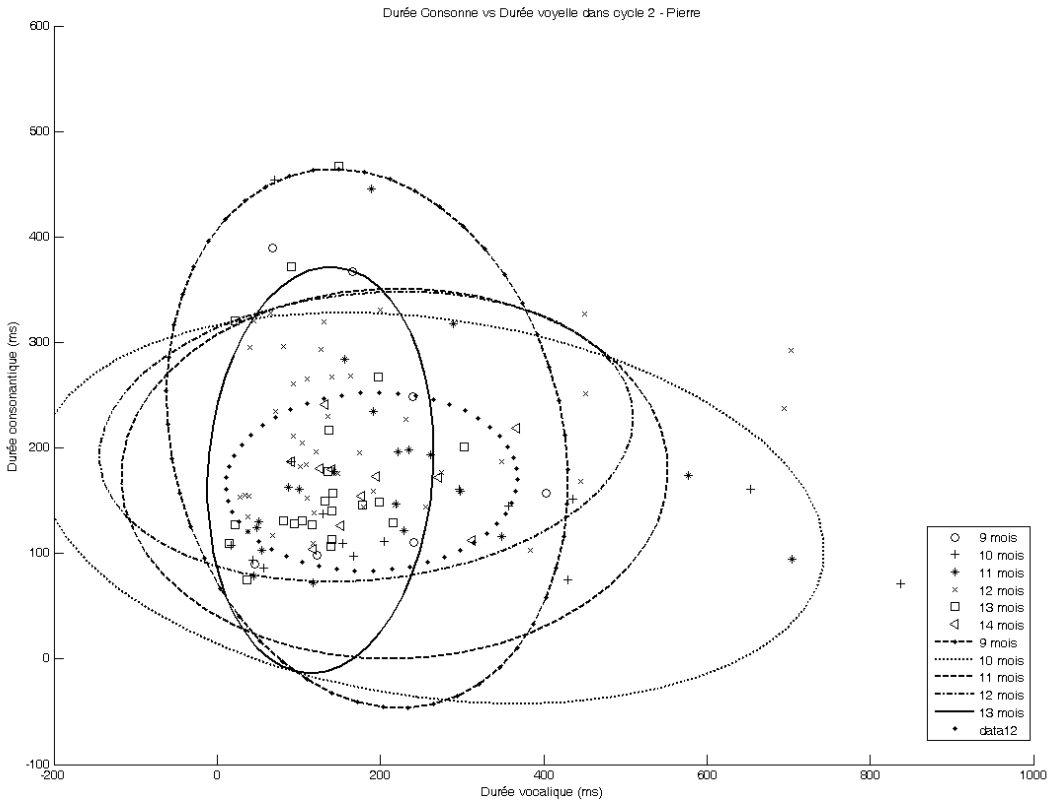


Figure 20. *Ellipses de dispersion des durées consonantiques et vocaliques dans le cycle 2 pour le Sujet 1 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois*

Le rapport que nous évoquons ici n'est pas celui que nous définissions dans les différents tableaux par la division de l'écart-type par la moyenne, mais il s'agit de la division de la durée vocalique par la durée consonantique. Ainsi, la centralisation des durées vocaliques et consonantiques que nous évoquions dans les lignes précédentes se confirme avec la figure 21. Les gaussiennes, témoignant de l'évolution de ce rapport aux différents stades observés, indiquent que le rapport V/C tend à s'équilibrer et se stabiliser avec l'âge : la densité de probabilité s'accroît d'une part, et d'autre part le rapport se rapproche de 1 dès 12 mois. Notons qu'à 9 mois ce rapport avoisinait 1 également : il était moins variable qu'à 10 mois mais cependant plus qu'à 13 mois. À 10 mois, la stabilité de ce rapport chute ; la gaussienne s'aplatit et le rapport V/C vient se situer autour de 2.5. C'est à partir de 11 mois que l'équilibre entre la consonne et la voyelle va commencer à se rétablir et à se stabiliser.

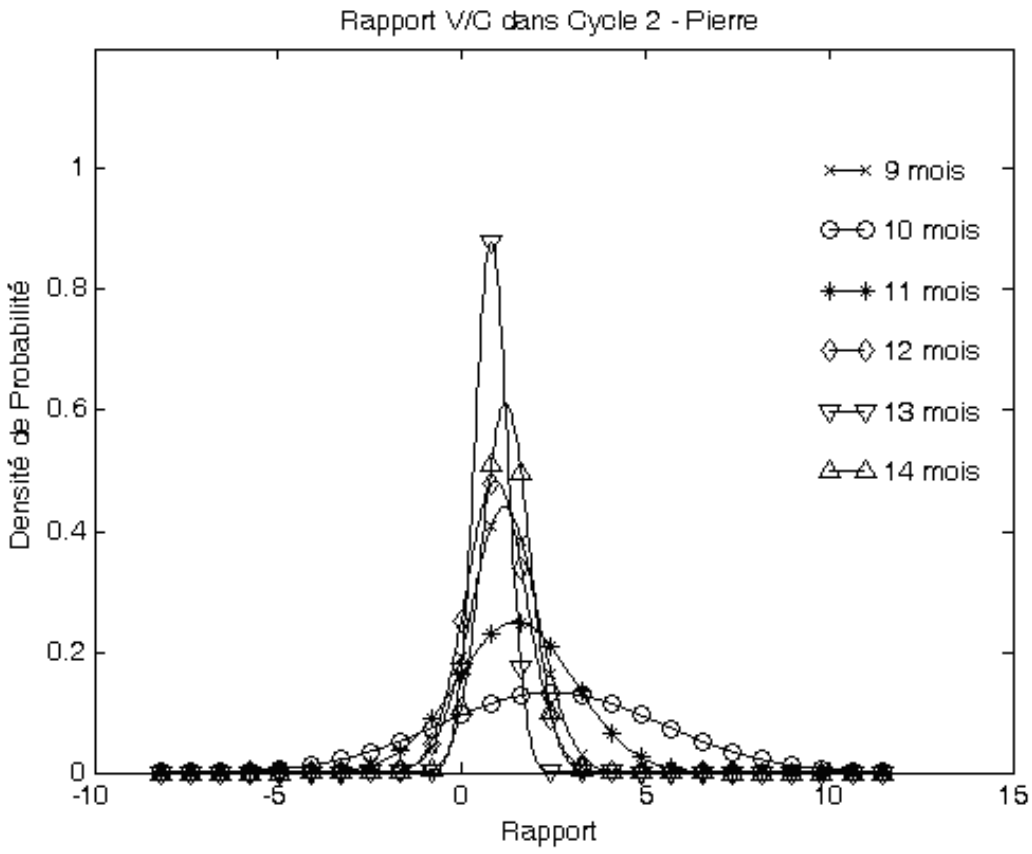


Figure 21. *Evolution du rapport Voyelle/Consonne entre 9 mois et 14 mois chez le Sujet 1 dans le Cycle 2*

6.3.1.2. Etude du cycle 3

Tableau 16. Evolution de V et C – cycle 3 – Sujet 1
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport (ET/M). Le nombre d'occurrences apparaît entre parenthèses.

		9 mois (7)			10 mois (14)			11 mois (23)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
V	**ms**	318.9	155.24	0.49	369.54	214.69	0.58	252.35	137.89	0.55
C	**ms**	208.8	127.77	0.61	121	36.06	0.3	170.12	92.67	0.54
		12 mois (43)			13 mois (24)			14 mois (13)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
V	**ms**	131.72	106.84	0.81	120.31	76.64	0.64	134.98	70.05	0.52
C	**ms**	219.49	85.81	0.39	190.67	112.68	0.59	165.42	39.13	0.25

La voyelle est toujours la composante la plus variable du cycle tout au long de la période d'observation couverte.

Si l'on considère les écarts-types (*cf.* tableau 16) et les ellipses de dispersion, la voyelle apparaît la plus variable à 10 mois et la consonne à 9 et 13 mois (*cf.* figure 22). Mais rappelons qu'à 9 mois le nombre d'occurrences reste très limité (*cf.* tableaux 6 et 16). La voyelle va alors, à partir de 10 mois, entamer une phase de réduction de la variabilité qui se poursuivra jusqu'à 14 mois. La tendance observée pour la consonne irait plutôt dans le sens inverse. Plus exactement, la variation temporelle diminue entre 9 et 10 mois avec un écart-type qui passe de 127.77 ms à 36.06 ms. Puis, entre 10 mois et 13 mois, elle entame une phase d'accroissement (*cf.* tableau 16).

Ensuite, au stade le plus tardif, les deux composantes vont toutes deux rejoindre une certaine forme de stabilité en venant se situer principalement aux environs de 100-200 ms. On note qu'un équilibre notoire des rapports V/C commence à se mettre en place à partir de 12 mois, le pic de la gaussienne (*cf.* figure 23) se rapproche de 1 et gagne en stabilité.

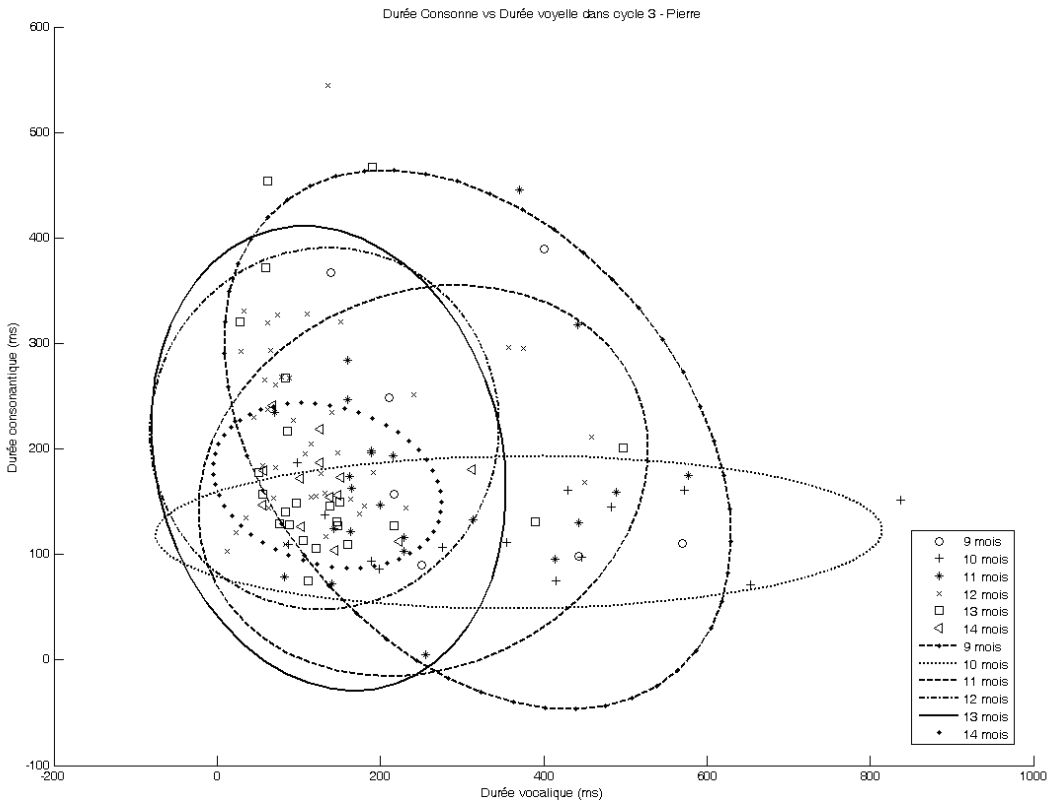


Figure 22. *Ellipses de dispersion des durées consonantiques et vocaliques dans le cycle 3 pour le Sujet 1 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois*

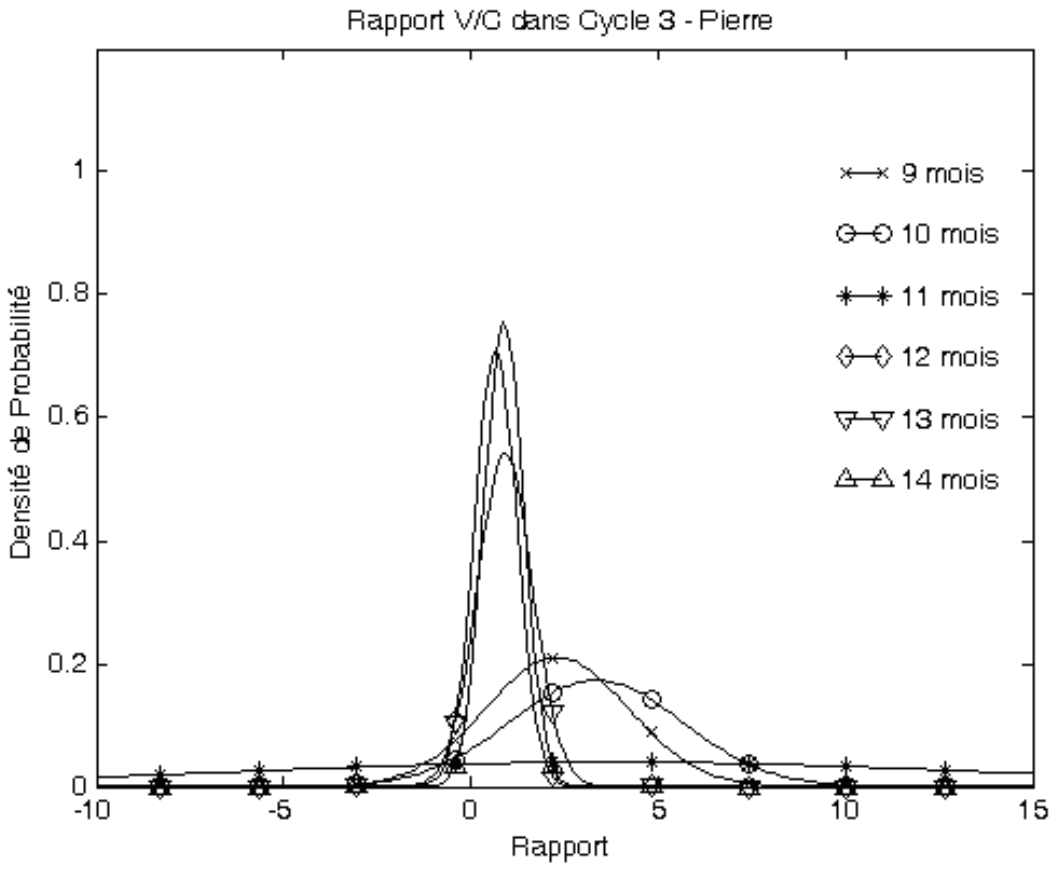


Figure 23. *Evolution du rapport Voyelle/Consonne entre 9 mois et 14 mois chez le Sujet 1 dans le Cycle 3*

6.3.1.3. En résumé

Trois tendances semblent se dégager de l'analyse des comportements vocaliques et consonantiques, ainsi que des rapports V/C chez le sujet 1. Premièrement, la variabilité vocalique se révèle toujours supérieure à la variabilité consonantique, confirmant notre hypothèse de départ stipulant que la voyelle serait probablement l'élément du cycle le plus propice à varier.

Deuxièmement, le pic de variabilité vocalique, survenant à l'âge de 10 mois, précède celui de la consonne qui apparaît après 11 mois. Par ailleurs, une tendance générale semble indiquer une diminution de la variabilité de la voyelle entre 10 et 13 mois, alors que la consonne irait plutôt dans le sens de l'augmentation.

Troisièmement, après des phases de variation successives, les éléments du cycle semblent s'orienter vers une stabilisation des rapports V/C à 14 mois, avec des valeurs préférentielles s'établissant entre 100 et 200 ms.

6.3.2. Sujet 2 (Robin)

À présent, voyons comment réagissent les composantes vocaliques et consonantiques dans les différents cycles retenus chez le deuxième sujet.

6.3.2.1. Etude du cycle 2

Tableau 17. Evolution de V et C – cycle 2 – Sujet 2
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport (ET/M). Le nombre d'occurrences apparaît entre parenthèses.

		9 mois (21)			10 mois (22)			11 mois (17)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
V	**ms**	125.57	43.3	0.34	153.45	83.98	0.55	129.42	56.04	0.43
C	**ms**	186.89	48.36	0.26	186.96	59.66	0.32	180.28	47.84	0.26
		12 mois (23)			13 mois (7)			14 mois (6)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
V	**ms**	118.41	59.8	0.5	135.09	85.43	0.63	77.38	43.55	0.56
C	**ms**	177.19	71.89	0.41	251.57	97.83	0.39	188.88	32.16	0.17

La voyelle offre à nouveau les configurations temporelles les plus variables tout au long de la période d'investigation.

Entre 9 mois et 10 mois, la variation temporelle des composantes cycliques augmente. Celle-ci est beaucoup plus nette pour la voyelle. En effet, pour la phase d'ouverture, l'écart-type passe de 43.3 ms à 83.98 ms et les rapports correspondants de 0.34 à 0.55 (*cf.* tableau 17), alors que l'écart-type de la phase de fermeture passe seulement de 48.36 ms à 59.66 ms et les rapports respectifs de 0.26 à 0.32. Ainsi, la plus forte variation consonantique que nous avions observée à 9 mois pour la consonne ne se confirme pas pour le cycle 2.

Le pic de variabilité de l'élément vocalique apparaît donc à 10 mois et faiblira progressivement aux stades suivants. Celui de la consonne est ultérieur : il émerge à 11 mois. Les deux constituantes du cycle vont ensuite perdre de leur variabilité jusqu'à 14 mois et se recentrer autour de valeurs plus réduites, c'est-à-dire entre 100 et 200 ms, même si la voyelle semble privilégier des durées limitées aux environs de 100 et 200 ms et la consonne des durées majoritairement localisées autour de 150 et 250 ms (*cf.* figure 24).

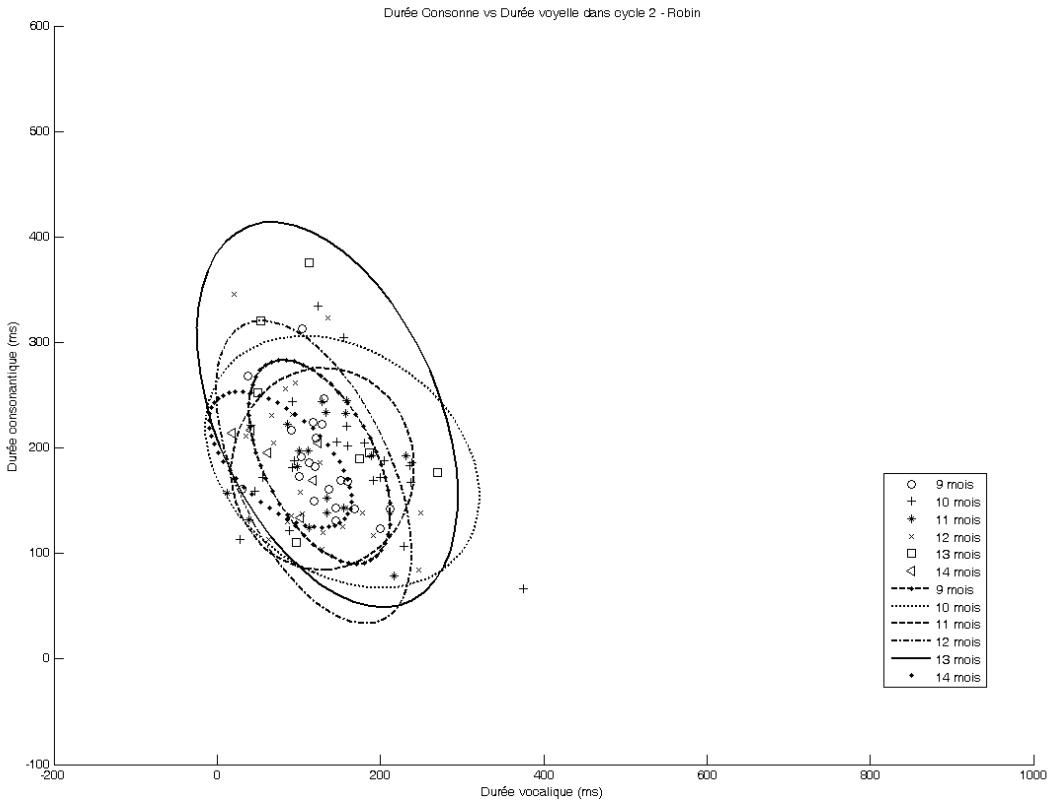


Figure 24. *Ellipses de dispersion des durées consonantiques et vocaliques dans le cycle 2 pour le Sujet 2 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois*

Mais de manière générale le rapport V/C (*cf.* figure 25) est assez stable chez ce sujet dès le plus jeune âge. Dès 9 mois, on note un équilibre notoire entre la voyelle et la consonne, avec un rapport qui se rapproche de 1. C'est à l'âge de 10 mois que la densité de probabilité de ce rapport est la plus faible, mais elle remontera jusqu'à 14 mois. Notons que le rapport V/C diminue à 14 mois.

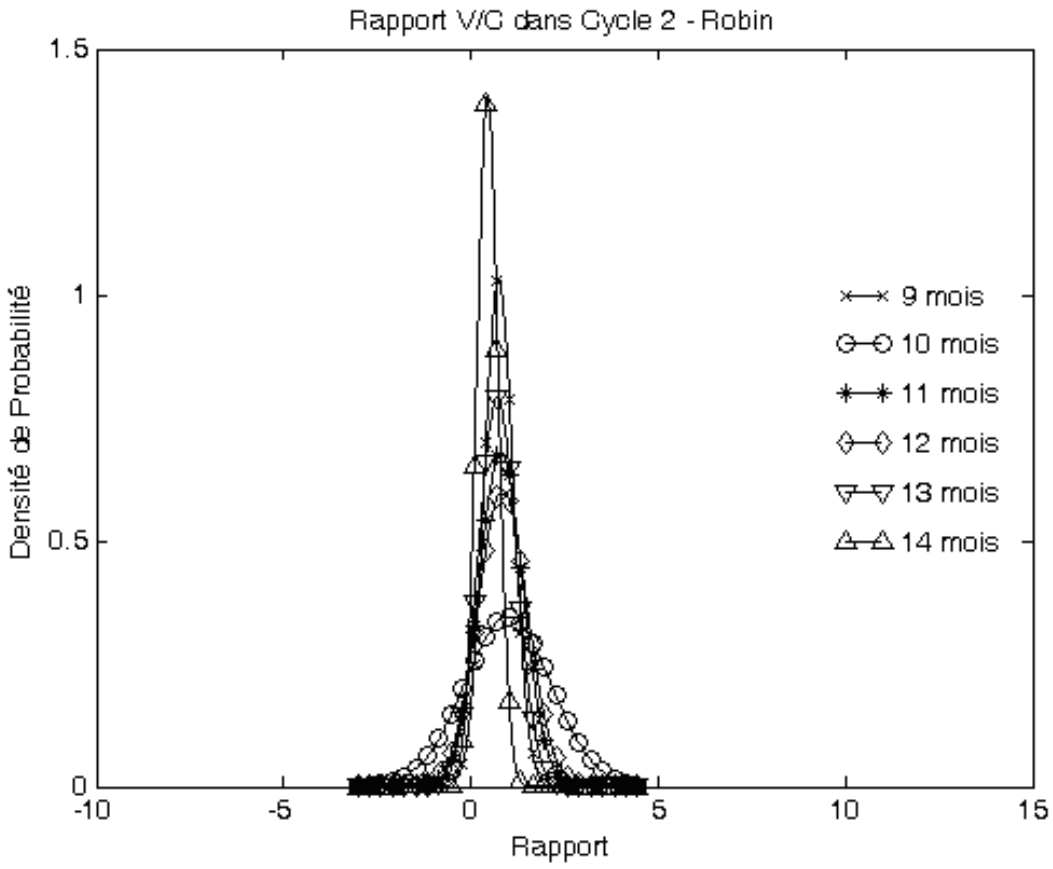


Figure 25. *Evolution du rapport Voyelle/Consonne entre 9 mois et 14 mois chez le Sujet 2 dans le Cycle 2*

6.3.2.2. Etude du cycle 3

Tableau 18. Evolution de V et C – cycle 3 – Sujet 2
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport (ET/M). Le nombre d'occurrences apparaît entre parenthèses.

		9 mois (21)			10 mois (22)			11 mois (17)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
V	**ms**	113.2	36.15	0.32	179.05	126.13	0.7	136.64	53.03	0.39
C	**ms**	182.03	49.65	0.27	178.42	50.11	0.28	180.28	47.85	0.26
		12 mois (23)			13 mois (7)			14 mois (6)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
V	**ms**	145.02	60.75	0.42				124.54	49.81	0.4
C	**ms**	177.16	71.89	0.4				193.08	34.46	0.18

Les tendances observées précédemment se confirment. En effet, la supériorité générale de la variabilité vocalique est à nouveau perceptible dans le cycle 3, excepté à 9 mois.

On retrouve également l'accroissement de la variation temporelle de la voyelle entre 9 mois et 10 mois. La consonne, en revanche, semble rester stable au cours de cette période (*cf.* figure 26). C'est donc à 10 mois que la voyelle est la plus variable en offrant un écart-type de 126.13 ms et un rapport ET/M de 0.7. Le pic de variation consonantique est plus tardif et se manifeste à 12 mois avec un écart-type de 71.89 ms et un rapport ET/M de 0.4 (*cf.* tableau 18).

À la fin de la période observée, la voyelle et la consonne vont trouver un certain équilibre, mais surtout une certaine stabilité (*cf.* figure 27) car très tôt le rapport V/C va se rapprocher de 1, c'est la stabilité de ce rapport qui va évoluer avec l'âge chez ce sujet.

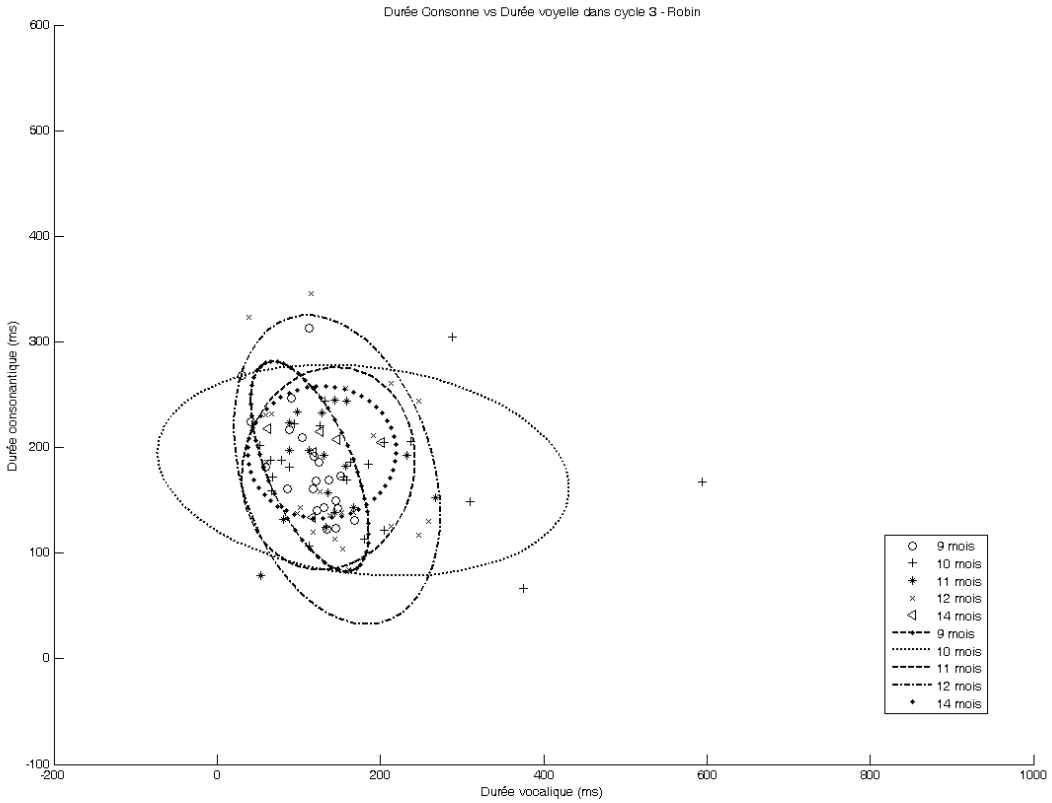


Figure 26. *Ellipses de dispersion des durées consonantiques et vocaliques dans le cycle 3 pour le Sujet 2 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois et 14 mois*

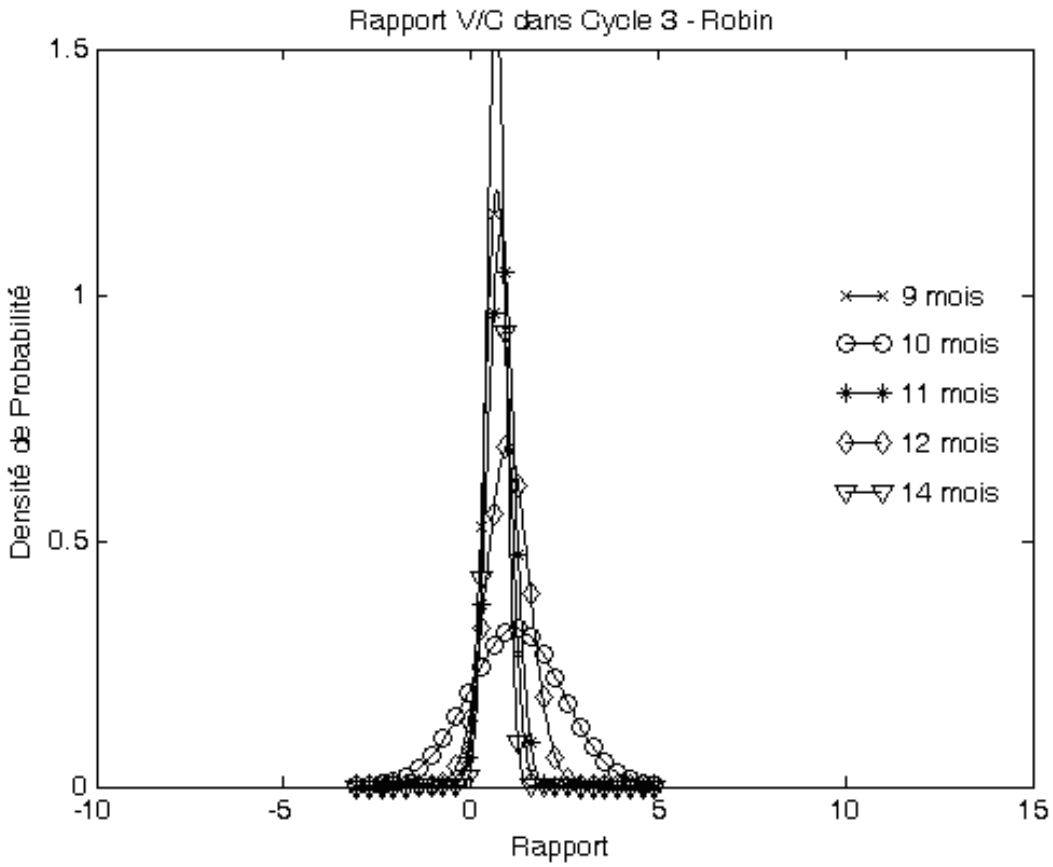


Figure 27. *Evolution du rapport Voyelle/Consonne entre 9 mois et 14 mois chez le Sujet 2 dans le Cycle 3*

6.3.2.3. En résumé

La voyelle et la consonne semblent suivre des patrons développementaux similaires, mais asynchroniques. En effet, après avoir atteint son pic de variabilité temporelle, chaque composante va suivre un processus de stabilisation. Cependant, le maximum de variation vocalique (10 mois) est antérieur à celui de la consonne (11-12 mois).

Par ailleurs, bien que la phase d'ouverture reste systématiquement plus variable que la phase de fermeture, les composantes cycliques vont rejoindre des valeurs préférentielles situées aux environs de 100 et 200 ms à 14 mois.

De manière générale, la mise en place du contrôle segmental passerait donc par deux phases successives : une phase de variation temporelle qui précède une phase de restructuration. La première permettrait d'instaurer l'indépendance de chacune des composantes du cycle mandibulaire, alors que la seconde impliquerait un réajustement du timing.

6.3.3. Les caractéristiques communes de l'émergence du contrôle

Rapprochons les résultats obtenus pour nos deux jeunes locuteurs.

6.3.3.1. Comparaison du cycle 2

Il nous faut donc déterminer les comportements de la voyelle et de la consonne dans le cycle 2, tant du point de vue des différences que des régularités.

6.3.3.1.1. Divergences inter-sujets

Les divergences interindividuelles repérées touchent l'étendue de l'espace de dispersion. Celui-ci est sensiblement plus vaste, quel que soit le stade développemental, chez le sujet 1 que chez le sujet 2.

6.3.3.1.2. Convergences inter-sujets

Outre le fait que la variabilité n'émerge pas à des degrés équivalents, deux principales tendances émergent de l'analyse du cycle 2. Il est alors important de montrer l'analogie de la chronologie avec laquelle la variabilité influence les éléments du contenu. En ce sens, la phase d'ouverture subit les plus fortes variations au stade du babillage tardif (10 mois) et la consonne atteint son maximum de variabilité plus tardivement (12 mois).

À cette première convergence vient s'ajouter le fait qu'au stade de l'accroissement lexical (14 mois), les composantes vocalique et consonantique s'orientent vers une concentration des valeurs autour de 100 ms et 200 ms laissant entrevoir un équilibre notoire entre V et C.

6.3.3.2. Comparaison du cycle 3

Nous ferons les mêmes observations pour le cycle 3.

6.3.3.2.1. Divergences inter-sujets

Ici encore, l'hétérogénéité observée entre nos deux sujets touche essentiellement le degré de variabilité temporelle des composantes. Le sujet 2 affiche des productions beaucoup plus stables que le sujet 1.

6.3.3.2.2. Convergences inter-sujets

Bien que les espaces de dispersion offrent des configurations relativement distinctes chez les deux bébés, un même patron développemental du contrôle segmental se dégage. Une fois encore, la modulation temporelle de la voyelle est privilégiée à 10 mois chez nos deux sujets, tandis que la variabilité consonantique atteint son pic à 12 mois chez le sujet 2 et à 13 mois chez le sujet 1.

Mais le rapprochement le plus pertinent implique l'agencement d'un équilibre des phases consonantique et vocalique à 14 mois, qui se centralisent principalement entre 100 ms et 200 ms.

6.3.3.3. En résumé

La considération des rapports V-C confirme, une fois encore, le phénomène d'hétérogénéité qui caractérise le processus d'acquisition du langage. Néanmoins, la

comparaison des conclusions obtenues chez les sujets 1 et 2 a mis en évidence un certain nombre de concordances.

Hormis les particularités individuelles qui pèsent sur la phase d'exploration temporelle, des traces d'uniformité sont décelables dans l'évolution des composantes V-C et des rapports qu'elles entretiennent. Au cours de cette période, les durées peuvent évoluer de manières différentes, l'espace de dispersion peut s'avérer plus ou moins vaste supposant des degrés de variation d'importance inégale, mais la perturbation temporelle des éléments du contenu, au profit de l'extension de l'indépendance segmentale, semble être abordée selon des principes fixes.

Ces propriétés se dégagent principalement de l'initiation de la désolidarisation par l'élément vocalique à 10 mois, suivie de celle de la consonne à 12 mois. Enfin, l'uniformisation résulte en partie de la réduction de la variabilité, tant dans la dimension vocalique que consonantique. La structure temporelle de la majorité des productions se concentre alors entre 100 ms et 200 ms, et un équilibre notoire entre la voyelle et la consonne s'installe.

6.3.4. Synthèse

Trois résultats majeurs ressortent de l'évolution des rapports V-C entre 10 et 14 mois.

En premier lieu, il apparaît que la voyelle est systématiquement plus variable que la consonne, quelle que soit la tranche d'âge observée. Nous avons montré dans la partie précédente comment les résultats de PISKE (1997), DAVIS et MACNEILAGE (1990, 1994, 1995) et DAVIS *et al.* (2002) soutenaient la variabilité de la voyelle. Il semblerait, par conséquent, que l'émergence de l'indépendance segmentale passerait principalement par la dissociation vocalique.

Cette hypothèse est confirmée par le fait que la voyelle atteint son pic de variabilité avant la consonne. En effet, la modulation vocalique est la plus importante à 10 mois et cette variation s'étend à la consonne à 11-12 mois. Il se pourrait donc qu'au stade des premiers mots chaque composante du cycle mandibulaire tende à être produite indépendamment.

Enfin, après une phase de variation des différents éléments du contenu, on observe une stabilisation des rapports V/C. Il se pourrait ainsi qu'après la phase de désolidarisation des éléments consonantique et vocalique au sein du cadre syllabique, le sujet restructure l'organisation temporelle de ses phases d'ouverture et de fermeture. La stabilisation temporelle témoignerait de ce fait d'un affinement (SHARKEY & FOLKINS 1985, SMITH 1995, GREEN *et al.* 2000) du contrôle du timing.

6.4. Bilan

Un certain nombre de tendances s'est dégagé de nos travaux. Avant de clore ce chapitre, faisons le point sur l'ensemble de nos résultats et synthétisons nos observations et nos interprétations.

Nos données nous ont conduite vers deux conclusions majeures. La première nous conforte dans l'idée que l'apparition de la variation temporelle pouvait générer les premières formes de l'émergence du contrôle articulatoire. La seconde nous a permis de définir un processus de développement de la faculté de parole.

6.4.1. Entre perturbation et contrôle articulatoire

La perturbation temporelle serait le médium par lequel le segment pourrait émerger. En variant les possibles temporels, le bébé va développer ses habiletés articulatoires et développer l'indépendance des composantes cycliques. À ce moment, l'acquisition des patrons matures va pouvoir se mettre en place.

6.4.1.1. Emergence d'une forme de contrôle articulatoire : émergence du segment

Nos résultats mettent en évidence la légitimité d'un apprentissage subsyllabique entre 10 mois et 14 mois. C'est en effet au cours de cette période que les prémices d'un contrôle segmental semblent émerger. À travers la modulation temporelle des phases d'ouverture et de fermeture au sein du cycle, le bébé instaure l'indépendance de leur articulation. On observe alors, dans la plupart des cas examinés, l'existence d'une forte variabilité entre 10 mois et 12 mois. Ainsi, en explorant les possibilités temporelles de son conduit vocal, le bébé développe un apprentissage moteur et s'affranchit des contraintes imposées par la régularité du rythme oscillatoire de la mandibule qui domine les productions du babillage canonique (MACNEILAGE 1998). Bien que la dissociation des éléments du cadre se caractérise par la variabilité temporelle, l'extension attendue en fonction de l'âge n'est pas manifeste. Au contraire, entre 12 mois et 14 mois, les espaces de dispersion examinés, tant pour le cycle que pour les éléments de son contenu, se rétractent, signalant une baisse du phénomène de variabilité.

Par ailleurs, notre hypothèse initiale selon laquelle le développement segmental, pour des raisons physiologiques, ordonnerait la primauté de l'évolution vocalique se confirme. Cette considération se justifie, en particulier, par la prévalence précoce (10 mois) de la variation vocalique chez nos deux sujets. À 12 mois, la variabilité va s'étendre à la composante consonantique.

Ainsi, l'apprentissage segmental transiterait par une phase de variabilité temporelle, essentiellement perceptible entre le stade du babillage tardif et celui de l'apparition des premiers mots, soit au cours de la période du babillage varié, et s'initierait par l'élément vocalique. La variation perceptible à ce stade résulterait d'une modulation libre de la dimension verticale de la cavité buccale, donc du cadre (MACNEILAGE 1998, MACNEILAGE & DAVIS 2003), ayant des répercussions sur la durée des événements articulatoires.

6.4.1.2. Acquisition des patrons matures

En réduisant la variabilité du cycle et de ses phases, entre 10-12 mois et 14 mois, le bébé adopte un système de production beaucoup plus stable dont les propriétés sont : un cycle de fréquence préférentielle à 3 Hz, une proportion vocalique atteignant une moyenne de 40-45 % du cycle et un équilibre notoire entre V et C.

La dominance du patron mandibulaire précocement installé va peu à peu se dissiper. Le bébé va alors commencer à imiter les schémas articulatoires et temporels de l'adulte, les premiers mots commencent alors à émerger.

6.4.1.2.1. Précocité du patron mandibulaire

Si le bébé stabilise ses productions cycliques autour de 3 Hz, nous pouvons déduire qu'il évolue vers des patrons temporels matures (MORIMOTO *et al.* 1984) et qu'il affermit, par conséquent, le timing de ses gestes articulatoires. Ce patron temporel est récurrent au stade du

babillage et ressort de nombreuses recherches, en particulier de celles de DUCEY-KAUFMANN (2005, 2007), BOYSSON-BARDIES *et al.* (1981), BICKLEY *et al.* (1986) ou encore KOOPMANS (1993) (*cf.* chapitre II). La précocité de ce contrôle spécifique est tout à fait envisageable si l'on considère les résultats de SHARKEY et FOLKINS (1985), NITTROUER (1993) ou encore ceux de GREEN *et al.* (2002), indiquant que la mandibule est l'articulateur qui atteindrait sa maturité en premier. La stabilité temporelle des déplacements de la mandibule, opposée à une régression de la variabilité des mouvements de la lèvre inférieure entre 4 ans et 10 ans (SHARKEY & FOLKINS 1985), trouverait alors une réponse dans l'éventualité d'un contrôle préalable aux environs de 14-15 mois.

6.4.1.2.2. Mimétisme et influence de l'environnement linguistique

Le mimétisme des productions adultes pourrait fournir une explication au développement précoce de la spécialisation articulatoire (STUDDERT-KENNEDY 1985 a et b, 2000). Par imitation, le bébé essaierait de retrouver les gestes qui initient les sons qu'il perçoit. Il établirait ainsi une correspondance entre le niveau acoustique du message et l'information visuelle dégagée par les gestes articulatoires au cours de sa production (STUDDERT-KENNEDY 1985 a et b). On pourrait donc supposer qu'il « jongle » entre les phases de perception et les phases d'action ou plus exactement qu'il exploite la perception pour le contrôle de l'action (SCHWARTZ *et al.* 2000). Cette opération est possible dès les premiers mois de la vie, parce que l'information acoustique est relevée par un système perceptif amodal de l'hémisphère gauche qui spécifierait directement l'action à exécuter. Rappelons que le système perceptif est déjà fonctionnel chez le fœtus dès la 26ème ou 27ème semaine et que la cochlée achèverait sa maturation vers 28-30 semaines (LECANUET 2000). Pour VAUCLAIR (2004) et BOYSSON-BARDIES (1996), le niveau d'audition poursuivrait respectivement son perfectionnement pour se rapprocher de celui de l'adulte jusqu'à la 32ème ou 35ème semaine.

L'existence d'un tel mécanisme suppose que l'enfant, confronté à un langage environnant, stockerait les représentations des sons de la parole qu'il perçoit et qu'à son tour s'en serve de cible pour la production. Selon KUHL et MELTZOFF (1996), des prototypes perceptuels, agissant comme des aimants, seraient ainsi mis en place et serviraient de modèles aux réalisations. Sur cette base théorique, les auteurs ont montré que le processus d'imitation vocale influençait le système de productions dès 12 semaines. Par ailleurs, dans sa description du modèle DIVA, décrivant les mécanismes d'acquisition des sons spécifiques du langage, GUENTHER (1995) montre que les propres *feedbacks* acoustiques du bébé vont également lui permettre d'acquérir les cibles orosensorielles qui le conduiront aux articulations de sa langue.

Néanmoins, le tâtonnement sera long compte tenu du paramètre de variabilité qui pèse sur le système de production de la parole. En effet, la plasticité sous-jacente du système de production-perception permettrait une certaine marge de variabilité que le bébé devra intégrer. En fonction de son contexte, un segment admet plusieurs valeurs spatiales possibles pour chacun des articulateurs engagés dans sa production. L'intervalle désigné par les valeurs minimale et maximale correspond à ce que KEATING (1990) appelle « fenêtre » dans son « *window model* ». Le bébé devra alors trouver l'équilibre de toutes les forces mécaniques agissant sur les articulateurs pour chaque cible à atteindre (*cf.* FELDMAN 1966, 1986, PERRIER *et al.* 1996, 1998 pour plus de détail sur l'hypothèse du point d'équilibre). Dans la perspective de la théorie de la viabilité développée par VARELA (voir SOCK 1998), on pourrait dire que le bébé ne devra pas se soumettre à la reproduction d'invariants, mais plutôt apprendre à mettre en œuvre des trajectoires cinématiques et acoustiques viables.

6.4.1.2.3. Impact de l'accroissement lexical

En essayant de reproduire ce qu'il entend, le bébé va restreindre son répertoire et nuancer la durée de ses productions. On voit ainsi émerger une certaine forme de stabilité avec l'évolution lexicale.

Il est vrai qu'un enfant aurait tendance à régresser à la production de formes plus simples lorsque la tâche cognitive de production se complique (MACNEILAGE & DAVIS 2000 b). Des suppressions, des omissions ou des substitutions de segments ainsi que des duplications de syllabes (VIHMAN & MILLER 1988, VIHMAN 1978, BOYSSON-BARDIES 1996) peuvent notamment être relevées dans les premiers mots. Toutefois, même si initialement leur configuration est relativement différente de celle recensée chez l'adulte, leur réalisation répond à un agencement phonotactique particulier qui sous-tend des contraintes articulatoires spécifiques. En produisant ses premiers mots, le bébé s'impose alors de nouvelles contraintes combinatoires, articulatoires et temporelles qui réclament un niveau supérieur de spécialisation et limitent le degré de variation. Avec l'âge, le contrôle articulatoire progresse et s'affine en même temps que le nombre de mots augmente.

C'est par une réorganisation de l'output que le bébé va uniformiser ses productions et se rapprocher du modèle adulte. On retrouve ici les fondements du courant béhavioriste, selon lequel, l'environnement détermine et conditionne le comportement (PAVLOV 1927, SKINNER 1938). Plus exactement, nous rejoignons le tenant de la théorie constructiviste postulant que l'enfant se construit grâce aux relations avec l'adulte et que le développement nécessite un apprentissage préalable (VYGOTSKI 1934).

6.4.2. De la variabilité à l'uniformité

La variabilité interindividuelle du processus d'acquisition du langage est indéniable, chaque bébé va utiliser des stratégies plus ou moins différentes pour accéder à certaine cible. Néanmoins, nous avons pu dégager une trame de fond pour la période du babillage aux premiers mots. Chaque bébé a utilisé la variation temporelle à des degrés différents, mais au terme de l'analyse nos deux sujets ont convergé vers des patrons temporels similaires.

6.4.2.1. Hétérogénéité précoce

L'apprentissage individuel de la même langue présente de grandes différences au stade prélinguistique (VIHMAN 1991, BOYSSON-BARDIES *et al.* 1989). Nous avons essentiellement observé l'hétérogénéité du processus d'acquisition du langage entre 10 mois et 12 mois. L'étendue de la variabilité interindividuelle, à ce stade, signifierait que lors du développement du segment à travers la modulation temporelle des phases d'ouverture et de fermeture, les deux sujets adoptent un mécanisme individuel de libération de la dominance du cadre. Ces distinctions évolutives sont, entre autres, détectables dans le choix de la phase modulée ainsi que par le degré de variabilité résultante. Qu'il s'agisse de la composante vocalique ou consonantique, le sujet 1 présente une amplitude de variation nettement supérieure à celle du sujet 2.

Ce dernier tend à une stabilité plus précoce qui, nous l'avons mentionné précédemment, pose la question de sa position face au stade d'évolution : se situe-t-il encore sous la dominance du cadre ou, au contraire, a-t-il déjà mis en place un contrôle plus fin du timing de ses gestes articulatoires ? Le credo physiologique nous a permis de répondre à cette ambigüité. La taille de l'ossature mandibulaire, à cet âge (BECK 1996), ordonnerait une rythmicité plus rapide que celle de l'adulte. Or le cas inverse a été vérifié par une fréquence

oscillatoire moyenne similaire, à 3 Hz, dès 10 mois. Nos résultats défendraient donc l'hypothèse du contrôle moteur précoce.

6.4.2.2. Vers la convergence

Entre 14 mois et 15 mois, certaines convergences émergent. C'est, en effet, en rejoignant les patrons adultes que des caractéristiques développementales communes apparaissent entre les sujets. Avec les premiers mots, ils restreignent tous deux leur espace de variation et réorganisent la structure temporelle de leurs productions pour atteindre une nouvelle forme de stabilité. Au terme de l'investigation, les segments entretiennent alors un rapport relativement stable avec des durées préférentielles oscillant autour de 100 ms et 200 ms. La nouvelle cyclicité ainsi instaurée (3 Hz) introduit les propriétés rythmiques dont la spécificité s'inscrit dans un système syllabique temporellement égalitaire nommé « syllable timed » (PIKE 1945, GRAMMONT 1946, BOUDREAULT 1968, KONOPCZYNSKI 1986 b). Cette régularité systématique a pourtant été contestée par WENK et WIOLAND (1982) qui revendiquent l'existence d'un allongement final affectant la dernière syllabe d'un groupe rythmique. De ce fait, le traitement uniforme des cycles finaux et non finaux pourrait en partie expliquer que des traces de variabilité temporelle demeurent dans nos résultats tardifs. Mais n'oublions pas que la variabilité intra-individuelle pèse aussi sur le système de production.

En d'autres termes, c'est avec les premiers mots que les bébés s'approchent des patrons articulatoires adultes. Pour atteindre ces modèles, ils vont affiner le timing de leurs gestes articulatoires. Ainsi, en réaménageant l'organisation temporelle de leurs productions vers les mêmes cibles, ils vont restreindre l'éventail des disparités au profit de mécanismes équivalents.

6.5. Conclusion

Le développement de contrôle articulatoire suivrait un processus bien particulier. L'apprentissage moteur sous-tendrait une rupture avec les patrons gestuels de base immatures qui favoriserait la mise en place d'une nouvelle organisation. Nos résultats indiquent que la stabilité temporelle précoce des déplacements mandibulaires, imposée par un programme moteur pas encore spécifié pour la parole, va subir une forte perturbation à 10 mois pour s'orienter peu à peu vers une nouvelle forme de stabilité.

La progression des mécanismes moteurs serait liée au développement segmental. Du contrôle articulatoire faible résulte la solidarité des composantes consonantiques et vocaliques au sein du cycle mandibulaire. L'émergence de l'indépendance de chacune de ces constituantes (le segment) se caractérise également par une première phase au cours de laquelle le bébé se familiarise avec les possibilités de variation temporelle des éléments du cycle mandibulaire, et une seconde phase où il affine le contrôle du timing de ses mouvements. D'après nos résultats, ce fractionnement du cadre en ses composantes s'initierait par la voyelle.

En d'autres termes, l'émergence du contrôle articulatoire impliquerait deux phases. La première phase, marquée par de larges variabilités temporelles (10 mois), serait le reflet de l'émergence d'un contrôle indépendant des éléments articulatoires au sein du cadre syllabique. Puis viendrait la phase de réduction de la variabilité (14-15 mois), laquelle impliquerait le contrôle des mouvements et par conséquent l'affinement du geste par mimétisme avec les productions de l'adulte. De manière générale, l'imitation vocale serait le mécanisme par lequel un enfant construit son lexique, son potentiel articulatoire. L'enfant

apprenant à parler tire les instructions articulatoires (gestes) pour la production de nouveaux mots en reconnaissant un lien entre ses propres modèles sonores et les sons qui composent le mot cible qu'il essaye d'imiter (STUDDERT-KENNEDY 2000).

6.6. Les perspectives

Par bien des aspects, cette première expérience peut être critiquée, nous en avons conscience. Nous en assumons les biais potentiels, et si nous avions la possibilité de recommencer de zéro, nous nous y prendrions différemment. Cependant, plutôt que de nous livrer à une autocritique, nous préférons envisager les carences de ce travail comme autant de perspectives possibles. En effet, c'est grâce aux difficultés rencontrées au cours de cette étude que nous avons pu élaborer les perspectives de recherches que nous présentons ci-après.

Nous avons cherché à faire émerger du signal acoustique certaines caractéristiques du développement du contrôle moteur. Nous avons axé notre recherche, dans cette partie, sur la participation de la mandibule au développement segmental, avec l'hypothèse que l'indépendance segmentale pouvait refléter l'émergence d'une certaine forme de contrôle articulatoire au stade du babillage et des premiers mots. Nous avons donc suivi les critères d'une étude longitudinale que nous avons menée en crèche faute de structure adéquate, telle qu'un laboratoire réservé à l'acquisition de données chez le bébé (Babylab), à notre disposition. C'est un environnement bruyant, mais qui nous semblait approprié à notre collecte de données, puisque de nombreux travaux antérieurs sur l'acquisition du langage avaient déjà fait le choix de ce cadre expérimental. Nous avions nous-même travaillé sur des enregistrements de Marie Lenormand (LENORMAND 1995) réalisés dans une crèche dans le cadre de recherches préliminaires (CANAULT 2002, 2003).

Cependant, nous avons rapidement pris conscience des limites de notre travail. Les problèmes que nous avons relevés et les perspectives que nous envisageons sont les suivants :

1. Compte tenu du caractère longitudinal de cette étude, nous avons choisi d'étudier deux locuteurs. Les enregistrements hebdomadaires, l'extraction des données pertinentes ainsi que leur exploitation demandant beaucoup de rigueur et s'inscrivant dans un cheminement relativement long, nous avons dû restreindre notre échantillon. Malheureusement, le nombre de sujets exploités, bien que n'enlevant rien à la validité de ce travail, peut facilement être contesté quant à sa représentativité. Il est par conséquent évident qu'il nous faudra poursuivre cette étude en augmentant le nombre de sujets pour confirmer ou infirmer nos résultats et élever les hypothèses dégagées au rang d'indices développementaux fiables.
2. Les enregistrements en crèche, la difficulté de segmentation du signal acoustique chez le bébé d'autant plus grande que les enregistrements étaient bruités, sont les éléments qui ont contribué au trop petit nombre d'occurrences analysées. Il faut donc trouver le moyen d'améliorer les conditions d'enregistrement de façon à mieux contrôler la qualité du signal.
3. De nombreuses tentatives méthodologiques ont par ailleurs précédé la méthodologie de l'analyse finale : le découpage en syllabes classiques, la détection du VOT et du VTT… Nous avons fini par adopter le découpage en cycles de manière à considérer la variation temporelle comme indice de contrôle articulatoire. Nous ne remettons pas en cause notre travail méthodologique, mais nous pensons qu'il serait intéressant d'étendre notre analyse. Nous avons considéré l'ensemble des cycles sans rapport avec la

séquence dans laquelle ils avaient été produits. Nous croyons qu'il serait intéressant d'exploiter la piste qui nous permettrait de montrer si le cycle varie à l'intérieur des séquences polysyllabiques. Par exemple, nous pourrions vérifier si la durée du cycle, à un stade donné, varie seulement entre deux séquences tout en restant stable à l'intérieur de chacune d'elle, ou si, au contraire, elle varie au sein d'une même séquence.

Au vu des difficultés que nous avons rencontrées tout au long de notre première analyse, nous nous sommes rapidement tournée vers de nouveaux objectifs. Au regard de la théorie de MACNEILAGE, il nous a semblé qu'il fallait intégrer une autre dimension à notre travail en observant l'évolution d'autres articulateurs et considérer l'indépendance articulatoire comme indice de contrôle. C'est le travail que nous avons essayé de réaliser dans le chapitre suivant en tentant de mettre au jour l'émergence de l'autonomie du déplacement de la langue par rapport au support mandibulaire.

PARTIE III

La troisième partie concerne notre seconde expérience. Nous y décrirons la méthodologie ainsi que les résultats obtenus.

- *Chapitre VII* Détecter l'évolution du contrôle articulatoire dans la dissociation des mouvements langue-mandibule
- *Chapitre VIII* Le développement de l'indépendance des déplacements linguaux

RÉSUMÉ – CHAPITRE VII

La seconde partie de notre recherche s'inscrit dans un cadre expérimental relevant du domaine articulatoire, et plus précisément celui du mouvement de la mâchoire inférieure. Au début du babillage, les productions sont contraintes par la dominance du mouvement mandibulaire. Les autres articulateurs, eux, sont relativement inactifs au sein du cycle généré par l'oscillation de la mandibule (MACNEILAGE 1998, *cf.* chapitre II). Notre objectif est de déterminer le moment où les autres articulateurs vont s'extraire de l'influence de la mandibule pour être contrôlés indépendamment. Nous nous intéresserons plus spécifiquement au développement du contrôle de la langue. Des enregistrements acoustiques et cinématiques simultanés de 27 bébés âgés entre 8 et 12 mois, nous permettront d'évaluer l'évolution de la corrélation entre les trajectoires de la langue, grâce au suivi de F2, et celle de la mandibule.

Mots clés : protocole expérimental – étude acoustique et cinématique – Optotrak

***
**
*

ABSTRACT – CHAPTER VII

The second part of this research is an experimental articulatory study. At the beginning of babbling, productions are constrained by the dominance of the mandible's movements. The other articulators are relatively inactive within the cycle generated by mandibular oscillations (MACNEILAGE 1998, *cf.* chapter II). The aim of this investigation is to determine at what period other articulators would begin to move freely from the mandible's influence, thus becoming independently controlled. More specifically, particular focus will be made on tongue gestural control. Simultaneous acoustic and kinematic recordings of 27 babies, aged between 8 and 12 months, will allow evaluating the variation of the correlation between tongue trajectories, based on F2 tracking, and those of the jaw.

Key words: experimental protocol – acoustic and kinematic study – Optotrak

***
**
*

CHAPITRE VII

DÉTECTER L'ÉMERGENCE DU CONTRÔLE ARTICULATOIRE DANS LA DISSOCIATION DES MOUVEMENTS LANGUE-MANDIBULE : Expérience 2

7.0. Introduction

Notre première expérience posant un certain nombre de problèmes énoncés (liés essentiellement au nombre de locuteurs et d'occurrences) au terme du chapitre VI, nous avons cherché une manière différente de vérifier, à partir d'un échantillon de données articulatoires plus important, l'évolution des habiletés motrices pour la fonction de parole entre 8 mois et 12 mois.

L'observation du développement du contrôle des articulateurs portés est apparue comme un autre moyen de tester le développement du contrôle articulatoire. Nous avons vu qu'au stade du babillage, l'influence de la mandibule sur le système de production était le reflet d'un contrôle moteur immature. Ainsi, la prédominance de certains patrons de cooccurrence CV témoigne de la forte corrélation des mouvements linguaux et mandibulaires.

Notre hypothèse principale est la suivante : si l'absence d'indépendance des articulateurs est le signe d'un contrôle moteur limité, l'émergence d'une dissociation de leurs déplacements laisserait, au contraire, supposer l'accroissement du contrôle articulatoire. Nous nous intéresserons donc en particulier à l'évolution de la relation mandibule-langue. Avec l'âge, le bébé devrait peu à peu produire des mouvements de langue et de mandibule indépendants. En d'autres termes, aux modulations verticales des oscillations de la mandibule, source initiale de variation (*cf.* chapitre II), devrait progressivement s'ajouter la variation spatiale de la langue dans la dimension antérieure/postérieure de la cavité buccale.

L'équipe de recherche sur la coordination sensorimotrice, dirigée par R. LABOISSIERE, du Max Planck *Institute for Human Cognitive and Brain Sciences* – Département de Psychologie (Munich), nous a offert la possibilité d'acquérir les données adaptées à notre paradigme grâce à la technique de capture du mouvement Optotrak.

Dans ce chapitre, nous verrons comment ces données ont été acquises, traitées et exploitées.

7.1. Acquisition des données

Depuis les années 50, la cinéradiographie était une technique d'acquisition de données articulatoires qui a contribué à une part importante des travaux de recherche de L'Institut de Phonétique de Strasbourg (SIMON 1965). Elle permettait de recueillir simultanément des informations très fines sur les déplacements et la configuration de l'ensemble du conduit vocal sur le plan sagittal. Malheureusement, l'exposition à la radiation posait un problème éthique persistant quant à son utilisation. La loi Huriet 1988, révisée en 2000, a alors restreint les possibilités d'acquérir de nouvelles données de ce type. Les cadres législatif et éthique rendent donc impossible l'application de cette technique à notre paradigme, d'autant plus que nous avons choisi de travailler avec des bébés.

La capture Optotrak est une nouvelle méthode de capture de mouvement, souvent utilisée dans les études sur la parole adulte. Pour les bébés, l'utilisation de cette technique est plus rare et par conséquent plus difficile à mettre en place. Nous avons suivi la voie de MUNHALL et JONES (1998) qui, par ce procédé, ont observé les déplacements des lèvres au cours d'un cycle ouverture-fermeture chez un sujet de 8 mois. L'expérience reste néanmoins anecdotique puisqu'une seule séquence de babillage a été observée. GREEN et ses collègues (voir GREEN *et al.* 2000, GREEN 2002 et GREEN *et al.* 2002), dans leur *speech physiology lab*, utilisent également un système d'éclairage infrarouge et d'une caméra couplés à un enregistreur vidéo pour capturer le visage des bébés et extraire leurs mouvements orofaciaux.

Nous avons dû réaliser une étude pilote avant de procéder à l'expérience finale, dans le but d'ajuster au mieux notre protocole.

Nous verrons donc quels sujets ont été recrutés, comment ils l'ont été et comment le protocole d'acquisition a été mis en place.

7.1.1. Les sujets

Notre recherche est axée sur les productions prélinguistiques de locuteurs se trouvant au stade du babillage. Le recrutement, l'âge, le choix d'une étude linéaire et le nombre de sujets exploitables sont autant d'informations qui vont rendre compte de la représentativité de notre échantillon de locuteurs.

7.1.1.1. Le recrutement

La base de données du « *Baby Lab* » du Max Planck Institut (Munich) a spécialement été mise à notre disposition. Cette base d'informations tient à jour une liste de bébés disponibles pour les différentes recherches menées au sein de ce laboratoire.

Une personne a systématiquement été engagée pour recruter les sujets. Pour ce faire, elle a contacté par téléphone tous les parents répertoriés dont les enfants intégraient la catégorie d'âge exploitable (soit 6-12 mois).

L'objectif du recensement était double :

- il visait d'une part à enquêter sur le stade d'évolution des bébés. Pour qu'un bébé soit retenu, il fallait que le rapport parental indique clairement que ce dernier était entré dans le stade du babillage. En général, à 6-7 mois les parents estimaient que leur enfant ne produisait pas de syllabes canoniques CV (selon nos indications), c'est pourquoi nos acquisitions n'ont commencé qu'à 8 mois.

- il servait, d'autre part, à expliquer en quoi consistait notre acquisition de données très différente de celles auxquelles les parents étaient habitués. Rappelons qu'à la base ils intervenaient dans le cadre de l'Unité de Psychologie du Développement « *Infant Cognition and Action* ».

Les rendez-vous furent alors fixés avec les familles intéressées par l'expérience dont les enfants répondaient à nos critères.

Un dispositif administratif fut mis en place en vue de recueillir les accords parentaux écrits (*cf.* annexe 2). Par ailleurs, chaque participant était rémunéré, et chaque bébé repartait avec un cadeau et une attestation de participation à la recherche.

7.1.1.2. L'âge des sujets

Au total, 33 sujets furent sélectionnés et enregistrés : 6 sujets pour l'expérience pilote et 27 pour l'expérience définitive. Soit 7 sujets de 8 mois, 8 de 9 mois, 3 de 10 mois, 8 de 11 mois et 7 de 12 mois. Précisons cependant que les données pilotes ne seront pas analysées. Ces enregistrements nous ont essentiellement servi à mettre en place un protocole expérimental viable.

Les tableaux 19 et 20 récapitulent respectivement l'âge en mois et en jours des différents sujets recrutés pour l'expérience pilote et l'expérience définitive.

Tableau 19. Age des sujets recrutés pour l'expérience pilote

	Age en mois-
Sujet 2 (Jakob)	9 mois
Sujet 3 (Leo)	9 mois
Sujet 4 (Souza)	9 mois
Sujet 5 (Valentine)	12 mois
Sujet 6 (Teresa)	9 mois
Sujet 7 (Luis)	12 mois

Tableau 20. Age des sujets recrutés pour l'expérience définitive

	Age en mois	Age en jours
Sujet 1 (Moritz)	8 mois	238 jours
Sujet 2 (Joshua Robi)	8 mois	244 jours
Sujet 3 (Daniel)	11 mois	333 jours
Sujet 4 (Lisa Marie)	9 mois	264 jours
Sujet 5 (Ben)	8 mois	231 jours
Sujet 6 (Noemi)	12 mois	359 jours
Sujet 7 (Moritz)	12 mois	356 jours
Sujet 8 (Elias)	12 mois	355 jours
Sujet 9 (Leon Carl)	11 mois	336 jours
Sujet 10 (Amelie)	8 mois	235 jours
Sujet 11 (Lea Marie)	8 mois	246 jours
Sujet 12 (Maximilian)	8 mois	248 jours
Sujet 13 (Veronika)	9 mois	276 jours
Sujet 14 (Laura Elisa)	11 mois	331 jours
Sujet 15 (Paul George)	11 mois	334 jours
Sujet 16 (Laurentz)	8 mois	242 jours
Sujet 17 (Paula)	9 mois	273 jours
Sujet 18 (Benjamin)	12 mois	371 jours
Sujet 19 (Samuel)	10 mois	296 jours
Sujet 20 (Antonia)	9 mois	272 jours
Sujet 21 (Jessica)	10 mois	289 jours
Sujet 22 (Chiara)	11 mois	338 jours
Sujet 23 (Jana Kristin)	11 mois	347 jours
Sujet 24 (Emma)	10 mois	309 jours
Sujet 25 (Lena)	11 mois	345 jours
Sujet 26 (Yanina)	12 mois	369 jours
Sujet 27 (Nikolas)	10 mois	289 jours

7.1.1.3. Etablissement de catégories d'âge ou étude linéaire ?

Plusieurs questions sont apparues au cours des acquisitions : établissons-nous des groupes d'âge distincts au risque de limiter nos acquisitions ou au contraire recrutons-nous tous les enfants entre 8 et 12 mois disponibles au risque d'augmenter le « bruit » lié à la variabilité développementale interindividuelle ?

Nous avons opté pour la seconde possibilité en choisissant d'enregistrer tous les sujets âgés de 8 à 12 mois que nous pouvions recruter.

Nous devions cependant vérifier statistiquement si notre échantillon était uniformément réparti au niveau de l'âge. Dans cette perspective, nous avons calculé l'âge en jours de chaque sujet. Puis nous avons appliqué à notre échantillon le test non paramétrique de *Kolmogorov et Smirnov*. Ce test statistique n'implique qu'une seule variable, celle de l'âge. Ce que nous appelons rang correspond à la position de chaque date. Par exemple, 231 jours est l'âge du sujet le plus jeune, son rang est 1 (*cf.* figure 28). Ce test non paramétrique nous permet de comparer notre échantillon à une distribution théorique uniforme.

Les résultats indiquent qu'on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle[20] puisque la dispersion des points représentant notre échantillon de locuteurs est proche de la droite associée à la distribution théorique. Par conséquent notre échantillon est uniforme.

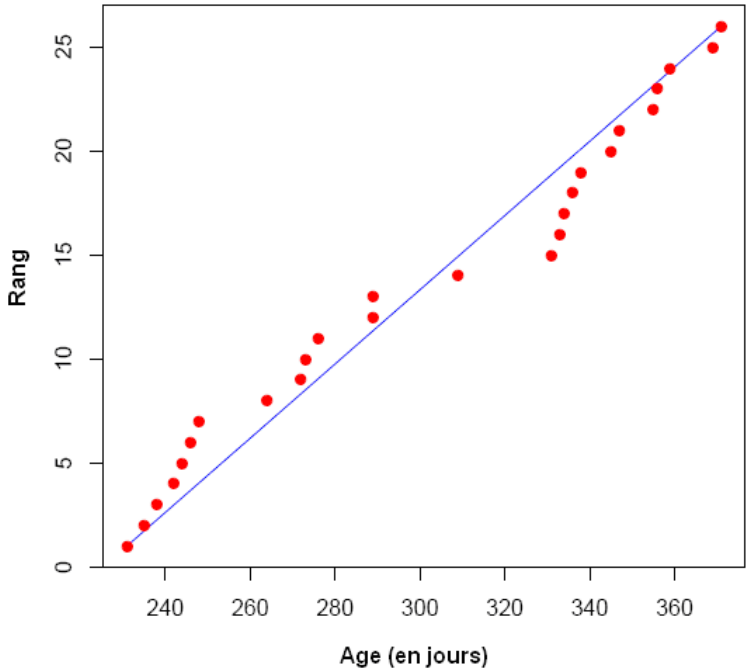


Figure 28. *Comparaison de l'uniformité de notre échantillon de sujets par rapport à une distribution théorique uniforme selon le test de Kolmogorov et Smirnov*

7.1.2. Protocole d'acquisition

L'intérêt étant de mettre en évidence l'accroissement du contrôle articulatoire, nous avons choisi d'étudier la piste de la dissociation des gestes de la mandibule et de la langue en nous appuyant sur une acquisition simultanée de données cinématiques (Optotrak) et acoustiques. Nous entendons par structuration la fréquence préférentielle que chaque bébé adoptera pour ses gestes mandibulaires.

Les signaux Optotrak nous permettaient alors de décomposer les gestes mandibulaires recueillis en leurs fréquences. Face à un protocole d'acquisition aussi complexe, on aurait pu privilégier l'observation de F1 sur le spectre acoustique, mais chez le bébé la fréquence fondamentale (F0) très élevée (KENT & MURRAY 1982, KONOPCZYNSKI 1991, WHALEN *et al.* 1994, PALETHORPE *et al.* 1996) peut entraîner un chevauchement avec F1, dont la détection devient difficile. Nous avons par conséquent opté pour la méthode la plus fiable.

Les signaux acoustiques, eux, étaient utilisés pour détecter les déplacements linguaux au cours d'un mouvement mandibulaire. La langue est un articulateur interne de la cavité buccale dont l'activité ne peut être détectée par la technique de capture de mouvement Optotrak. Néanmoins, son déplacement peut être retrouvé à travers une lecture spectrale du

[20] L'hypothèse nulle est une hypothèse de non-différence. Elle correspond à la prédiction de la théorie à tester. En l'occurrence, l'hypothèse nulle reflète la distribution parfaitement uniforme d'un échantillon d'âge.

signal acoustique. F2 (Hz) est en effet un indice acoustique pouvant déterminer le mouvement lingual dans sa dimension antérieure-postérieure (FANT 1960). Nous n'entendons pas que la valeur de F2 se limite à donner des informations sur le positionnement de la langue sur le plan horizontal, on sait notamment que l'abaissement de cette valeur traduit aussi un accroissement de la labialisation. Cependant, on s'est finalement affranchie du paramètre de labialisation dans la mesure où, nous le verrons dans les sections à venir, il s'est avéré difficile de maintenir le repérage cet articulateur au cours d'une séance d'enregistrement d'une part, et d'autre part les lèvres, ne répondant à aucun contrôle moteur à ce stade du développement, sont pas engagées dans les productions du babillage si l'on considère les travaux recensant le répertoire sonore à cet âge (*cf.* chapitre II).

Chaque séance s'est alors déroulée, en présence d'un des parents, sur une durée approximative de 20 à 50 minutes selon les bébés.

7.1.2.1. Le système d'acquisition

Une acquisition simultanée des données acoustiques et cinématiques a été réalisée. Les données Optotrak ont été enregistrées à l'aide d'un logiciel développé sous Linux version 2.4.26, programmé par Vittor Tores et le son à l'aide du logiciel « *Sound Recorder* ». Optotrak est un système infrarouge de capture du mouvement en 3 dimensions composé de caméras et de marqueurs (diodes infrarouges circulaires) dont certains sont fixes et d'autres mobiles. Les premiers constituent un repère spatial tridimensionnel et les seconds sont utilisés pour le repérage des membres ou des articulateurs à tester. C'est le calcul de la distance entre les différents marqueurs de référence et les marqueurs mobiles au cours du temps qui va déterminer la position et l'orientation des déplacements.

Un microphone (*Sony ECM 260F Cardioid Electret Condenser Microphone, Inpedance: 200 ohm, XLR connector*) était alors connecté à un préamplificateur (*VIVANCO MA-222 MICROPHONE PREAMPLIFIER, Features : 2 x 6.3 mm microphone, inputs Mono / stereo switching Audio output phono*), lui-même relié à l'entrée son de l'ordinateur.

Par précaution, nous ne réalisions pas un seul et long fichier d'enregistrement, mais des séquences successives de 3 minutes afin de ne pas perdre l'intégralité des données en cas de problème technique.

Par ailleurs, un test de visibilité des marqueurs a été effectué avant le début de chaque séance. Puis, grâce à un dispositif mis en place par Arturo Galvan, nous pouvions surveiller l'écran de contrôle tout au long de la séance d'acquisition. Un code de couleur nous permettait alors de vérifier, sur l'écran visuellement accessible de l'ordinateur, la qualité de la capture des mouvements. Les marqueurs visibles apparaissaient d'une certaine couleur, sur l'écran de contrôle, et les marqueurs cachés d'une autre.

7.1.2.2. Le pilote

Rappelons qu'une partie de la manipulation est une expérience pilote qui a été mise en place afin d'apprécier la viabilité d'une technique d'acquisition de données généralement exploitée chez l'adulte. Il nous a fallu, dans un premier temps, adapter le matériel expérimental à l'enfant, c'est-à-dire procéder à une mise à échelle, et affiner par la suite les aménagements en fonction de nos observations.

- Les données Optotrak

L'enfant était assis sur les genoux du parent qui l'accompagnait, face aux trois caméras infrarouges. Trois points de référence, des diodes infrarouges circulaires ont, dans un premier temps, été placées sur un support triangulaire fixé sur un bandeau (*cf.* figure 29).

Figure 29. *Equipement initialement utilisé après mise à échelle*

Mais nous nous sommes aperçue très tôt qu'il était difficile pour le bébé d'oublier la présence d'un tel support. Ainsi, afin d'éviter que les sujets le retirent et mettent rapidement fin à l'expérience, nous avons choisi de fixer directement ces marqueurs sur le bandeau auquel les bébés s'habituaient volontiers (*cf.* figure 30).

Deux autres diodes furent positionnées sur le menton et sur la partie vermillon extérieure de la lèvre supérieure afin d'observer respectivement les mouvements de la mandibule et de la lèvre supérieure. Au départ nous voulions tester le maximum de paramètres, c'est pourquoi nous nous sommes aussi intéressée à la lèvre supérieure, mais généralement, le marqueur était mal supporté. Nous l'avons donc abandonné pour ne conserver que le point de marquage de la mandibule. Au vu du répertoire sonore du babillage et de quelques données articulatoires (*cf.* chapitre II), nous avons également expliqué que les lèvres ne sont pas activement impliquées dans les productions à ce stade.

- Les données acoustiques

Le microphone était placé à hauteur de l'enfant. En vue de synchroniser nos deux sources de données, un signal sonore nous avertissait de l'activation d'Optotrak. Ce bip était alors enregistré sur le signal acoustique. Le repère temporelle nous permettait alors de coupler les répertoires sonores et cinématiques. Rappelons que ce bip apparaissait toutes les 3 minutes puisque, par précaution, nous avons réalisé de petits fichiers d'enregistrement successifs plutôt qu'un seul par sujet. Cette démarche limitait la perte d'informations en cas de problème.

De manière générale, l'acquisition acoustique posait nettement moins de difficultés.

7.1.2.3. L'expérience définitive

Plusieurs améliorations sont intervenues lors de l'acquisition définitive. Nous avons choisi d'introduire un champ d'acquisition supplémentaire, la vidéo. Cette implantation nous a semblé extrêmement utile compte tenu de la difficulté de la tâche expérimentale. En effet, cette expérience relevant d'un certain niveau de complexité méritait une conservation d'images. Par ailleurs, les données vidéo constituent un paramètre de désambiguïsation pour un éventuel travail de transcription des productions. À cet effet, nous avons utilisé un caméscope numérique mini-DV Sony DCR-HC42.

Les conditions peu naturelles et contraignantes pesaient encore sur l'optimalité de notre acquisition. Par conséquent, nous avons choisi de donner une liberté de mouvement plus grande aux sujets. Ainsi, nous avons délimité (au sol) l'espace couvert par Optotrak. Le bébé pouvait alors se déplacer à sa guise à l'intérieur de cette zone. Le seul obstacle rencontré était celui de l'angle de vue, le bébé devait maintenir la tête suffisamment droite pour une bonne visibilité des marqueurs.

Enfin, la dernière modification que nous avons apportée touchait directement le matériel. Nous avons amélioré la configuration du bandeau afin de limiter le détachement des câbles. Nous avons donc fixé un tube en plastique au bandeau dans lequel nous faisions passer les différents câbles (*cf.* figure 30).

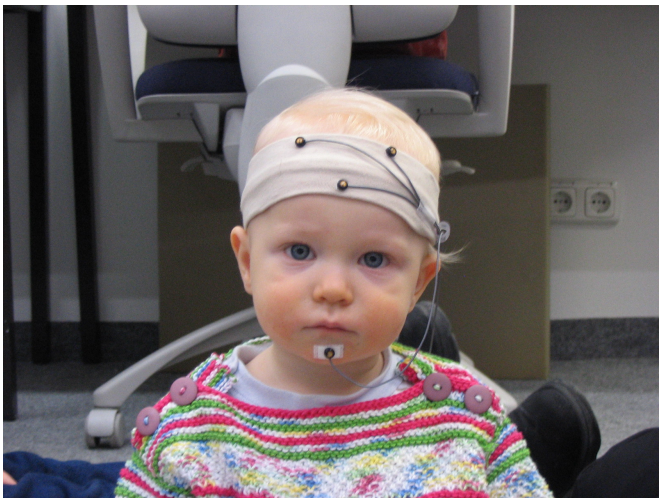


Figure 30. *Troisième modification de l'équipement, survenue au cours de l'expérience définitive. Le support rigide triangulaire a été supprimé, le marquage de la lèvre supérieure a été abandonné*

7.1.3. Le corpus

Le domaine d'observation mettant en scène des sujets très jeunes, les échantillons recueillis s'inscrivent évidemment dans le cadre de la parole spontanée. Les expérimentateurs, chargés d'interagir avec le sujet, devaient éviter autant que possible d'obstruer le champ de vision des caméras et de couvrir les émissions du bébé.

Les séquences babillées ont été retenues pour l'analyse. Les séquences C occlusives+V et V ont, par conséquent, été privilégiées en vue d'étudier la progression du mouvement mandibule-langue au sein d'un cycle mandibulaire. Seules les séquences complètement visibles et audibles, non bruitées et sans chevauchement, ont pu être analysées.

Nous avons exclu les sujets pilotes de l'analyse, puisque l'objectif de cette phase expérimentale était avant tout méthodologique et nous a servi à mettre au point notre protocole. Sur les 27 sujets restants, tous n'étaient pas exploitables. Certains bébés n'ont rien produit, d'autres n'ont pas supporté les conditions d'acquisition, auquel cas nous n'insistions pas. Ainsi, les productions de 21 bébés étaient à notre disposition, avec une différence du nombre d'occurrences en fonction des sujets (*cf.* tableaux 21 et 22).

Tableau 21. Sujets exploitables. « + » indique le nombre de sujets ayant produit plus de 50 syllabes, «-» ceux qui ont produit entre 10 et 49 syllabes et « 0 » ceux que nous n'avons pas exploités faute de réalisations

	8 mois	**9 mois**	**10 mois**	**11 mois**	**12 mois**
+	4	4	3	4	3
-	1			1	1
0	2	1		2	1

Tableau 22. Nombre d'occurrences syllabiques des sujets exploitables détectées au niveau acoustique

8 mois	**9 mois**	**10 mois**	**11 mois**	**12 mois**
- Sujet 2 : **93** occ. - Sujet 5 : **465** occ. - Sujet 10 : **27** occ. - Sujet 11 : **58** occ. - Sujet 12 : **247**[21] occ.	- Sujet 4 : **64** occ. - Sujet 20 : **84** occ. - Sujet 13 : **129** occ.	- Sujet 19 : **79** occ. - Sujet 24 : **53** occ. - Sujet 21 : **56** occ. - Sujet 27 : **13** occ.	- Sujet 14 : **216** occ. - Sujet 15 : **107** occ. - Sujet 22 : **218** occ. - Sujet 23 : **23** occ. - Sujet 25 : **73** occ.	- Sujet 8 : **265** occ. - Sujet 6 : **27** occ. - Sujet 26 : **58** occ. - Sujet 18 : **54** occ.

Nous avons exploité les sujets : 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, soit 18 sujets au total. Les sujets 2, 15 et 27 n'ont pas été traités car le transfert des données avait endommagé certains fichiers. Faute de temps, nous ne sommes pas retournée aux fichiers sources. Nous les exploiterons dans une étude ultérieure.

[21] Ce sujet a produit une majorité de voyelles consécutives (sans fermeture, ex : a.a.a.a.a.a).

7.2. Traitement des données

L'enjeu du traitement des données était double : il nous fallait d'une part récupérer les informations du signal acoustique à l'aide du logiciel Praat® et d'autre part les informations articulatoires délivrées par Optotrak.

7.2.1. Le découpage des séquences pertinentes

Nous appelons découpage la procédure qui nous a permis de prélever les intervalles de production pertinents. C'est-à-dire les intervalles où le bébé a parlé, mais qui présentent également un signal Optotrak visible. Le découpage s'est alors construit en plusieurs étapes :

Dans un premier temps, nous avons repéré les séquences babillées sur le signal acoustique. Puis, étant donné que nous envisagions d'analyser le mouvement lingual au sein d'un cycle, nous avons découpé les séquences polysyllabiques en syllabes (*cf.* figure 31). Rappelons que, dans sa théorie, MACNEILAGE (1998) avait établi la corrélation entre le cycle mandibulaire (l'alternance fermeture-ouverture) et le cadre syllabique.

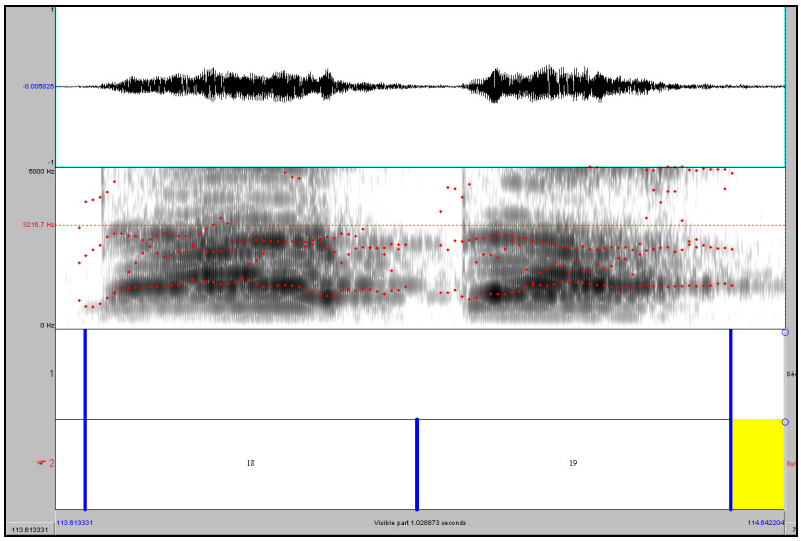


Figure 31. *Capture d'écran d'un signal acoustique sous Praat® désignant le premier repérage préalable au découpage. La première ligne du TextGrid correspond au marquage de la séquence, la seconde à celui de la syllabe*

Nous avons ensuite enregistré la liste des formants associée à chaque syllabe. Ce listing constituait une base d'informations importante dans la mesure où il nous donnait l'évolution fréquentielle de chaque formant dans le temps. Nous avons, plus précisément, pris en considération la première et la dernière date de ce listing, puisqu'elles correspondaient respectivement à l'emplacement des marqueurs désignant le début et la fin de la syllabe. Ainsi, en délimitant les intervalles acoustiques pertinents grâce à la position de nos marqueurs dans le temps, nous pouvions extraire les correspondantes Optotrak.

Une fois chaque zone Optotrak définie, nous avons découpé au sein des séquences visibles chaque mouvement simple de la mandibule, c'est-à-dire chaque trajectoire monotone correspondant à un mouvement d'abaissement ou d'élévation.

Une phase supplémentaire de segmentation était nécessaire pour détecter les déplacements linguaux au sein de chaque mouvement mandibulaire.

7.2.2. Le protocole de segmentation

Notre étude portant également sur l'évolution de l'indépendance des mouvements de la langue par rapport au déplacement mandibulaire, il nous fallait suivre le F2 au sein des intervalles pertinents. Pour ce faire, il nous avons d'abord paramétré Praat® pour optimiser la précision de la détection formantique chez nos jeunes sujets, puis marquer les trajectoires ascendantes et descendantes de F2.

7.2.2.1. Paramétrage de Praat®

Nous avons modifié les différents paramètres attribués par défaut, par le logiciel, dans le menu « formant » sous *Formant settings*, en nous appuyant sur le guide d'utilisation proposé par Sidney Wood sur le site :

http://www.ling.lu.se/persons/Sidney/praate/wavformedform.html.

Les paramètres sont : *Maximum formant, Number of formants, Dynamic range, Window length* et *Dot size.*

- Le nombre de formants (*Number of formants*) doit être supérieur à celui nécessaire à l'étude pour un meilleur suivi. Nous avons besoin de deux formants seulement, mais nous avons choisi de monter le nombre à 5.

- La fréquence formantique maximale (*Maximum formant*) correspond à l'étendue du spectre que l'on veut couvrir. Elle dépend du nombre de formants sélectionnés et du locuteur. Selon les recommandations de Sidney Wood, chez un locuteur masculin, un formant est approximativement détecté dans chaque bande de 1000 Hz environ. Par conséquent, si l'on veut observer 5 formants, il faut élever la fréquence maximale du spectre à 5000 Hz environ. Pour un sujet féminin, il faut augmenter de 10% cette valeur et de cette manière étendre la fréquence maximale spectrale à 5500Hz. Compte tenu du nombre de formants analysés et des informations que l'on possède sur la fréquence fondamentale (WHALEN *et al.* 1994) et les valeurs formantiques chez le bébé nous avons choisi une valeur maximale de 8000 Hz (environ un formant dans chaque bande de 1600 Hz).

- La taille de la fenêtre (*Window length*) spécifie la fenêtre de signal utilisée pour calculer chaque point. En d'autres termes, elle pourrait correspondre à la résolution temporelle. La valeur proposée par défaut est 0.025s et a rarement besoin d'être modifiée. Une taille de fenêtre trop petite peut donner des valeurs formantiques fausses, par précaution nous avons augmenté la taille de cette fenêtre à 0.04s.

Nous avons vérifié l'incidence du paramétrage sur la fiabilité de nos mesures. Nous avons donc, pour chaque sujet analysé (15), sélectionné 10 séquences choisies au hasard et nous avons relevé les valeurs formantiques proposées par Praat® au même endroit pour 4 taille de fenêtre différentes à savoir, 0.02, 0.03, 0.04 et 0.05. Nous avons alors calculé la variation moyenne pour chaque séquence (*cf.* annexe 3) et pour chaque sujet (*cf.* tableau 23). La différence moyenne obtenue varie selon les sujets de 5 Hz à 16 Hz.

Tableau 23. Estimation de la précision de la mesure de F2 par sujet en fonction de la taille de la fenêtre

	Ecart type F2
Sujet 4	16,92
Sujet 5	7,09
Sujet 8	12,39
Sujet 11	16,84
Sujet 12	16,83
Sujet 13	11,49
Sujet 14	11,85
Sujet 18	8,65
Sujet 19	6,99
Sujet 20	7,51
Sujet 21	10,05
Sujet 23	5,42
Sujet 24	10,75
Sujet 25	6,72
Sujet 26	6,84

- Le paramètre *Dynamic range* (dB) détermine quelles parties du spectre l'on choisit de montrer ou de cacher, en fixant une limite d'intensité pour l'affichage des formants faibles. Le paramètre par défaut s'élève à 30 dB et nous avons préféré le remplacer par 20 dB.

- La taille des points (*Dot size*) : la taille des points rouges associés aux formants n'a pas d'impact sur la précision du calcul. La valeur par défaut est de 0.5 mm, nous l'avons passée à 1 mm par commodité.

7.2.2.2. Suivi de F2

Nous l'avons mentionné précédemment, F2 est un indice acoustique qui peut permettre d'obtenir des informations sur les déplacements de la langue dans la dimension antérieure-postérieure de la cavité buccale. Plus sa fréquence est élevée, plus le mouvement sera défini comme antérieur et plus elle est faible, plus le mouvement sera postérieur. Selon les valeurs de référence de CALLIOPE (1989 p. 84), la plage de fréquences de F2 chez l'homme s'étendrait alors de 764 Hz à 2064 Hz, et chez la femme de 804 Hz à 2456 Hz. Au stade du babillage, l'étendue des fréquences est beaucoup plus élevée. BOYSSON-BARDIES (de) *et al.* (1989) ont montré que l'espace fréquentiel de F2 pouvait s'étendre de 1250 Hz à 3800 Hz à cette période. MACNEILAGE et DAVIS (1995), SUSSMAN *et al.* (1999 et 1996) proposent des valeurs similaires. KENT et MURRAY (1982) relèvent une valeur moyenne de F2 de 3 kHz entre 3 et 9 mois. KATZ et ASSMAN (2001) se sont intéressés à une période plus tardive, mais ont également montré l'importance des valeurs de F2 chez l'enfant ; à 3 ans, F2 évoluerait entre 1656 et 3447 Hz pour une moyenne de 2198 Hz. À 7 ans la moyenne serait encore de 2172 Hz.

Grâce aux fonctions de Praat®, nous avons eu recours au calcul automatique des formants par LPC (Linear Predictive Coding) qui est une méthode de prédiction par extrapolation linéaire. Compte tenu du fait qu'au stade du babillage, F2 peut couvrir un intervalle de fréquences relativement vaste, il pouvait arriver que les valeurs détectées par Praat® pour F1, F2 et F3 soient compatibles avec la plage de fréquences que nous avions

définie pour le deuxième formant chez le bébé. Il fallait pourtant nous assurer de la valeur à prendre en considération. Pour savoir si l'on devait accepter comme F2 la valeur de F1, F2 ou de F3 extraite par le logiciel, nous avons systématiquement examiné leur bande passante (également calculée par LPC). Si la largeur de bande de F1 dépassait 900 Hz, elle était jugée trop importante, le script de suivi de formant passait alors à F2. Si la bande passante était inférieure à 900 Hz, il acceptait ce formant et, dans le cas contraire, il acceptait la valeur de F3. C'est une démarche empirique qui nous a permis de déterminer ce seuil. Par exemple, en observant la distribution des valeurs formantiques de F1, F3 et leur bande passante, nous nous sommes aperçue que les formants affichant des bandes passantes supérieures à 900 Hz présentaient des fréquences inférieures ou supérieures à la plage fréquentielle que nous avions au préalable déterminée.

7.2.2.3. Le marquage des trajectoires formantiques et la sélection des mouvements simples langue-mandibule

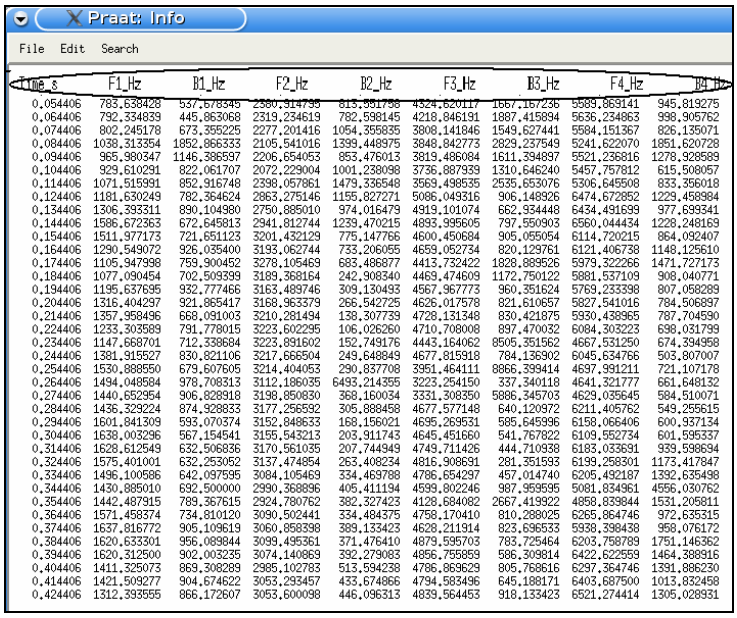
Nous devions procéder à un marquage plus fin de F2 de façon à corréler des mouvements simples de la mandibule et de la langue.

Au cours d'un abaissement mandibulaire, par exemple, la langue peut se déplacer ou pas dans la dimension antéro-postérieure. Dans le cas où la langue maintient sa position, F2 est plat, et dans le cas où elle se déplace, F2 peut présenter des trajectoires stables, c'est-à-dire montantes ou descendantes, ou au contraire afficher des variations de direction du type montante-descendante. Nous devions donc repérer chaque stabilité et changement de trajectoire de façon à décomposer le suivi du F2 en trajectoires simples et les associer à leur correspondante mandibulaire.

Par conséquent, nous avons réédité sous Praat® chaque petit fichier découpé au préalable. Grâce à un script Praat®, chaque fichier « son » ouvrait automatiquement un TextGrid intégrant un Point Tier dans lequel apparaissaient les bornes correspondant à chaque mouvement simple visible de la mandibule (abaissement ou élévation) (*cf.* figure 33). La borne indiquant le début est appelée « *beg* » et celle de fin « *end* ».

À chaque ouverture, la liste des formants et des bandes passantes associées, définis par le logiciel était automatiquement enregistrée. Ce listing nous permet d'apprécier l'évolution formantique en fonction de son apparition sur l'axe du temps et de sa fréquence (*cf.* figure 32). Ainsi, comme on peut le voir dans le relevé ci-dessous, après une modification de Praat® réalisée par Rafael Laboissière, nous obtenions la valeur de chaque formant (F1, F2, F3, F4) suivie de sa bande passante (B1, B2, B3 et B4).

Configuration que nous avons utilisée pour lire les informations délivrées par la fenêtre Praat Info



Praat: Info

File Edit Search

Time_s	F1_Hz	B1_Hz	F2_Hz	B2_Hz	F3_Hz	B3_Hz	F4_Hz	B4_Hz
0.054406	783.638428	537.678345	2580.914795	813.351758	4324.620117	1667.167236	5589.869141	945.819275
0.064406	792.334839	445.863068	2319.234619	782.598145	4218.846191	1887.415894	5636.234863	998.905762
0.074406	802.245178	673.355225	2277.201416	1054.355835	3808.141846	1549.627441	5584.151367	826.135071
0.084406	1038.313354	1852.866333	2105.541016	1399.448975	3848.842773	2829.237549	5241.622070	1851.620728
0.094406	965.980347	1146.386597	2206.654053	853.476013	3819.486084	1611.394897	5521.236816	1278.928589
0.104406	929.610291	822.061707	2072.229004	1001.238098	3736.887939	1310.646240	5457.757812	615.508057
0.114406	1071.515991	852.916748	2398.057861	1479.336548	3569.498535	2535.653076	5306.645508	833.356018
0.124406	1181.630249	782.364624	2863.275146	1155.827271	5086.049316	906.148926	6474.672852	1229.458984
0.134406	1306.393311	890.104980	2750.885010	974.016479	4919.101074	662.934448	6434.491699	977.699341
0.144406	1586.672363	672.645813	2941.812744	1239.470215	4893.995605	797.550903	6560.044434	1228.248169
0.154406	1511.977173	721.651123	3201.432129	775.147766	4600.450684	905.055054	6114.720215	864.092407
0.164406	1290.549072	926.035400	3193.062744	733.206055	4659.052734	820.129761	6121.406738	1148.125610
0.174406	1105.947998	759.900452	3278.105469	683.486877	4413.732422	1828.889526	5979.322266	1471.727173
0.184406	1077.090454	702.509399	3189.368164	242.908340	4469.474609	1172.750122	5881.537109	908.040771
0.194406	1195.637695	932.777466	3163.489746	309.130493	4567.967773	960.351624	5769.233398	807.058289
0.204406	1316.404297	921.865417	3168.963379	266.542725	4626.017578	821.610657	5827.541016	784.506897
0.214406	1357.958496	668.091003	3210.281494	138.307739	4728.131348	830.421875	5930.438965	787.704590
0.224406	1233.303589	791.778015	3223.602295	106.026260	4710.708008	897.470032	6084.303223	698.031799
0.234406	1147.668701	712.338684	3223.891602	152.749176	4443.164062	8505.351562	4667.531250	674.394958
0.244406	1381.915527	830.821106	3217.666504	249.648849	4677.815918	784.136902	6045.634766	503.807007
0.254406	1530.888550	679.607605	3214.404053	290.837708	3951.464111	8866.399414	4697.991211	721.107178
0.264406	1494.048584	978.708313	3112.186035	6493.214355	3223.254150	337.340118	4641.321777	661.648132
0.274406	1440.652954	906.828918	3198.850830	368.160034	3331.308350	5886.345703	4629.035645	584.510071
0.284406	1436.329224	874.928833	3177.256592	305.888458	4677.577148	640.120972	6211.405762	549.255615
0.294406	1601.841309	593.070374	3152.848633	168.156021	4636.269531	595.645996	6158.066406	600.937134
0.304406	1638.003296	567.154541	3155.543213	203.911743	4645.451660	541.767822	6109.552734	601.595337
0.314406	1628.612549	632.506836	3170.561035	207.744949	4749.711426	444.710938	6183.033691	939.598694
0.324406	1575.401001	632.253052	3137.474854	263.408234	4816.908691	281.351593	6199.258301	1173.417847
0.334406	1496.100586	642.097595	3084.105469	334.469788	4786.654297	457.014740	6205.492187	1392.635498
0.344406	1430.885010	692.500000	2990.368896	405.411194	4599.802246	987.959595	5081.834961	4556.030762
0.354406	1442.487915	789.367615	2924.780762	382.327423	4128.684082	2667.419922	4858.839844	1531.205811
0.364406	1571.458374	734.810120	3090.502441	334.484375	4758.170410	810.288025	6265.864746	972.635315
0.374406	1637.816772	905.109619	3060.858398	389.133423	4628.211914	823.696533	5938.398438	958.076172
0.384406	1620.633301	956.089844	3099.495361	371.476410	4879.595703	783.725464	6203.758789	1751.146362
0.394406	1620.312500	902.003235	3074.140869	392.279083	4856.755859	586.309814	6422.622559	1464.388916
0.404406	1411.325073	869.308289	2985.102783	513.594238	4786.869629	805.768616	6297.364746	1391.886230
0.414406	1421.509277	904.674622	3053.293457	433.674866	4794.583496	645.188171	6403.687500	1013.832458
0.424406	1312.393555	866.172607	3053.600098	446.096313	4839.564453	918.133423	6521.274414	1305.028931

Figure 32. *Configuration du listing des formants et des bandes passantes correspondantes*

Un deuxième Point Tier était destiné au repérage des trajectoires de F2. Chaque montée était marquée à son point le plus haut et chaque descente à son point le plus bas. De cette manière un autre découpage automatique pouvait extraire toutes les associations de mouvements simples de la mandibule et de mouvements simples de la langue (*cf.* figure 33).

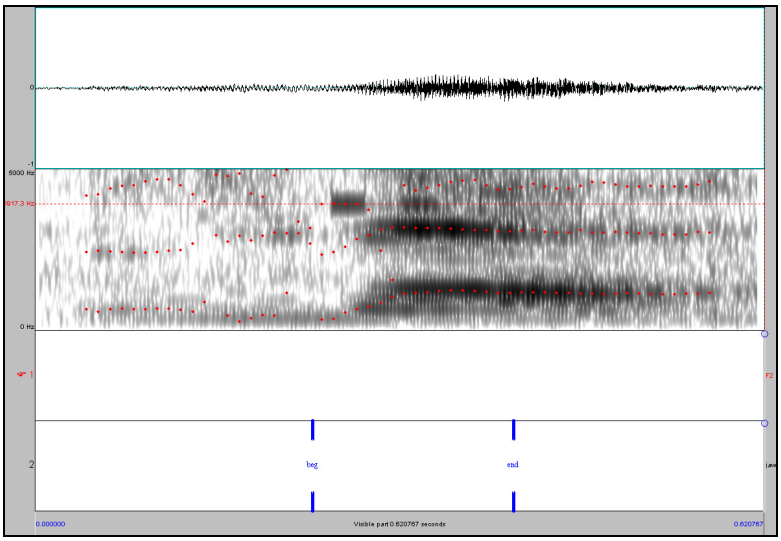


Figure 33. *Configuration de la fenêtre ouverte par le script Praat® pour la segmentation des trajectoires simples de F2*

L'objectif était d'abord de délimiter le F2 en fonction de cette portion Optotrak, puis de pointer les différentes variations de F2 si nécessaire.

Quatre configurations de marquage des frontières de F2 sont apparues :

a. Dans le premier cas, l'impossibilité de délimitation de F2 se traduit simplement par une absence de marquage (*cf.* figure 34). Ce cas de figure a émergé quand le suivi proposé par

Praat® était trop confus, faux, ou bien quand aucun formant n'était détecté à cause d'une intensité sonore trop faible ou lorsque la portion délimitée correspondait à une consonne.

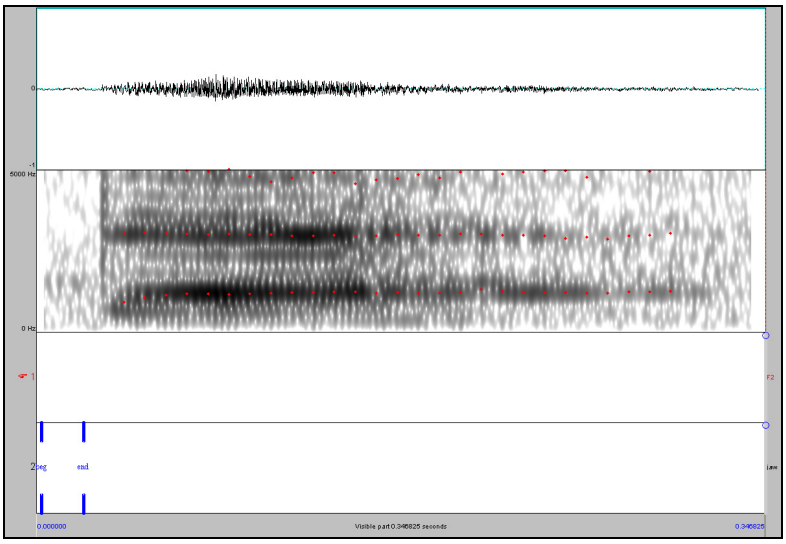


Figure 34. *L'absence de marquage s'explique ici par l'absence de formant puisque l'on se trouve dans le partie consonantique de la séquence [ta].*

b. Dans la seconde configuration, F2 est visible et les marqueurs sont placés à l'intérieur des bornes Optotrak (*cf.* figure 35). Dans ce cas, il fallait vérifier que les bornes de F2 soient posées en un point où la bande passante, associée au formant apparaissant dans la tranche fréquentielle fixée au préalable, était bonne.

En effet, pour l'analyse, nous devions nous assurer à la fois de la visibilité de la mandibule et de la fiabilité du suivi de F2. C'est pourquoi c'est toujours l'intervalle de lisibilité le plus court qui a servi de référence pour établir notre correspondance entre le signal acoustique et le signal Optotrak. Selon la figure ci-dessous, l'intervalle le plus court correspond à l'intervalle délimité par les marqueurs de F2.

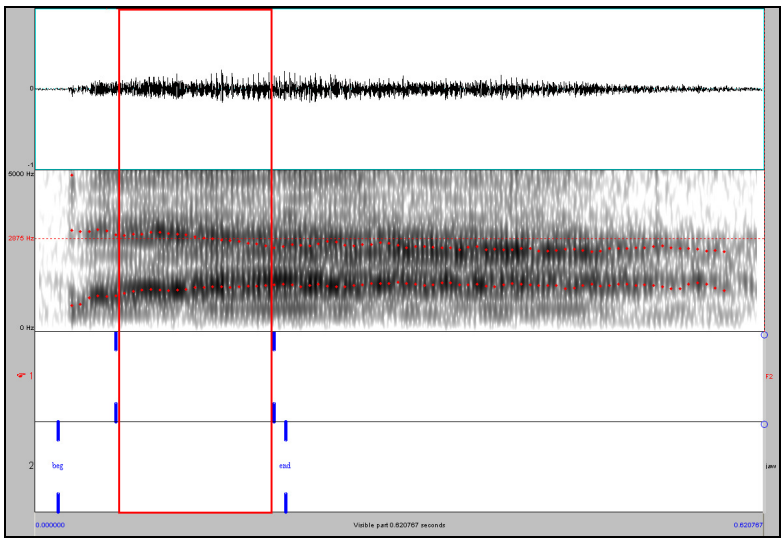


Figure 35. *Délimitation de F2 à l'intérieur de l'intervalle de visibilité d'Optotrak*
L'encadré correspond à la zone sélectionnée pour l'analyse

c. Dans le cas numéro 3, les marqueurs sont placés à l'extérieur des bornes de localisation Optotrak (*cf.* figure 36). L'intervalle retenu sera donc celui qui est désigné par les bornes « *beg* » et « *end* ». Par conséquent, la bande passante de ce qui peut correspondre au F2 en ces points devait être vérifiée. Si la bande passante était mauvaise, c'est-à-dire dépassait 900Hz, nous avancions la borne à l'intérieur de l'espace de visibilité d'Optotrak à un endroit où le F2 offrait une bonne bande passante.

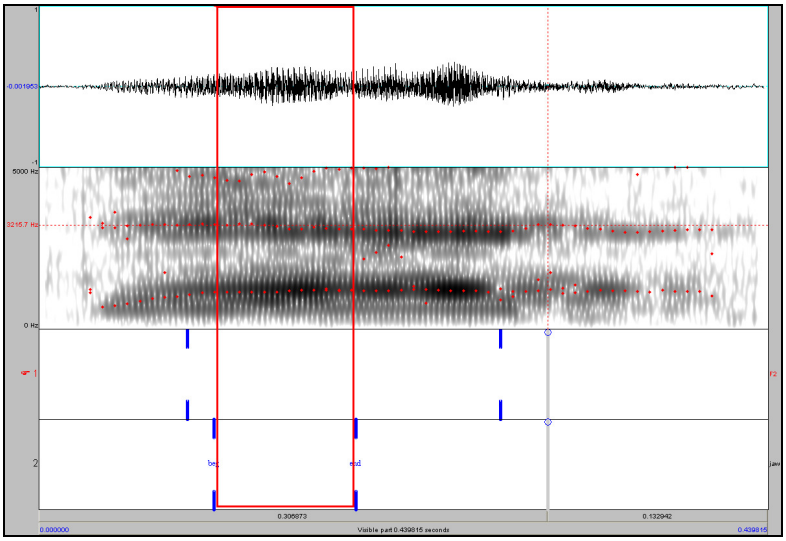


Figure 36. *Délimitation de F2 à l'extérieur de l'intervalle de visibilité d'Optotrak*
L'encadré correspond à la zone sélectionnée pour l'analyse

d. Dans le quatrième cas de figure, l'une des bornes de F2 apparaît à l'intérieur de l'espace de visibilité Optotrak, l'autre à l'extérieur de cet espace (*cf.* figure 37). Selon la figure suivante, il fallait par conséquent nous assurer de la fiabilité du F2 à la première borne de marquage du F2 et à la borne Optotrak « *end* ».

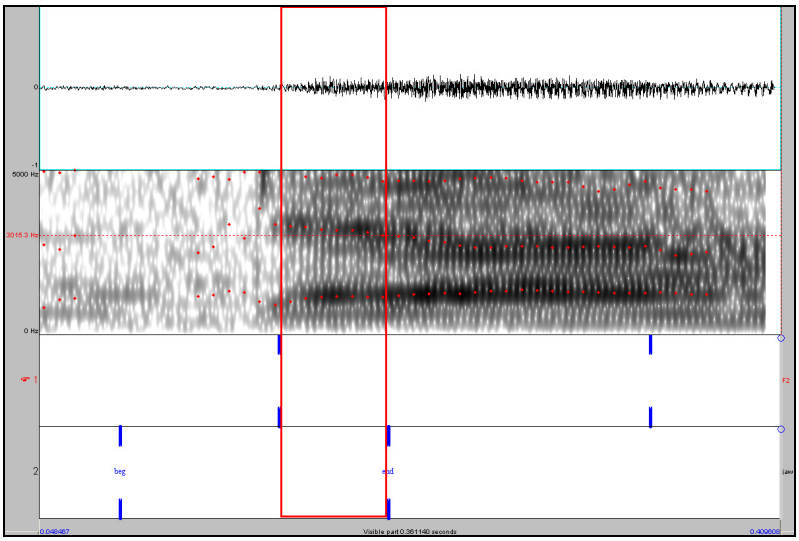


Figure 37. *Cas de figure où l'une des bornes de marquage de F2 se trouve à l'intérieur de l'espace de visibilité de la mandibule et l'autre à l'extérieur*
L'encadré correspond à la zone sélectionnée pour l'analyse

Enfin, pour accepter un changement de trajectoire, nous attendions une différence minimale de 150-200 Hz entre le point le plus haut et le point le plus bas (*cf.* figure 38).

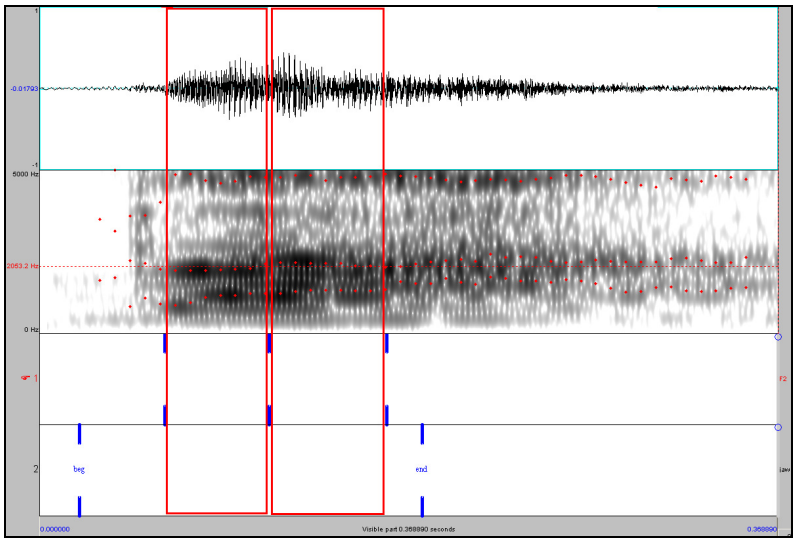


Figure 38. *Exemple de délimitation de F2 au sein de laquelle apparaît un changement de trajectoire Les encadrés correspondent aux zones sélectionnées pour l'analyse*

7.2.2.4. Echantillon final

Nous avons vu que les 18 sujets retenus avaient produit un nombre variable de syllabes (*cf.* tableau 24). Néanmoins, le nombre de syllabes produit ne correspond pas au nombre d'échantillons analysés. Nous avons mentionné que notre objectif était d'obtenir des mouvements simples de mandibule associés à des mouvements simples de langue. Une syllabe peut donc être divisée en plusieurs associations de mouvements simples, ce qui, par conséquent, devrait augmenter le nombre d'échantillons final. Mais chaque séquence acoustique ne possède pas systématiquement sa correspondante Optotrak. Dans bon nombre de cas, les marqueurs pouvaient être cachés au cours de l'enregistrement et dans ce cas la trajectoire de la mandibule était perdue. Le tableau suivant présente le nombre de mouvements simples F2/mouvements simples exploitables.

Tableau 24. Nombre de syllabes produites *vs.* nombre d'échantillons analysables pour chaque sujet

Sujet	Age en jours	Nombre de syllabes produites	Nombre d'échantillons analysés
5	231	465	745
10	235	27	24
11	246	58	59
12	248	247	301
4	264	64	50
20	272	84	113
13	276	129	118
21	289	56	54
19	297	79	46
24	309	53	56
14	331	216	172
22	338	218	534
25	345	73	124
23	347	23	72
8	355	265	280
6	359	27	28
26	369	58	97
18	371	54	71

Une fois encore, le nombre de séquences exploitables reste extrêmement variable en fonction des sujets. La différence intersujet est énorme, elle s'étend de 24 échantillons à 745.

Nous avons alors choisi d'écarter plusieurs sujets pour différentes raisons. Ainsi, les sujets 10 et 6 seront évincés de l'analyse parce que nous avons jugé le nombre de séquences exploitables trop faible. Ensuite, nous avons également exclu le sujet 22, âgé de 11 mois, non pas parce que le nombre d'échantillons n'était pas représentatif, mais parce que ce sujet possédait déjà plusieurs mots et qu'il intégrait un stade développemental plus avancé que celui que nous voulions tester.

Nous analyserons donc les résultats obtenus pour 15 sujets.

7.3. Exploitation des données

L'objectif de cette deuxième expérience vise à déterminer la mise en place de l'indépendance du déplacement de la langue par rapport à la mandibule. Nous présenterons la méthode d'analyse que nous avons choisie pour rendre compte de cette évolution entre 8 mois et 12 mois.

7.3.1. Comment rendre compte de la dissociation langue-mandibule ?

Pour faire ressortir la décorrélation des mouvements langue-mandibule avec l'âge, nous devons démontrer que les déplacements de langue vont suivre des trajectoires indépendantes de celle de la mandibule, autrement dit que les déplacements de la langue dans la dimension horizontale de la cavité buccale vont augmenter avec l'âge.

7.3.1.1. L'amplitude des déplacements

Notre protocole de segmentation nous a conduite à extraire tous les mouvements simples de mandibule et de langue. Nous avons alors déterminé la variation de l'amplitude des déplacements de la langue et de la mandibule au sein de chacun de ces intervalles temporels.

Ainsi, pour une durée associant un mouvement simple de mandibule à une trajectoire simple de F2, nous avons calculé la différence en Hertz entre le début et la fin de la trajectoire de F2, ainsi que la distance en millimètres entre le début et la fin du mouvement de la mandibule (*cf.* figure 39). C'est ce que nous appelons respectivement Delta F2 et Delta mandibule.

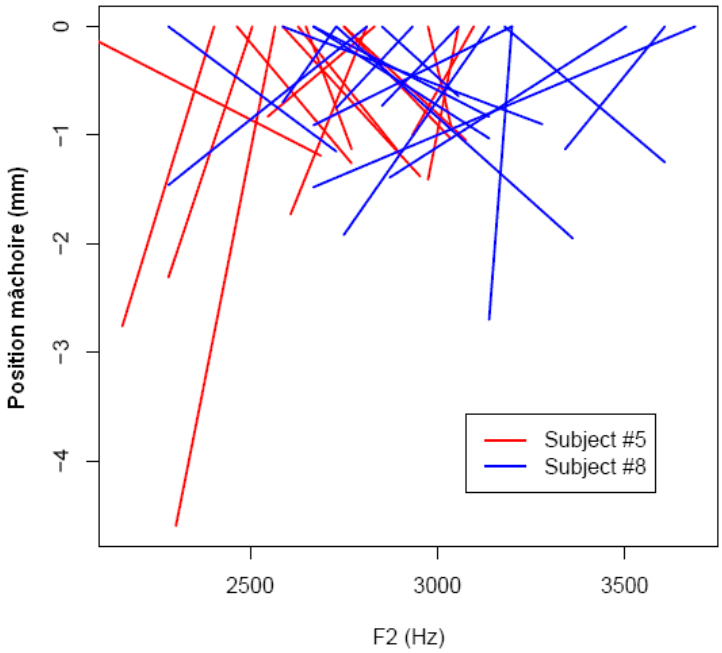


Figure 39. *Exemple de l'étendue du déplacement de la langue par rapport au déplacement de la mandibule chez le sujet 5 et le sujet 8*

7.3.1.2. Le rapport « Delta F2/Delta mandibule »

Nous avons ensuite calculé le rapport entre les valeurs absolues de « Delta F2 » et « Delta mandibule ». Si ce rapport est élevé, il témoigne d'une plus forte variation du déplacement de la langue par rapport au mouvement de la mandibule et inversement, si ce rapport est faible, il indique une variation du mouvement de la mandibule plus importante.

Faisons la supposition suivante :

> Deux abaissements mandibulaires de même amplitude (10 mm) sont respectivement associés à une variation du F2 de 20Hz (a) et de 50 Hz (b). On peut dire que dans le deuxième cas, la langue a plus bougé que dans le premier, et si l'on considère les rapports :
> 20/10 = 2
> 50/10= 5
> c'est le rapport le plus élevé qui atteste de la plus forte variation.

Nous avons enfin calculé la moyenne de ce rapport pour chaque sujet et nous avons établi une corrélation de ce rapport avec l'âge. En observant une augmentation du rapport avec l'âge, nous pourrons attester de l'augmentation des mouvements de langue et de leur désolidarisation par rapport à la mandibule.

7.3.2. Impact de la segmentation sur nos résultats

On peut supposer que notre protocole de découpage a une incidence directe sur nos résultats puisque la durée prise en compte pour la transition formantique est liée à la qualité de la détection de F2 et à la visibilité Optotrak. Or, s'il est vrai que la durée des transitions formantiques dépend du découpage, il en va de même pour la durée du mouvement mandibulaire. Ce qui nous intéresse c'est la variation de F2 à un moment du déplacement de la mandibule, et nous formulons l'hypothèse que les mouvements simples que nous avons déterminés possèdent des trajectoires monotones et linéaires. Par conséquent nos résultats ne devraient pas être affectés d'autant plus que c'est le rapport entre les mouvements des deux articulateur que nous considérons. Prenons l'exemple suivant :

> Soit un déplacement mandibulaire de 20 ms dans lequel un intervalle de F2 de 10 ms seulement a pu être détecté. La distance parcourue par la mandibule en 20 ms est de 5 mm, et la différence formantique sur 10 ms est de 100 Hz. En 10 ms, la mandibule qui suit une trajectoire monotone et linéaire ne devrait avoir parcouru que 2.5 mm. Soit un rapport « DeltaF2/Delta mandibule » de 100/2.5= 40
> Par ailleurs, en 20 ms le F2, qui présente aussi une trajectoire monotone et linéaire, devrait attester d'une différence de 200 Hz. Soit un rapport « DeltaF2/Delta mandibule » de 200/5= 40.

7.4. Conclusion

Notre seconde étude repose sur l'exploitation de données acoustiques et cinématiques simultanées recueillies chez 15 bébés allemands âgés de 8 mois à 12 mois.

L'extraction des données, étape principale de ce travail, s'est déroulée en trois phases :

Premièrement, nous avons localisé les échantillons contenant des productions babillées sur le signal acoustique, puis nous les avons segmentés en syllabes de manière à extraire les séquences Optotrak correspondant à ces syllabes.

Deuxièmement, les mouvements simples d'abaissement et d'élévation de la mandibule furent extraits des signaux Optotrak.

Enfin, chaque signal acoustique correspondant à un mouvement simple et visible de la mandibule fut édité sous Praat® et les trajectoires montantes et descendantes de F2 furent détectées dans le but d'extraire des mouvements simples de la langue.

Ce protocole nous a permis d'extraire des associations de mouvements simples de langue et de mandibule. Au total, 2358 associations de ce type ont pu être recueillies avec une disparité du nombre d'occurrences en fonction des sujets.

À partir de ces données nous essaierons de répondre à la question :
Comment la dissociation des mouvements langue- mandibule évolue-t-il entre le babillage redupliqué et le babillage varié ?

RÉSUMÉ – CHAPITRE VIII

Le chapitre VIII tend à déterminer l'existence d'un développement des habiletés motrices pour la production de la parole, entre 8 mois et 12 mois. La piste de la dissociation des mouvements langue- mandibule est explorée.

Les résultats dévoilent l'évolution du contrôle moteur à des fins de parole entre le babillage redupliqué et le babillage varié. En effet, l'indépendance des mouvements de la langue s'accroît. Nous montrons que la langue, articulateur initialement peu mobile lors de l'exécution de tâches liées à la « parole », va peu à peu amplifier ses déplacements, mais surtout qu'elle va emprunter des trajectoires différentes de celles de la mandibule. Ainsi, avec l'âge, des mouvements linguaux dans la dimension antérieure/postérieure de la cavité buccale vont se superposer aux déplacements verticaux de la mandibule.

Mots clés : dissociation des gestes langue- mandibule

***
**
*

ABSTRACT – CHAPTER VIII

Chapter VIII aims at determining the development of motor abilities engaged in speech production, between 8 and 12 months. The trail of the dissociation of tongue and jaw movements has been investigated.

Results show the emergence of a process which can attest motor control evolution for speech between reduplicated babbling and variegated babbling. Actually, it is shown that the tongue, an articulator which initially was not very mobile during "speech" tasks, increases its displacements gradually. More precisely, it adopts trajectories different from those of the mandible. Then, with age, tongue movements in vocal tract's anterior/posterior dimension will be superimposed on vertical mandible displacements.

Key words: tongue-jaw gestures'dissociation

***
**
*

CHAPITRE VIII

LE DÉVELOPPEMENT DE L'INDÉPENDANCE DES DÉPLACEMENTS LINGUAUX

8.0. Introduction

Notre seconde expérience inclut 2358 mouvements articulatoires simples exploitables (*cf.* chapitre VII) pour un ensemble de 15 sujets. Rappelons que nous entendons par mouvements simples les déplacements de la mandibule et de langue dont les trajectoires sont monotones et linéaires. Nous tenterons, dans ce chapitre, de montrer le développement des mouvements linguaux avec l'âge. Une exploitation simultanée des signaux cinématiques et acoustiques des mêmes sujets nous permettra d'examiner l'évolution de la corrélation entre les mouvements de la langue et ceux de la mandibule entre 8 mois et 12 mois. Selon MACNEILAGE (1998), les productions précoces du babillage résultent de la seule activation mandibulaire. La langue, elle, ne se déplacerait que sous l'influence de cet articulateur. Ainsi, si l'inertie de la langue atteste d'un contrôle articulatoire immature, l'apparition et l'amplification de ses déplacements dans la dimension antérieure/postérieure de la cavité buccale devraient au contraire témoigner de l'émergence du contrôle. Nous supposons alors, que les déplacements verticaux de la mandibule ne s'associant à aucun geste de la langue devraient prédominer aux stades les plus précoces. Avec l'âge, en revanche, des mouvements horizontaux de la langue devraient se superposer à ceux de la mandibule et s'intensifier progressivement. On pourrait même envisager la possibilité que des déplacements linguaux soient combinés à des mouvements mandibulaires de faible amplitude chez les sujets les plus âgés et les plus avancés.

Les résultats obtenus vont alors s'organiser autour de trois axes principaux. Nous examinerons le processus de dissociation éventuelle des mouvements langue- mandibule entre 8 mois et 12 mois. Puis nous nous appuierons sur une simulation de l'évolution de l'étendue de F2 entre 8 et 12 mois réalisée à l'aide du modèle VLAM (BOE & MAEDA 1997) afin d'écarter ou non la possibilité que les résultats obtenus soient en partie liés à la croissance du conduit vocal. Enfin nous proposerons un bilan dans lequel nous ferons part de nos interprétations.

8.1. Evolution de la corrélation des gestes langue-mandibule

Nous arrivons à la partie centrale de ce travail, celle dont les résultats s'avéraient, au départ, les plus difficiles à extraire, mais qui nous amène finalement aux conclusions les plus significatives.

Nous avons exprimé à plusieurs reprises notre intention d'observer le développement de l'habileté motrice des articulateurs entre 8 mois et 12 mois en nous appuyant sur le paradigme de dissociation des mouvements langue- mandibule.

Nous avons expliqué notre démarche en détails dans le chapitre VII. Mais rappelons tout de même quelques points. Nous avons calculé, pour chaque association de mouvements simples obtenus, la différence en Hertz existant entre le F2 au début du mouvement et le F2 à la fin de ce mouvement, ainsi que la distance parcourue en millimètres par la mandibule dans le même intervalle temporel. Nous avons ensuite déterminé le rapport existant entre ces deux variables (Delta F2/Delta mandibule). Plus le ratio résultant est élevé, plus il témoigne de l'importance du mouvement de la langue par rapport à la mandibule. Plus il est faible, plus il indique la prédominance du mouvement mandibulaire. Nous avons ensuite calculé la moyenne de ce rapport pour chaque sujet (*cf.* tableau 25). Puis, nous avons corrélé ces rapports moyens avec l'âge pour rendre compte de la progression de l'indépendance des mouvements de la langue entre 8 et 12 mois.

8.1.1. Le rapport « Delta F2/Delta mandibule »

Tableau 25. Rapport moyen « Delta F2/Delta mandibule » pour les 15 sujets retenus

Sujet	Age en jours	Ratio F2/J
5	231	4.3615
11	246	4.6187
12	248	4.5935
4	264	4.7891
20	272	4.1102
13	276	4.0721
21	289	4.6794
19	297	4.5091
24	309	5.1015
14	331	5.1607
25	345	4.6806
23	347	4.6439
8	355	5.2549
26	369	5.0005
18	371	4.9212

Les rapports individuels, présentés dans le tableau 25, affichent une tendance à augmenter. En effet, les ratios obtenus semblent évoluer de 4.3 à 5 avec l'âge.

Toutefois, en examinant les chiffres, nous nous apercevons que la progression n'est pas constante. Mais nous ne pouvons pas nous contenter de cette observation, nous devons tester statistiquement la corrélation de la variable « rapport Delta F2/Delta mandibule » et de la variable « âge ».

8.1.2. La progression du rapport entre 8 mois et 12 mois

Un test de corrélation devrait nous renseigner sur l'état de la relation entre le rapport « Delta F2/Delta mandibule » et l'âge. Ce test va nous permettre de calculer un coefficient de corrélation R :

$$r = \frac{\sum (x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum (x-\bar{x})^2 \sum (y-\bar{y})^2}}$$

où $\bar{x}$ et $\bar{y}$ sont les moyennes des échantillons *x_connus* et *y_connus*.

Le coefficient de corrélation est un chiffre compris entre -1 et 1. Plus il s'éloigne de 0 meilleure est la corrélation. R = -1 indique une corrélation négative parfaite, R = 1 une corrélation positive parfaite et R = 0 une absence totale de corrélation.

Si nous ramenons ces indications générales au contexte de notre étude, un coefficient de corrélation égal à -1 témoignerait alors de la diminution du rapport « Delta F2/Delta mandibule » avec l'âge. Au contraire, si ce coefficient est égal à 1, il montrerait que le rapport « Delta F2/Delta mandibule » augmente avec l'âge. Et enfin, s'il est égal à 0 il signalerait que ce rapport reste stable entre 8 mois et 12 mois.

Notre hypothèse de départ étant que le rapport « DeltaF2/Delta mandibule » progresserait avec l'âge, nous espérons rendre compte d'un coefficient de corrélation se rapprochant de 1.

Les résultats du test de corrélation confirment nos attentes. Le rapport «Delta F2/Delta mandibule» évolue de manière significative avec l'âge. Le coefficient de corrélation obtenu est de 0.61. Nous jugeons ce résultat significatif puisque l'indice de confiance ou plus exactement le taux de signification *p-level* est inférieur 0.02 (*cf.* figure 40).

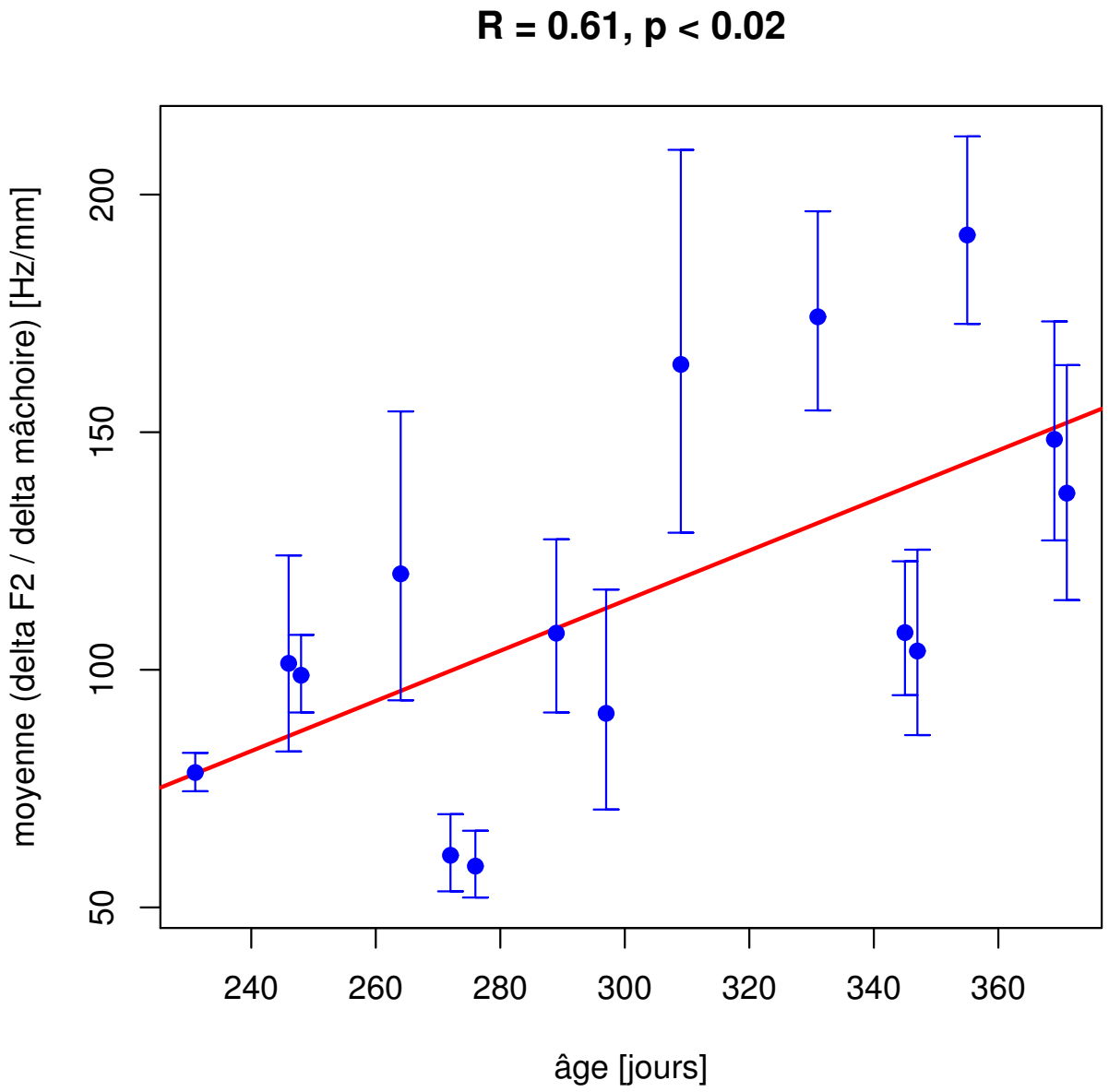


Figure 40. *Evolution des rapports Delta F2/Delta mandibule avec l'âge*
L'axe des ordonnées est représenté selon une échelle logarithmique qui nous permet de dilater la distribution des rapports facilitant la lecture des résultats.
La barre verticale associée à chaque point correspond à l'erreur type qui nous indique le degré de fiabilité de la moyenne obtenue en fonction du nombre de séquences analysé.

L'interprétation de ces résultats est claire, si le rapport « Delta F2/Delta mandibule » augmente significativement entre 8 mois et 12 mois, c'est que les mouvements de langue se dissocient de l'influence mandibulaire avec l'âge.

Au stade le plus précoce de l'investigation, les mouvements linguaux sont plus fortement corrélés à ceux de la mandibule qu'à 12 mois.

Les résultats indiquent que le bébé accroît l'amplitude de ses mouvements linguaux dans la dimension antérieure-postérieure de la cavité buccale entre le stade du babillage redupliqué et celui du babillage varié. À 12 mois le bébé commence à dissocier les déplacements de la langue et de la mandibule.

Le contrôle articulatoire se développe : le bébé devient capable de produire des gestes linguaux qui suivent des trajectoires différentes de celles imposées par la mandibule. Peu à peu, il apprend à déplacer simultanément sa mandibule sur le plan vertical et la langue sur le plan horizontal.

Néanmoins, si l'on observe la valeur des rapports, on remarque que la différence est relativement faible entre 8 et 12 mois. On peut alors se demander si l'évolution observée n'est pas seulement une conséquence de l'accroissement du conduit vocal dans le sens où si la taille du conduit vocal évolue, elle pourrait provoquer une plage de variation plus grande du paramètre F2. Il nous faut donc vérifier cette éventualité.

De manière générale, on sait que le F2 diminue avec l'âge. Nombre de travaux font état de ce phénomène et indiquent que le processus de maturation physiologique implique une baisse des valeurs formantiques (LIBERMAN *et al.* 1976, EGUCHI & HIRSH I. 1969, LIBERMAN *et al.* 1980, PALETHORPE *et al.* 1996…). Cependant, KENT et MURRAY (1982) précisent que l'étendue augmenterait légèrement entre 6 et 9 mois, mais que la moyenne reste stable autour de 3000 Hz. Néanmoins, les tranches d'âge observées ne sont pas vraiment celles qui nous intéressent, mise à part celle de 9 mois. Si l'on considère les résultats bruts, les auteurs donnent une plage de fréquences pour F2 qui s'étend de 1400 Hz à 4100 Hz. BOYSSON-BARDIES *et al.* (1989) qui se sont intéressés aux valeurs de F2 à 10 mois, ont défini l'intervalle entre 1250 à 3800 Hz. Ainsi, si l'on compare ces deux résultats, on s'aperçoit que l'étendue de F2 diminue. Cependant, les résultats pourraient varier en fonction des contextes vocaliques, des langues, des différences interindividuelles (LEVITT & AYDELOTT UTMAN 1991).

8.1.3. Synthèse

Ce travail visait à vérifier expérimentalement la théorie « *Frame then Content* » de MACNEILAGE (1998). L'auteur définit la parole comme un cadre sur lequel vient se superposer un contenu ce qui signifie que les productions humaines seraient le résultat de l'association d'oscillations mandibulaires (cadre) et d'autres gestes articulatoires (le contenu). D'un point de vue phylogénétique, on distinguerait la parole des vocalisations des mammifères bipèdes grâce au niveau articulatoire (*cf.* chapitre III). D'un point de vue ontogénétique, le bébé doit apprendre à superposer un contenu au cadre mandibulaire en développant l'habileté des autres articulateurs qui, au départ, se déplacent uniquement sous l'influence de la mâchoire inférieure.

Nos résultats vont dans le sens de notre hypothèse principale de départ. Le développement des habiletés motrices pour la fonction de parole passe en effet par une phase au cours de laquelle les déplacements des articulateurs portés vont se désolidariser spatialement des déplacements imposés par la porteuse mandibulaire pour joindre un contenu au cadre.

Avec l'âge, le bébé développe ses facultés articulatoires et notamment celles liées aux gestes linguaux appropriés. L'amplitude des mouvements linguaux dans la dimension antérieure/postérieure de la cavité buccale est limitée au stade le plus précoce de notre investigation (8 mois). Mais peu à peu, la langue commence à s'activer et à suivre des trajectoires indépendantes, de celles initialement imposées par le patron gestuel de la mandibule, de plus en plus amples.

Néanmoins, nous n'en concluons pas que le contrôle articulatoire est acquis. Les patrons articulatoires doivent encore s'affiner et se stabiliser et le processus est encore long. Une étude de NITTROUER (1993) signale en effet que les gestes de la langue sont contraints

par des facteurs externes, comme le contexte phonologique, jusqu'à l'âge de 7 ans. D'autres investigations, s'intéressant aux lèvres cette fois-ci, indiquent que même si les patrons cinématiques sont relativement proches de ceux recensés chez l'adulte dès l'âge de 4 ou 5 ans (SMITH & MACLEAN-MUSE 1987), ils n'en demeurent pas moins plus variables. Pour d'autres auteurs, l'âge auquel les configurations spatiales et temporelles des lèvres s'approcheraient de celles de l'adulte serait plutôt fixé à 6 ans (GREEN *et al*. 2000, 2002), mais il reste mentionné que les mouvements de l'enfant sont toujours plus variables (voir aussi SHARKEY & FOLKINS 1985). Ainsi, pour que les articulateurs portés atteignent des patrons matures, ils doivent optimiser leurs déplacements mais également stabiliser leurs trajectoires articulatoires, et cela va prendre encore beaucoup de temps.

8.2. Simulation de l'évolution de F2 à l'aide du modèle VLAM

Pour nous assurer de cette évolution, nous avons décidé de nous tourner vers les résultats proposés par le modèle VLAM (Variable Linear Articulatory Model). Dans sa thèse, MENARD (2002) mentionne comment BOE et MAEDA (1997) ont défini l'étendue des paramètres formantiques (en Hertz) des EVM (Espaces Vocaliques Maximaux) en fonction de l'âge (0 à 21 ans) et à partir d'un échantillon de 7000 voyelles (*cf.* figure 41).

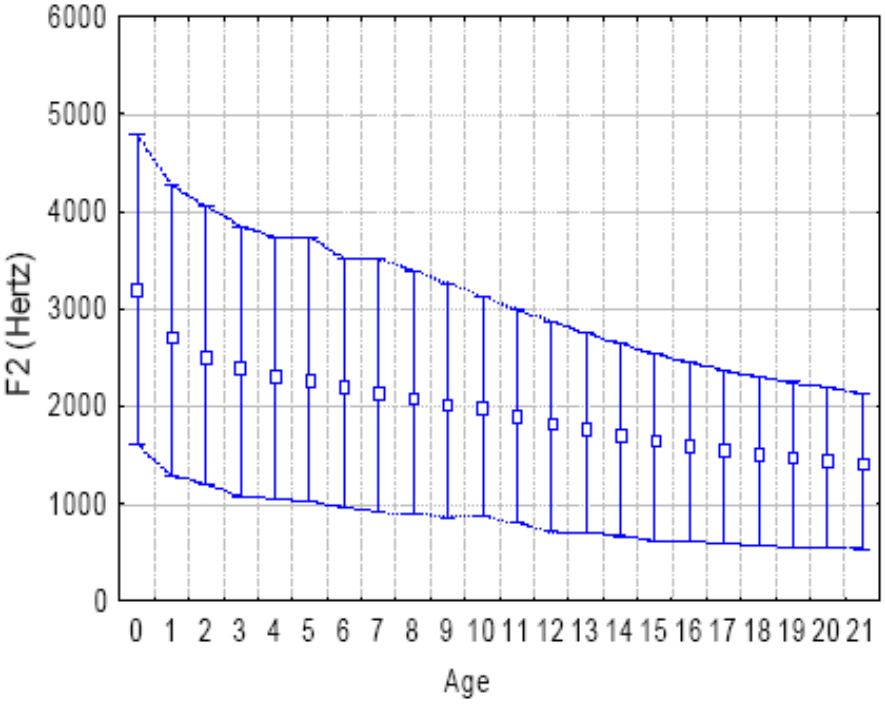


Figure 41. *Evolution des plages fréquentielles de F2 entre 0 et 21 ans d'après les résultats obtenus par BOE et MAEDA (1997) à partir du modèle VLAM (MENARD 2002, p. 108)*

Les conclusions présentent une diminution progressive de la plage fréquentielle de F2 ainsi que de sa moyenne avec l'âge entre 0 et 21 ans.

Mais là encore, nous ne sommes pas certaine des conséquences de l'accroissement du conduit vocal dans la mesure où ce sont des paliers d'1 an qui sont testés. Par conséquent, nous avons choisi de vérifier à 8, 10 et 12 mois les implications du processus de croissance sur F2 pour 3 positions de la langue, antérieure, centrale et postérieure, et plusieurs niveaux d'aperture de la mandibule. Si F2 présente des plages de variation stables, il n'y aura pas

d'incidence sur nos conclusions ; si au contraire elle présente une diminution, alors cela renforcera nos hypothèses, mais si on observe une augmentation de son étendue, il faudra envisager des conclusions moins robustes.

Nous avons donc réalisé, grâce à l'aide précieuse de Louis-Jean BOE[22], les essais avec un environnement de simulation articulatori-acoustiques basé sur le modèle articulatoire de croissance VLAM de MAEDA et sur une simulation acoustique effectuée au moyen d'un logiciel de Pierre Badin (BOE *et al.* 2007). Pour avoir accès aux 3 positions de langue, nous avons testé les voyelles qui sont généralement recensées au stade du babillage, à savoir [ɛ,a,ɑ]. Ces configurations vocaliques étant de moyenne et de grande aperture, nous avons examiné différents seuils du mouvement d'élévation de la mandibule et nous avons recueilli les valeurs de F2 à 8, 10 et 12 mois.

8.2.1. L'exemple de la voyelle [a]

Avant de présenter les résultats généraux de cette simulation, nous avons choisi de donner comme exemple ceux obtenus pour la voyelle [a], voyelle dominante des productions du babillage (*cf.* tableau 26). Les autres résultats sont proposés en annexes (*cf.* annexe 4).

On s'aperçoit que F2 diminue progressivement avec l'âge en affichant une valeur moyenne de 2585 Hz à 8 mois, 2541 Hz à 10 mois et 2499 Hz à 12 mois. Par ailleurs si l'on considère l'étendue des valeurs de F2 aux différents stades en calculant la différence existant entre la valeur formantique maximale et la valeur formantique minimale relevées, on obtient des plages fréquentielles qui vont dans le sens d'une diminution avec une différence de 707 Hz à 8 mois, 706 Hz à 10 mois et 660 Hz à 12 mois. Néanmoins, il serait plus juste de dire que l'étendue des valeurs de F2 est relativement stable entre 8 mois et 10 mois, et qu'elle se réduit entre 10 mois et 12 mois.

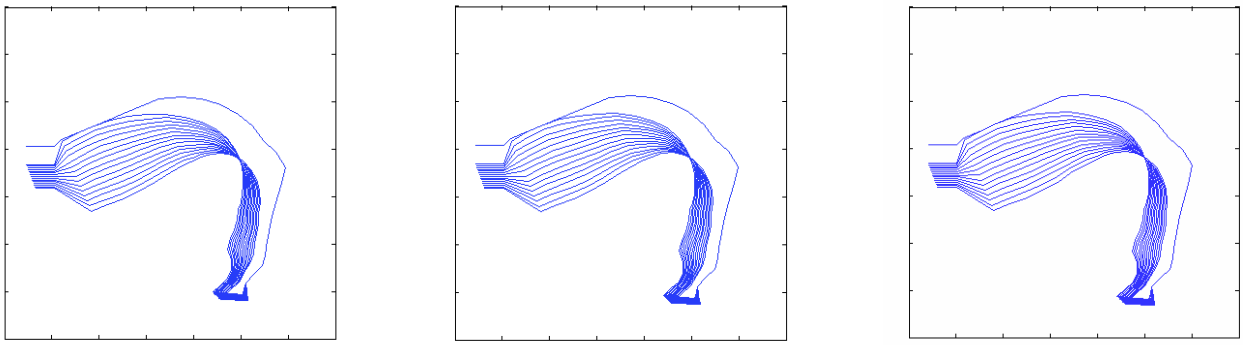
Pour confirmer notre observation et écarter l'hypothèse que de tels résultats soient uniquement liés au hasard des valeurs extrêmes, nous avons calculé la variation moyenne du F2. Les écarts-types relevés sont alors de 221 Hz à 8 mois, 222 Hz à 10 mois et 215 Hz à 12 mois. Ainsi, la variation moyenne du F2 reste similaire entre 8 et 10 mois et s'affaiblit à 12 mois.

Par ailleurs, on note que les configurations du conduit vocal issues de la simulation aux différents stades ne présentent pas de grosses différences, nous laissant supposer que la taille du conduit vocal varie peu et a peu d'incidence sur les réalisations entre 8 et 12 mois (*cf.* figure 42).

[22] Gipsa-lab, Département Parole et Cognition

Tableau 26. Valeurs formantiques obtenues pour la voyelle [a] à différents niveaux d'élévation mandibulaire

8 mois				10 mois				12 mois			
Jaw	**F1**	**F2**	**F3**	**Jaw**	**F1**	**F2**	**F3**	**Jaw**	**F1**	**F2**	**F3**
-2.5000	1.0740	2.4900	4.1135	-2.5000	1.0621	2.4308	4.0349	-2.5000	1.0513	2.3784	3.9648
-1.9000	1.0621	2.4736	4.1499	-1.9000	1.0497	2.4181	4.0715	-1.9000	1.0384	2.3689	4.0014
-1.3000	1.0473	2.4563	4.1784	-1.3000	1.0344	2.4042	4.1007	-1.3000	1.0226	2.3580	4.0311
-0.7000	1.0293	2.4416	4.2004	-0.7000	1.0158	2.3926	4.1237	-0.7000	1.0036	2.3492	4.0548
-0.1000	1.0076	2.4322	4.2174	-0.1000	0.9936	2.3862	4.1417	-0.1000	0.9810	2.3453	4.0737
0.5000	0.9819	2.4305	4.2308	0.5000	0.9675	2.3872	4.1563	0.5000	0.9545	2.3486	4.0893
1.1000	0.9517	2.4391	4.2421	1.1000	0.9370	2.3982	4.1689	1.1000	0.9238	2.3617	4.1030
1.7000	0.9165	2.4610	4.2530	1.7000	0.9016	2.4221	4.1813	1.7000	0.8882	2.3875	4.1166
2.3000	0.8755	2.5000	4.2656	2.3000	0.8605	2.4628	4.1955	2.3000	0.8471	2.4296	4.1322
2.9000	0.8275	2.5612	4.2830	2.9000	0.8128	2.5251	4.2148	2.9000	0.7996	2.4927	4.1532
3.5000	0.7708	2.6512	4.3110	3.5000	0.7566	2.6154	4.2452	3.5000	0.7439	2.5832	4.1856
4.1000	0.7021	2.7783	4.3619	4.1000	0.6887	2.7416	4.2994	4.1000	0.6768	2.7084	4.2427
4.7000	0.6140	2.9476	4.4662	4.7000	0.6022	2.9079	4.4089	4.7000	0.5917	2.8720	4.3565
5.3000	0.4853	3.1375	4.6885	5.3000	0.4761	3.0927	4.6405	5.3000	0.4681	3.0522	4.5963
Moyenne F2 : 2585 Hz **Ecart type** : 221 Hz				**Moyenne F2** : 2541 Hz **Ecart type** : 222 Hz				**Moyenne F2** : 2499 Hz **Ecart type** : 215 Hz			



8 mois **10 mois** **12 mois**

Figure 42. *Configuration de la Voyelle [a] à 8 mois, 10 mois et 12 mois en fonction de la variation du degré d'aperture de la mandibule*

8.2.2. Résultats généraux

Les résultats généraux vont également dans le sens de nos attentes. On observe une diminution systématique de F2 avec l'âge, quels que soient la voyelle et le degré d'élévation de la mandibule. Ainsi, entre 8 mois et 12 mois, l'étendue des valeurs de F2 se maintient et la valeur moyenne de F2 baisse (*cf.* figure 43). Pour plus de détails *cf.* annexe 3.

L'évolution du rapport « Delta F2/Delta mandibule » que nous observons, n'est donc pas une conséquence de la croissance du conduit vocal, mais bien le résultat de l'accroissement de l'indépendance des mouvements linguaux.

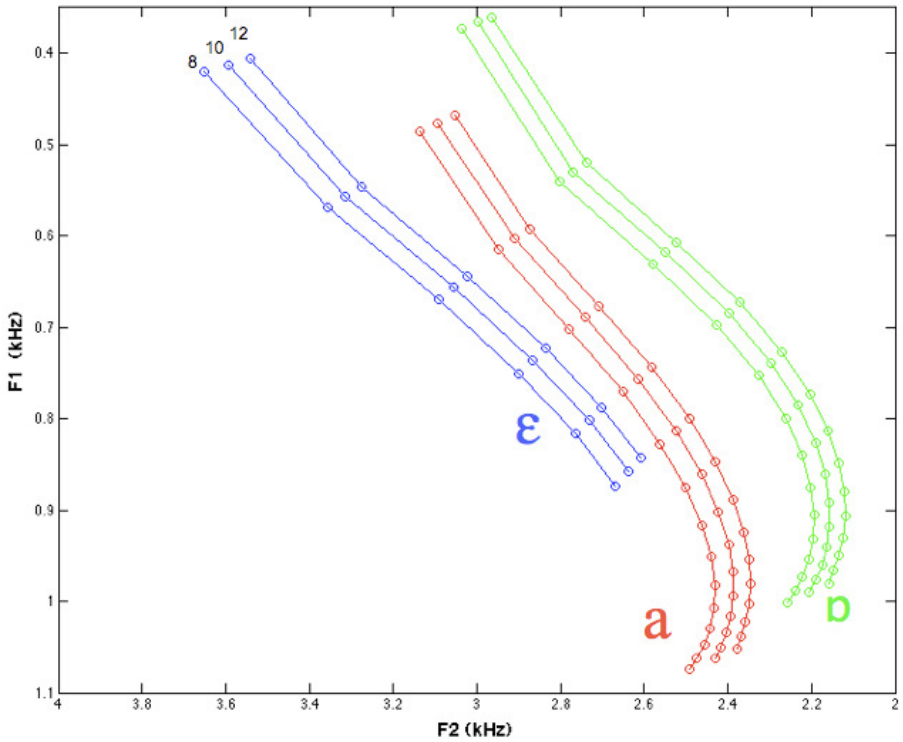


Figure 43. *Superposition des résultats obtenus pour les trois voyelles testées à 8 mois, 10 mois et 12 mois*

8.2.3. Synthèse

Malgré la significativité de nos résultats, une question importante restait en suspens : était-il possible que nos observations soient une conséquence directe de la croissance du conduit vocal ?

De manière générale la littérature met en avant des déplacements articulatoires plus variables chez l'enfant que chez l'adulte. Mais ce que nous voulions véritablement vérifier concernait l'impact du processus de croissance sur l'étendue de variation de F2. Si nous confirmions l'hypothèse que la plage fréquentielle de F2 augmentait avec l'âge, les conclusions que nous défendions au préalable perdaient toute leur robustesse.

Dans un premier temps les données issues de différents travaux nous permettaient d'écarter cette possibilité. Mais nous avons préféré transformer une présomption en certitude en réalisant une simulation à l'aide du modèle VLAM. Nous avons donc testé l'évolution des valeurs formantiques pour 3 positions de langue et différents niveaux d'aperture à 8 mois, 10 mois et 12 mois.

Finalement, nous avons pu rejeter définitivement l'éventualité d'une incidence du processus de croissance sur nos résultats. L'évolution de la dissociation des mouvements langue-mandibule reposant en partie sur la détection de F2 est bien le reflet du développement du contrôle moteur.

8.3. Bilan

Le babillage ressort comme une étape très importante pour le développement du contrôle articulatoire. Au cours de cette période, le bébé va développer ses habiletés motrices pour entrer dans le stade linguistique en commençant à associer un contenu articulatoire au cadre mandibulaire. Néanmoins, le contrôle articulatoire n'a pas encore atteint son seuil de maturité et le bébé devra optimiser ses mouvements dans le temps et dans l'espace pour accéder aux patrons adultes, au cours des années à venir.

8.3.1. Le babillage, stade de l'émergence du contenu

Les premiers babillements sont fortement contraints par la dominance du patron mandibulaire, mais entre 8 et 12 mois le bébé va entamer un processus d'apprentissage moteur qui va lui permettre de libérer ses articulateurs de l'influence de la mandibule.

8.3.1.1. Des habiletés motrices précoces limitées

L'immaturité du système de production au stade précoce du babillage est observable à travers l'absence d'un patron spécifique des déplacements mandibulaires et une forte corrélation des mouvements de la langue et de la mandibule.

À 8 mois, le mouvement de la langue serait intégré dans celui de la mandibule, ce qui serait également le cas pour les lèvres (GREEN *et al.* 2000, 2002). Nous avons pu montrer que la corrélation articulatoire entre la langue et la mandibule était plus forte à 8 mois qu'à 12 mois. Nous confirmons donc la faible implication de la langue dans les réalisations précoces défendue par MACNEILAGE (1998).

Cependant, la question du type d'occurrences recueillies émerge. Si le bébé n'a produit, par exemple, que des associations de consonnes bilabiales et de voyelles centrales, cela a pu avoir des incidences sur les résultats. Mais s'il n'a produit que des /ba/, c'est que son système articulatoire ne lui permettait pas de produire d'autres types de combinaisons (*cf.* chapitre II). Dans ce cas, le schéma associatif des réalisations n'altère pas la fiabilité de nos résultats.

8.3.1.2. L'émergence du développement

Au cours du l'acquisition du langage, le développement des habiletés agit sur le système de productions. Le bébé va se dégager d'un comportement moteur contraint pour développer l'indépendance de ses autres articulateurs. En étudiant la progression des ratios résultant de la division de la différence de F2 entre le début et la fin d'un mouvement simple de la langue par la distance mandibulaire parcourue en millimètres au cours d'une trajectoire stable au sein de ce même intervalle, nous avons pu vérifier que la langue augmentait l'amplitude de ces déplacements par rapport à ceux de la mandibule avec l'âge. Le bébé est donc capable, à 12 mois, de coordonner les déplacements de la langue et de la mandibule suivant des trajectoires différentes. Nos résultats vont dans le sens de ceux obtenus par OLLER et STEFFENS (1994). Les auteurs ont cherché à vérifier l'hypothèse du cadre et celles des patrons associatifs prédominants. Rappelons qu'une évaluation générale a montré que les consonnes coronales étaient plus fréquemment associées aux voyelles antérieures, les dorsales plus fréquemment combinées aux voyelles postérieures et les labiales aux voyelles centrales (DAVIS & MACNEILAGE 1990, MACNEILAGE 1998, MACNEILAGE & DAVIS 2000 a, b et 2001). OLLER et STEFFENS montrent que dès 10-12 mois les tendances du patron mécanique

s'affaiblissent et que les voyelles basses sont le type vocalique le plus fréquemment associé à toutes les consonnes. Entre 16 et 24 mois, le développement de la liberté d'association se poursuit et tous les types de voyelles sont combinés sans tenir compte du lieu articulatoire des consonnes. Avec l'âge, le bébé va donc perdre les routines gestuelles précoces (VIHMAN & BOYSSON-BARDIES 1994).

8.3.1.3. L'impact de la langue maternelle

Une question subsiste, nos résultats seraient-ils similaires si nous avions observés des bébés chinois, français, gambiens… ?

Nous avons évoqué, dans le chapitre II, le fait que la langue maternelle pouvait influencer le système de production. BOYSSON-BARDIES *et al.* (1989) ont notamment montré, grâce à l'observation de valeurs formantiques, que des différences du système vocalique entre les communautés linguistiques émergent déjà chez les enfants de 10 mois. Nous avons également mentionné l'impact du développement lexical, au terme du chapitre VI, pour expliquer les développements articulatoires que nous avions observés. Nous interprétions l'apparition des premiers mots comme une nouvelle forme de spécification articulatoire.

Les résultats de notre seconde expérience n'entrent pas en contradiction avec ces observations. Nous acceptons l'influence de la langue maternelle sur le système phonologique, mais pas sur le mécanisme de l'apprentissage du contrôle moteur en lui-même. Que les bébés observés soient allemands ne change rien à la significativité de nos résultats. Nous allons essayer de l'expliquer.

Le système vocalique de la langue allemande est constitué d'une opposition entre voyelles longues et voyelles brèves (ou plutôt tendues *vs*. lâches). Il est aussi composé de 3 diphtongues [ai], [au] et [ɔy]. On imagine alors que la présence de ces phonèmes puisse avoir une incidence sur la variation des trajectoires de F2 au cours d'un mouvement d'élévation mandibulaire. Nos résultats pourraient donc être une conséquence de la langue observée. Pour cela, il faudrait que ce type de sons intègre le répertoire du babillage et des premiers mots et ce n'est pas le cas. Nous avons montré dans le chapitre II que malgré les variations sociolinguistiques possibles, les productions du babillage étaient régies par des contraintes articulatoires universelles, comme la dominance des syllabes redupliquées ou de certains patrons de cooccurrence, et qu'il existait une continuité entre le babillage et les premiers mots. Notons par ailleurs que ces caractéristiques universelles se retrouvent dans la majorité des langues du monde (MACNEILAGE 1994, DAVIS & MACNEILAGE 2003 et VALLEE & BOE 2001, ZERLING 2000, MESSISAS *et al.* 2002).

Ainsi, nous formulons l'hypothèse que l'apparition des premiers mots a une incidence sur l'émergence du contrôle articulatoire, mais ce résultat serait la conséquence d'un apprentissage moteur plutôt que celle de l'influence de la langue maternelle.

8.3.2. Un affinement nécessaire

Malgré un développement indéniable des habiletés motrices, le chemin de la parole mature est encore long.

Nous avons pu observer la progression de la dissociation des patrons gestuels de la langue et de la mandibule entre 8 et 12 mois. Mais il n'en reste pas moins que la langue doit encore affiner ses déplacements. La langue a établi son indépendance par rapport à la mandibule, mais ses trajectoires ne sont pas totalement contrôlées.

Si l'on suit les principales phases du développement oromoteur mises au jour par GREEN *et al.* (2000) (voir aussi STUDDERT-KENNEDY 1990), à savoir, la différenciation,

l'intégration et le raffinement, nous estimons qu'à 12 mois le bébé se trouve dans une phase du troisième ordre. En effet, il a amorcé une phase de différenciation des mouvements mandibulaires pour les activités de parole. Le bébé a aussi intégré des mouvements indépendants de la langue dans le patron mandibulaire, mais il lui reste à optimiser tous ces développements.

8.4. Conclusion

La tranche d'âge 8-12 mois constitue une période importante pour le développement du contrôle articulatoire. Le développement des habiletés motrices va s'amorcer pendant cette période, nous l'avions déjà montré dans le chapitre VI.

La théorie « *Frame then Content* » de MACNEILAGE (1998) associe l'immaturité précoce du système articulatoire à la dominance du patron oscillatoire de la mandibule qui limite fortement le déplacement des articulateurs portés. L'apprentissage du contrôle moteur pour la fonction de parole passe donc par une phase au cours de laquelle la langue, les lèvres et le vélum devront se libérer de l'influence imposée par la mandibule.

Nous avons choisi de concentrer notre intérêt sur l'évolution de l'indépendance des gestes linguaux. Nous avons montré qu'entre le stade du babillage redupliqué et celui du babillage varié, le bébé devient capable d'établir des trajectoires indépendantes pour la langue et la mandibule. En effet, des mouvements horizontaux de la langue de plus en plus amples vont venir se superposer aux déplacements verticaux de la mandibule.

Le contrôle articulatoire émerge, mais il est évident que les patrons des mouvements vont devoir encore s'affiner pour atteindre leur maturité et s'approcher des caractéristiques adultes.

8.5. Perspectives

Cette seconde expérience se montre concluante, et la richesse de ces données implique que beaucoup de paramètres peuvent encore être étudiés.

Initialement, notre objectif était de nous affranchir des obstacles qu'auraient pu générer un travail de transcription pour ne nous attacher qu'au domaine articulatoire. Cependant, une transcription de ce corpus pourrait nous orienter vers une analyse plus fine. On pourrait par exemple séparer le type de séquence (/b+V/) et étudier l'évolution de chaque catégorie.

Par ailleurs, nous avons mentionné dans le chapitre VI que notre étude acoustique était quelque peu affectée par les limites d'un travail longitudinal chez de très jeunes sujets. La pertinence de nos conclusions a souffert du petit nombre d'occurrences et de la difficulté de suivre beaucoup de sujets. Nous souhaitons donc répliquer le travail que nous avons effectué dans l'expérience 1 sur les signaux acoustiques riches de productions dont nous disposons maintenant, pour vérifier les résultats obtenus.

Nous nous sommes également heurtée au problème de l'évolution de l'étendue de F2 par rapport à l'accroissement du conduit vocal. Par conséquent, nous pourrions exploiter les nombreux signaux acoustiques issus de cette seconde expérience, dans la perspective d'une analyse formantique qui nous renseignerait sur la progression de F2 avec l'âge. Nous pourrions alors comparer nos résultats avec ceux d'une simulation VLAM plus approfondie où nous prendrions en considération plus de configurations vocaliques, par exemple l'ensemble de celles recensées pour le babillage.

Enfin, le corpus dont nous disposons fait partie des corpus dits rares. Rappelons qu'il est composé d'enregistrements acoustiques, cinématiques et vidéo simultanés. Nous pourrions donc imaginer dresser, dans une base de données que nous pourrions par la suite mettre à disposition de la communauté scientifique, toutes les associations acoustiques, Optotrak et vidéo correspondant aux séquences babillées recueillies.

SYNTHÈSE GÉNÉRALE, CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le temps est venu de synthétiser et de conclure notre travail.

- *Chapitre IX* Synthèse générale
- *Chapitre X* Conclusions et perspectives

CHAPITRE IX
SYNTHÈSE GÉNÉRALE

9.0. Introduction

Notre travail s'inscrit pleinement dans le sillage de l'hypothèse de MACNEILAGE (1998), à savoir que la production de la parole repose sur un cadre résultant de l'oscillation mandibulaire naturelle. Cette activité biologique implique la génération du patron syllabique sur lequel vient se superposer un contenu par la mise en mouvement des articulateurs portés. D'un point de vue ontogénétique, l'oscillation mandibulaire domine et contraint le système de productions précoces, si bien que les premiers babillements engageraient la réalisation d'un cadre dépourvu de contenu.

Dans le chapitre d'introduction (*cf.* chapitre I) nous avions posé les objectifs de ce travail par les interrogations suivantes : comment passe-t-on du geste biologique à la parole ? Comment le contrôle articulatoire va-t-il se mettre en place ? En somme, nous avons expliqué que nous visions à rendre compte de l'établissement du contrôle articulatoire en montrant comment le bébé allait développer ses habiletés motrices pour coordonner un contenu au cadre.

Pour tenter de donner des réponses à ce questionnement, nous avons choisi 2 paramètres d'observation :

1. L'évolution de l'organisation temporelle du cycle acoustique et celle de ses composantes consonantique et vocalique.
2. L'émergence de la dissociation des mouvements de la mâchoire inférieure et de la langue.

Plusieurs enseignements ressortent de nos analyses acoustiques et cinématiques. D'une part, le processus d'apprentissage moteur passerait par une rupture avec la stabilité imposée par la cyclicité mandibulaire avant de s'orienter vers une nouvelle phase de reconstruction temporelle. D'autre part, l'accroissement des habiletés motrices impliquerait la désolidarisation des phases du cycle mandibulaire. Enfin, le développement moteur reposerait sur la dissociation des trajectoires de la mandibule et des articulateurs portés. Nous avons focalisé notre intérêt sur la décorrélation des mouvements de la langue par rapport à ceux de la mandibule.

Tout au long de cette synthèse, nous proposerons parallèlement un rappel de nos hypothèses de départ et des résultats tirés de nos investigations.

9.1. De la variabilité à la stabilisation

La cyclicité du mouvement mandibulaire, résultant de l'alternance des phases d'ouverture et de fermeture du conduit vocal, donne un caractère régulier aux séquences babillées (MACNEILAGE 1998, DAVIS & MACNEILAGE 1995, KONOPCZYNSKI 1986 a, b, c,). Ainsi, l'isochronie initiale des cadres successifs reflèterait en partie l'immaturité du système articulatoire.

Pour se libérer des contraintes imposées par le patron biologique de la mandibule et donner une organisation spécifique aux déplacements de cet articulateur pour la parole, nous avons prédit que le bébé pouvait, dans un premier temps, faire varier les configurations temporelles du cycle mandibulaire. Cette phase d'exploration permettrait au jeune locuteur de rompre avec le patron rythmique de base de la mandibule, de façon à engager, dans un deuxième temps, une nouvelle phase de stabilisation.

9.1.1 De la variabilité…

Notre premier objectif était de retrouver la perturbation temporelle du cycle mandibulaire directement dans le signal acoustique en observant l'évolution du paramètre de la durée. Pour ce faire, nous avons mené une acquisition longitudinale auprès de 2 sujets français. Nous avons débuté les enregistrements lorsqu'ils étaient âgés de 9 mois et nous avons terminé notre recueil de données lorsqu'ils avaient atteint 14 mois.

Le comportement temporel du cycle, entre 9 et 14 mois, fait alors apparaître des étapes distinctes dans le processus d'apprentissage moteur de la mandibule. On observe en particulier une percée de la variabilité temporelle à 10 mois.

Les analyses réalisées à 9 mois attestent d'une stabilité temporelle, laquelle est interprétée comme le résultat de l'oscillation rythmique de la mandibule (*cf.* chapitre VI). Dans l'absolu, cette stabilité précoce peut être contestée à cause de la variabilité interindividuelle, mais nous avons montré qu'à l'âge de 9 mois, le cycle s'avère toujours proportionnellement plus stable qu'au stade suivant. En effet, on relève à 10 mois une diminution systématique de la stabilité temporelle. On observe à ce stade les cycles mandibulaires les plus variables du babillage.

Il faut mentionner que cette période correspond à l'entrée dans le babillage varié. Le babillage varié est associé à l'apparition des premières formes de diversifications des productions. Au cours du babillage redupliqué, la même syllabe est répétée lors de la production d'une séquence polysyllabique ; en revanche, au cours du babillage varié, des syllabes de configurations différentes peuvent s'enchaîner au sein de ces séquences. Ces changements sont, certes, le seul résultat de la modulation du degré d'aperture de la mandibule, mais ils vont faire évoluer les possibles articulatoires. Conjointement, le bébé entre dans une phase d'exploration sensori-motrice au cours de laquelle il teste les possibilités que lui offre son conduit vocal. En faisant varier la durée de ses cycles mandibulaires, le bébé rompt avec la stabilité du rythme intrinsèque de la mandibule.

9.1.2. …À la stabilisation

Nous avons réussi à montrer que l'apparition de la variation temporelle marquait l'initiation du développement des habiletés motrices. Néanmoins, cette évolution ne signifie pas que le contrôle articulatoire est acquis. Ainsi, après la phase de variation observée à 10 mois, une nouvelle forme de stabilité va progressivement se mettre en place à partir de 11 mois.

Au niveau acoustique, la durée du cycle va progressivement perdre de sa variabilité entre 11 mois et 14 mois chez les deux sujets analysés.

Par ailleurs, parallèlement à la diminution de la variabilité, la durée cyclique va elle aussi subir un affaiblissement. Les cycles mandibulaires initialement lents vont peu à peu s'accélérer autour d'une durée moyenne de 300 ms (soit 3.3 syllabes ou cycles par seconde). Les patrons temporels adultes ne sont cependant pas encore atteints puisqu'il a été montré que la vitesse moyenne d'élocution, selon la tâche et selon les auteurs, pouvait rejoindre un nombre de syllabes allant de 4.2 à 5 ou 6 par seconde (MALECOT *et al.* 1972, GROSJEAN & DESCHAMPS 1975, VAXELAIRE 1993, FOUGERON & JUN 1998, PASDELOUP 2004-2005).

Ainsi, après avoir rompu avec les contraintes temporelles imposées par le rythme biologique de l'oscillation mandibulaire, le bébé entame la reconstruction d'un patron temporelle spécifique à la fonction de parole. On s'aperçoit que ce retour à la stabilité apparaît avec l'émergence des premiers mots. Nous avons émis l'hypothèse que la production de mots demande un niveau de spécification supplémentaire qui restreint la variation. En effet, une charge sémantique vient s'ajouter au processus de production et nous adoptons l'hypothèse que lorsque la tâche cognitive se complique, le bébé retourne à des patrons temporels plus stables. Par ailleurs, la production des mots impose de nouvelles contraintes de régularité combinatoire et temporelle sur le système de production.

9.2. De la syllabe au segment

Nous nous appuyons sur l'hypothèse d'une représentation segmentale du contrôle de la parole chez l'adulte. Or au stade du babillage redupliqué, les productions s'organisent autour d'une unité indissociable : la syllabe.

Le second objectif de notre étude acoustique visait alors à rendre compte du passage de la production du cadre syllabique à la production du contenu segmental.

9.2.1. La syllabe unité de production précoce

Tout au long de ce travail, nous avons mentionné que l'alternance des phases de fermeture et d'ouverture de la cavité buccale, sous l'impulsion cyclique de la mandibule, générait le patron syllabique canonique régulier de type CV. Au stade précoce du babillage, les constituantes consonantique (C) et vocalique (V) forment alors une unité reflétant un contrôle moteur limité : l'indépendance segmentale n'existerait pas selon la conception de MACNEILAGE.

9.2.2. L'émergence du segment

Nous avons donc défendu l'idée que l'émergence du contrôle articulatoire sous-tendait la désolidarisation de l'unité syllabique en ses composantes. Nous avons dans un premier temps émis l'hypothèse que l'indépendance segmentale pouvait résulter de la modulation temporelle des phases du cadre. Et dans un deuxième temps, nous avons supposé que la variabilité temporelle affecterait en premier la phase d'ouverture pour deux raisons principales : d'une part, parce qu'il s'agit de la phase articulatoire qui subit les contraintes aérodynamiques les plus faibles (*cf.* chapitre VI) et d'autre part, parce qu'il s'agit de la composante la mieux perçue. En effet, la voyelle est définie comme le noyau acoustique d'une syllabe porteur des indices prosodiques, si bien qu'il serait plus facile pour un système immature de faire varier ce qui est perceptible plutôt que ce qui ne l'est pas.

Nous nous sommes ainsi intéressée à l'évolution de l'organisation temporelle des phases du cycle mandibulaire et trois conclusions ont émergé :

- Nous avons d'abord constaté que la voyelle était toujours plus variable que la consonne.
- Nous avons également confirmé que la composante vocalique était la première phase du cycle touchée par la variation temporelle. Elle accède à sa variabilité maximale à 10 mois et celle de la consonne survient à 12 mois.
- Nous avons constaté que les composantes consonantique et vocalique évoluaient ensuite vers un équilibre notoire.

9.3. De la corrélation à l'indépendance articulatoire

La mandibule domine le système de productions précoces et les autres articulateurs ne sont que très faiblement activés. En effet, les patrons associatifs décrits par MACNEILAGE et DAVIS (DAVIS & MACNEILAGE 1990, MACNEILAGE 1998, MACNEILAGE & DAVIS 2000 a, b et 2001) montrent qu'à cette période la langue maintient sa position tout au long de la production d'un cycle. Il existe donc une corrélation systématique entre les consonnes et les voyelles produites. L'explication donnée par les auteurs est qu'à ce stade précoce, le mouvement de la langue n'est pas totalement dissocié de celui de la mandibule, alors que dans la parole mature les déplacements linguaux sont indépendants.

Cette théorie a été confirmée par des études descriptives de transcriptions de productions issues d'enregistrements acoustiques et vidéo. Nous avons cherché à contribuer à la validation de cette théorie en proposant des résultats expérimentaux extraits de données acoustiques et articulatoires. Un total de 33 bébés, dont l'âge varie entre 8 mois et 12 mois, ont été enregistrés. Seuls les déplacements mandibulaires et linguaux, extraits de signaux Optotrak et acoustiques, de 15 d'entre eux ont pu être analysés.

9.3.1. La dissociation des mouvements langue-mandibule

La relative inertie articulatoire de la langue témoigne de l'immaturité du système moteur de la parole. Ce constat nous a conduite à formuler une troisième hypothèse : le développement des habiletés articulatoire doit, en partie, se manifester à travers l'augmentation de l'indépendance des déplacements de la langue. Cela prédit que la langue doit, avec l'âge, se dissocier du patron mandibulaire en augmentant l'amplitude de ses mouvements dans la dimension antérieure/postérieure de la cavité buccale.

Nous avons donc cherché à détecter l'émergence du contrôle articulatoire en poursuivant une étude simultanée de données cinématiques et acoustiques, les premières nous renseignant sur les déplacements verticaux de la mandibule, les secondes sur les déplacements horizontaux de la langue grâce au suivi de F2.

Après avoir procédé au découpage de l'ensemble de nos signaux de façon à dégager des associations de mouvements simples de langue et de mandibule, nous avons calculé la différence en Hertz entre le début et la fin du déplacement de la langue ainsi que la distance en millimètres parcourue par la mandibule dans cet intervalle temporel. Puis, nous avons établi le rapport entre les deux. Notre paramètre d'observation s'est construit sur la base de ce ratio. Ce dernier nous permettait d'évaluer l'importance du mouvement de la langue par rapport à la mandibule.

Nos conclusions montrent que ce rapport augmente progressivement et significativement entre 8 et 12 mois. Par conséquent, les déplacements de la langue dans la dimension antérieure/postérieure s'amplifient avec l'âge. La langue commence donc à se

dissocier du mouvement mandibulaire. Peu à peu, le bébé développe des stratégies différentes pour ces deux articulateurs qui vont adopter des trajectoires indépendantes. Il devient alors capable de superposer des mouvements linguaux horizontaux aux déplacements verticaux de la mandibule.

9.3.2. L'incidence de la croissance du conduit vocal

Nos résultats s'appuyant sur l'observation de l'évolution de l'amplitude du F2, nous devions nous assurer que la plage de variation fréquentielle n'augmentait pas avec l'âge, auquel cas nos résultats seraient le reflet de la croissance du conduit vocal et non pas celui de l'émergence d'un contrôle moteur.

Nous avons pu écarter la possibilité qu'il puisse s'agir d'une conséquence de la croissance du conduit vocal en réalisant une simulation de l'évolution de l'étendue de F2 en fonction de l'âge à l'aide du modèle VLAM. Nous avons ainsi vérifié l'évolution des valeurs de F2 à 8 mois, 10 mois et 12 mois pour 3 positions de la langue (antérieure-centrale-postérieure) à différents stades du mouvement d'élévation mandibulaire.

La simulation indique que de manière générale, l'étendue de F2 tend à diminuer entre 8 et 12 mois ainsi que sa moyenne.

Ainsi, l'évolution du rapport « Delta F2/Delta mandibule » que nous observons avec l'âge n'est pas le résultat de l'accroissement de l'amplitude de variation, ou de la moyenne, des valeurs formantiques, mais bien celui de l'augmentation de l'indépendance des gestes de la langue.

9.3.3. L'influence de la langue maternelle sur nos résultats

Nos deux expériences ont été réalisées sur des sujets de langues maternelles différentes, à savoir des sujets français pour la première et des sujets allemands pour la seconde. On peut alors se demander si nos résultats ne sont pas dépendants des paramètres phonologiques ou prosodiques de la langue considérée ?

Nous voulons rappeler d'une part, que le babillage est une période développementale qui possède des caractéristiques universelles. D'autre part, nous avons sélectionné nos paramètres d'observation en donnant la priorité au niveau articulatoire.

Dans l'expérience 1, notre paramètre d'observation est celui de la durée. Or, nous savons que la durée est un paramètre prosodique important dans certaines langues, en particulier en français où l'accent primaire reposerait sur l'allongement de la syllabe finale. Nous savons également que les caractéristiques prosodiques d'une langue commencent à se mettre en place très tôt (dès 8-10 mois). C'est notamment à cause de l'existence probable d'un allongement précoce et de l'instabilité temporelle qui le caractérise que nous avons choisi d'ajouter le cycle 3 à notre étude. Ce cycle (VVT-VVT) nous permettait, contrairement au cycle 2 (VVO-VVO), d'intégrer les syllabes finales à notre analyse. On pourrait par ailleurs nous reprocher de ne pas avoir traité séparément les syllabes non-finales et les syllabes finales, mais les analyses de ces deux cycles aboutissent aux mêmes résultats. Ce que nous montrons ne serait donc pas lié à l'observation de la langue française.

Notre seconde expérience repose sur l'analyse des déplacements articulatoires de sujets allemands. Pour détecter les mouvements de la langue nous avons procédé au suivi de F2. À 12 mois, la langue maternelle a déjà une incidence précoce sur le système de production et son organisation formantique. Il est alors possible que l'étendue de F2 soit plus ou moins large en fonction de la langue maternelle. Cependant, ce qui est important pour notre analyse, ce ne sont pas les valeurs formantiques en elles-mêmes ni leur écart de variation, mais le fait que ces plages fréquentielles diminuent avec l'âge, ce que nous a montré la simulation

VLAM. Par ailleurs, on peut encore supposer que la taille de la plage de variation du F2 peut avoir une conséquence sur les valeurs des rapports « Delta F2/Delta mandibule » observés, mais cet impact est faible puisque c'est l'évolution significative de ce rapport avec l'âge qui est déterminante. La langue allemande n'aurait donc pas d'incidence particulière sur l'interprétation de nos résultats.

9.4. Conclusion

Plusieurs paradigmes ont été étudiés pour mettre au jour les mécanismes d'apprentissage moteur de la parole émergeant au stade du babillage.

Au niveau temporel, le développement des facultés articulatoires transite par une phase d'exploration qui permet au bébé d'évaluer les possibilités de son conduit vocal et de rompre avec la régularité précoce imposée par le rythme naturel de l'oscillation mandibulaire. Par cette phase exploratoire le bébé se libère donc des contraintes rythmiques mandibulaires et prépare l'organisation temporelle spécifique de la parole. Si la variation est un indice de l'émergence du contrôle, cela ne signifie pas nécessairement qu'il est atteint. Ainsi, à cette phase de variabilité succède une phase de reconstruction temporelle débouchant sur une nouvelle forme de stabilité.

Au niveau spatial, les déplacements articulatoires initialement très corrélés vont peu à peu devenir indépendants. Avec l'âge, les trajectoires de la langue et de la mandibule vont progressivement se dissocier. Les déplacements de la langue dans la dimension antérieure/postérieure vont venir se superposer aux déplacements verticaux de la mandibule.

Le babillage est une période au cours de laquelle le contrôle articulatoire va émerger, mais on sait que son développement va se poursuivre pendant les années à venir.

CHAPITRE X
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ce travail voulait réconcilier pour un temps les domaines de la (psycho)-motricité et de la phonétique, en apportant des données expérimentales à la théorie « *Frame then Content* » de MACNEILAGE (1998). Nous avons essayé de tenir ce pari en recueillant des données acoustiques et cinématiques auprès de 35 sujets âgés de 8 à 14 mois, toutes expériences confondues. Le défi s'est avéré d'autant plus difficile à relever qu'il impliquait de très jeunes locuteurs. Dans ce cadre d'investigation, il est difficile de contrôler rigoureusement les données obtenues (*ceteris-paribus*) et l'on s'inscrit dans un recueil de productions spontanées : nous sommes donc livrée au bon vouloir de coopération de nos sujets. Par ailleurs, à cette condition est venue s'ajouter la difficulté de conduire des enregistrements Optotrak chez un grand nombre de sujets (*cf.* partie III). Dans l'ensemble, nos protocoles expérimentaux ont assez bien fonctionné et nous avons réussi à atteindre nos objectifs.

Nos données nous ont permis d'apporter une contribution à la compréhension du processus de développement du contrôle articulatoire au stade du babillage avec comme trame de fond deux questions récurrentes :

- comment passe-t-on du geste biologique mandibulaire à un geste spécifique de parole ?
- et comment passe-t-on du cadre au contenu ?

Nos hypothèses présentent la variation temporelle de même que la dissociation des trajectoires de la langue et de la mandibule comme des indices de l'émergence du contrôle articulatoire.

À la première question, nous apportons la réponse qu'un mouvement mandibulaire spécifique pour la fonction de parole se construit en deux temps. Le bébé passe d'abord par une phase de variation temporelle au cours de laquelle il rompt avec la stabilité du patron naturel de l'oscillation mandibulaire en explorant les possibilités de son conduit vocal. Puis, il va à nouveau s'orienter vers une certaine forme de stabilité temporelle qui apparaît parallèlement aux premiers mots. Le mouvement mandibulaire commence à se spécifier et devient plus précis dans le temps et dans l'espace.

À la seconde question, nous répondons que le bébé va progressivement superposer un contenu au cadre ; d'une part en combinant, dans un même intervalle temporel, des déplacements de la langue et de la mandibule dont les trajectoires sont indépendantes, et d'autre part, en augmentant l'amplitude de ses déplacements linguaux dans la dimension antérieure/postérieure de la cavité buccale.

Cependant, nous savons que nos résultats ne scellent pas définitivement la question de l'émergence du contrôle articulatoire. Ainsi, nous ne pouvons pas clore ce travail sans aborder les interrogations qu'il a soulevées et les perspectives de recherche que nous proposons pour tenter d'y répondre.

Tout d'abord, le faible nombre de sujets exploités dans notre première analyse pose les limites de la généralisation de nos interprétations. Nous avons désormais à notre disposition les enregistrements recueillis chez les 33 sujets constituant l'échantillon de notre seconde expérience associant le champ acoustique au champ cinématique. En répliquant, chez ce groupe de sujets, la méthodologie que nous avons mise en place pour traiter nos premières données acoustiques, nous avons la possibilité de confirmer ou d'infirmer la fiabilité de ces résultats. Nous pourrons également lever définitivement le doute de l'influence de la langue maternelle sur nos résultats.

Deuxièmement, nous proposons de faire le lien entre nos données acoustiques et nos données cinématiques, en essayant de déterminer l'évolution de l'organisation temporelle des déplacements mandibulaires à partir de nos données Optotrak. Nous pourrions soit tout simplement établir la durée moyenne du cycle cinématique aux différents stades, soit faire la décomposition fréquentielle (FFT) de chaque mouvement disponible pour déterminer autour de quelle fréquence le geste mandibulaire va s'organiser avec l'âge. Nous avons commencé à réfléchir à cette seconde possibilité, mais l'état d'avancement des travaux ne nous permet pas de présenter les résultats.

Par ailleurs, notre seconde investigation s'attache à la période développementale se situant entre 8 et 12 mois. Nous avons montré qu'au terme de l'analyse, la langue commençait à se déplacer indépendamment de la mandibule. Mais nous ne sommes pas sans savoir que le processus du développement des habiletés motrices n'est pas terminé. C'est pourquoi il serait intéressant de continuer sur notre lancée en essayant de mettre en évidence ce qu'il se passe après 1 an. Nous pouvons également envisager l'éventualité d'étudier des comportements similaires chez l'adulte.

Le quatrième point essentiel à relever, c'est que tout au long de cette recherche, nous avons mentionné, en nous appuyant sur nos propres résultats et sur ceux relevés dans la littérature, que les gestes articulatoires du bébé sont toujours plus lents que ceux de l'adulte. Nous pourrions donc procéder à une vérification des profils de vitesse de la mandibule, à l'instar de SMITH et ses collègues chez des enfants plus âgés (SMITH & MACLEAN-MUSE 1987, SMITH & GARTENBERG 1984, SMITH & GOFFMAN 1998), en reprenant nos données cinématiques afin d'établir le lien entre l'immaturité du système de production et la rapidité d'exécution des gestes au cours du babillage.

En outre, le suivi de F2 s'est avéré être un facteur déterminant dans notre seconde analyse, puisqu'il nous à permis de déterminer l'évolution de l'amplitude des déplacements linguaux dans la dimension antérieure/postérieure de la cavité buccale. Néanmoins, nous nous sommes rapidement rendue à l'évidence qu'il ne s'agissait pas d'une tâche facile chez le bébé et que ce paramètre pose le problème de l'évolution liée à l'âge. Nous avons écarté l'hypothèse que nos résultats ne puissent être qu'une conséquence de la croissance du conduit vocal. Mais nous pensons qu'il serait utile de mener une étude individuelle détaillée des valeurs moyennes et de l'étendue de ce paramètre, de façon à corréler ces données intra-sujets aux résultats que nous avons obtenus. Nous pourrions ainsi évaluer si l'étendue de la plage

fréquentielle de F2 a une incidence directe sur nos résultats, et de manière plus générale cela nous permettrait d'obtenir une indication précise de la progression des valeurs formantiques entre 8 et 12 mois.

De plus, nous avons porté notre attention sur l'évolution des rapports existant entre les déplacements de la langue et de la mandibule. Nous pourrions y ajouter l'étude des habiletés motrices d'autres articulateurs comme les lèvres en étudiant, par exemple, le développement de l'arrondissement. On étudie souvent l'implication des lèvres dans l'ouverture et la fermeture du tractus vocal, mais en nous attachant à la protrusion, nous pourrions, comme nous l'avons fait pour la langue, montrer quand et comment les lèvres commencent à développer des trajectoires différentes de celles de la mandibule et de cette manière à acquérir une indépendance.

Enfin, nous l'avons dit à plusieurs reprises, nous avons constitué un ensemble de données dites rares impliquant l'utilisation de plusieurs outils, à savoir la vidéo, Optotrak et l'audio. Nous pourrions transcrire notre corpus, puis associer chaque production aux signaux correspondants et classer les occurrences en fonction du sujet, de l'âge et du type de séquence (bisyllabique ou polysyllabique) et/ou du type de syllabe ([ba], [dɛ]...). Nous souhaiterions mettre à disposition des spécialistes ce creuset de données multimodales.

Tout au long de son apprentissage du langage, le jeune enfant doit apprendre à établir le lien sensori-moteur entre ce qu'il produit et ce qu'il perçoit pour ajuster ses gestes articulatoires. Mais pour atteindre ses cibles, il doit aussi se libérer des contraintes imposées par un système moteur immature. Nous avons tenté de contribuer à montrer qu'au stade le plus tardif du babillage, un contrôle articulatoire spécifique commençait à émerger. Le babillage est en effet une période importante pour le développement du contrôle articulatoire. C'est d'ailleurs pour cette raison que nous avons choisi d'observer ce stade développemental. C'est en effet au cours de cette période que le bébé va dégager du patron naturel de la mandibule une organisation temporelle spécifique pour la fonction de parole. C'est aussi entre 8 mois et 12 mois qu'il va commencer à développer des mouvements linguaux indépendants. Mais le processus ne fait que s'amorcer. Pour accéder au système de production de la parole mature, le bébé doit apprendre à dissocier le contrôle des différents articulateurs portés et doit en affiner les déplacements dans le temps et dans l'espace.

Beaucoup de travaux existent sur le système phonologique et articulatoire du babillage, mais de nombreux questionnements restent en suspens. Nous venons d'évoquer plusieurs perspectives de recherche qui nous permettraient d'approfondir notre connaissance du développement du contrôle articulatoire et nous savons que bien d'autres devraient être envisagées.

Le développement du contrôle articulatoire est un processus long et complexe dont bien des mystères doivent encore être percés.

BIBLIOGRAPHIE

ABRY C., AUTESSERRE D., BARRERA C., BENOIT C., BOE L.J., CAELEN J., CAELEN-HAUMONT G., ROSSI M., SOCK R. & VIGOUROUS N. 1985

Propositions pour la segmentation et l'étiquetage des sons du français. *Actes des 14e Journées d'Étude sur la Parole*, Paris, 156-163.

ABRY C., ORLIAGUET J.P. & SOCK R. 1990

Patterns of speech phasing. Their robustness in the production of a timed linguistic task: single *vs.* double (abutted) consonants in French. *European Bulletin of Cognitive Psychology*, 10 (3), 269-288.

ABRY C. & PERRIER P. 1995

Le contrôle des mouvements audibles et visibles dans la parole. *Actes de l'école thématique Fondements et Perspectives en Traitement Automatique de la Parole,* Marseille, 177-196.

ABRY C. 2001

Que nous apprennent les « tan, tan » du Tan de Broca sur l'hypothèse d'une syllabe émergeant du babillage ? In *Percevoir : monde et langage. Invariance et variabilité du sens vécu*. Keller D., Durafour J.P., Bonnot J.F.P. & Sock R. (Eds.). Liège, Mardaga, 241-259.

ABRY C., STEFANUTO M., VILAIN A. & LABOISSIERE R. 2002

What can the utterance "Tan, Tan" of Broca's patient Leborgne tell us about the hypothesis of an emergent "babble-syllable" downloaded by SMA? In *Phonetics, phonology and cognition*. Durand J. & Laks B. (Eds.). Oxford, University Press, 226-243.

ARNOLD G. 1956

A phonological approach to vowel, consonant and syllable in modern French. *Lingua*, 5 (3), 253-287.

BACRI N. 1987
Contrôle de la temporalité dans la production du langage chez le jeune enfant entendant et malentendant. *Bulletin d'Audiophonologie : Annales Scientifiques, Médecine et Pharmacie. Université de Franche-Comté*, 117 (6), 639-658.

BECK J.M. 1996
Organic variation of the vocal apparatus. In *Handbook of phonetic sciences*. Hardcastle W.J. & Laver J. (Eds.). Oxford, Blackwell Publishers, 256-297.

BELASCO S. 1963
Influence of force of articulation of consonants on vowel duration. *Journal of the Acoustical Society of America*, 27, 761-764.

BELL BERTI F. & HARRIS K. 1979 *cités dans* FOWLER C.A. 1980
Anticipating coarticulation: some implications from a study of liprounding. *Journal of the Acoustical Society of America*, 65, 1268-1270.

BENGUEREL A.P. & COWAN H.A. 1974
Coarticulation of upper lip protrusion in French. *Phonetica*, 30, 41-55.

BERTONCINI J. & MEHLER J. 1981
Syllables as units in infant speech perception. *Infant Behavior and Development*, 4, 247-260.

BEST C. 1991
The emergence of native language phonological in infants: a perceptual assimilation model. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 107-108, 1-30.

BEST C. 1993
Learning to perceive the sound pattern of English. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 114, 31-80.

BIJELJAC-BABIC R., BERTONCINI J. & MEHLER J. 1993
How four-day-old infants categorize multisyllabic utterances. *Development Psychology*, 29, 711-721.

BICKLEY C., LINDBLOM B. & ROUGH L. 1986 *cités par* DUCEY-KAUFMANN V. 2007
Acoustic measures of rhythm in infants' babbling, or "All god's children got rhythm". *Proceedings of the 12th International Congress on Acoustics*, Toronto, A6-4.

BLAKE J. & BOYSSON-BARDIES (de) B. 1992
Patterns in babbling: a cross-linguistic study. *Journal of Child Language*, 51-74.

BOE L.J. & MAEDA S. 1997
Modélisation de la croissance du conduit vocal. Espace vocalique des nouveau-nés et des adultes. Conséquences pour l'ontogénèse et la phylogénèse. *Journées d'Etudes Linguistiques : « La voyelle dans tous ses états »*, Nantes, 98-105.

BOE L.J., POCHIC D. & ZGA N. 2007
Implantation d'un modèle de croissance du conduit vocal. *DPC-GISA-lab*, Grenoble

BOGNAR E. 1980
Préliminaires anatomiques à l'étude phonétique des mouvements mandibulaires. *Travaux de l'Institut de Phonétique de Grenoble*.

BOTHOREL A. 1983
Contraintes physiologiques et indices articulatoires. *Speech Communication*, 2 (3), 119-122.

BOUDREAULT M. 1968 *cité dans* KONOPCZYNSKI G. 1986
Rythme et mélodie de la phrase parlée en France et au Québec. Paris, Klincksieck.

BOYSSON-BARDIES (de) B., BACRI L., SAGART L. & POIZAT M. 1981 *cités dans* DUCEY-KAUFMANN V. 2007
Timing in late babbling. *Journal of Child Language*, 8, 525-539.

BOYSSON-BARDIES (de) B., SAGART L. & DURAND C. 1984 *cités dans* BOYSSON-BARDIES (de) B. 1996
Discernible differences in the babbling of infants according to target language. *Journal of Child Language*, 11, 1-15.

BOYSSON-BARDIES (de) B., HALLE P., SAGART L. & DURAND C. 1989
A crosslinguistic investigation of vowel formants in babbling. *Journal of Child Language*, 16, 1-17.

BOYSSON-BARDIES (de) B. 1996
Comment la parole vient aux enfants. Paris, Odile Jacob.

BROWMAN C.P. & GOLDSTEIN L. 1987
Tiers articulatory phonology, with some implications for casual speech. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 92, 1-30.

BROWMAN C.P. & GOLDSTEIN L. 1989
Gestural structures and phonological patterns. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 97-98, 1-23.

BROWMAN C.P. & GOLDSTEIN L. 1990
Gestural specification using dynamically-defined articulatory structures. *Journal of Phonetics*, 18, 299-320.

BUDER E.H. & STOEL-GAMMON C. 2002
American and swedisch children's acquisition of vowel duration: effects of vowel identity and final stop voicing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 111 (4), 1854-1864.

CALLIOPE 1989
La parole et son traitement automatique. Paris, Masson.

CANAULT M. 2002
Trois ans et ½ et des consonnes : étude phonologique et acoustique du système consonantique de deux enfants de trois ans et demi nés à terme. Mémoire de Maîtrise, Besançon.

CANAULT M. 2003
Les voyelles à trois ans et ½ : étude phonologique et acoustique. Mémoire de DEA, Strasbourg II.

CANAULT M., PERRIER P. & SOCK R. 2006
L'émergence du contrôle segmental au stade du babillage : une étude acoustique. *Actes des 26e Journées d'Etude sur la Parole*, Dinard, 193-197.

CANAULT M. 2007
Un chemin accidenté vers l'acquisition du timing. In *Perturbations et Réajustements*. Vaxelaire B., Sock R., Kleiber G. & Marsac F. (Eds). Strasbourg II, Publications de l'université Marc Bloch, 35-50.

CHOMSKY N. 1975
Réflexions sur le langage. Paris, Flammarion.

CLEMENTS G.N. 1992
The sonority cycle and syllable organization. In *Phonologica 1988 Proceedings of the 6th International Phonology Meeting*. Bresseler W.U., Luschutzky H.C., Pfeiffer O.E. & Rennison J.R. (Eds.). Cambridge, University Press, 63-76.

COLLET L.1990
Maturation et développement de l'audition chez l'humain : données récentes. *Bulletin d'Audiophonologie : Annales Scientifiques, Médecine et Pharmacie. Université de Franche-Comté*, 134 (2), 147-152.

CRYSTAL T.H. & HOUSE A.S. 1990
Articulation rate and the duration of syllables and stress groups in connected speech. *Journal of the Acoustical Society of America*, 88 (1), 101-112.

CUTLER A., MEHLER J., NORRIS D. & SEGUI J. 1986 *cités dans* NGUYEN N. 2005
The syllable's differing role in the segmentation for syllable access. *Journal of Memory and Language*, 25, 385-400.

DARWIN C. 1859
The origin of species. Londres, Murray.

DAVIS B.L. & MACNEILAGE P.F. 1990
Acquisition of correct vowel production: a quantitative case study. *Journal of Speech and Hearing Research*, 33, 16-27.

DAVIS B.L. & MACNEILAGE P.F. 1994
Organisation of babbling: a case study. *Language and Speech*, 37 (4), 341-355.

DAVIS B.L. & MACNEILAGE P.F. 1995
The articulatory basis of babbling. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38, 1199-1211.

DAVIS B.L. & MACNEILAGE P.F. 2000
An embodiment perspective on the acquisition of speech perception. *Phonetica*, 57, 229-241.

DAVIS B.L., MACNEILAGE P.F. & MATYEAR C.L. 2002
Acquisition of serial complexity in speech production: a comparison of phonetic and phonological approaches in first word production. *Phonetica*, 59, 75-107.

DAVIS B.L. & MACNEILAGE P.F. 2003
Universal intrasyllabic patterns in early acquisition. *Proceedings of the 15th International Congress of Phonetics Sciences*, Barcelona, 379-382.

DECASPER A.J. & FIFER W.P. 1980 *cités dans* VAUCLAIR J. 2004 et BOYSSON-BARDIES (de) B. 1996
Of human bonding: Newborns prefer their mothers' voices. *Science*, 208, 1174-1176.

DECASPER A.J. & SPENCE M.J. 1986 *cités dans* BOYSSON-BARDIES (de) B. 1996 & VAUCLAIR J. 2004
Prenatal maternal speech influences newborns' perception of speech sounds. *Infant Behavior and Development*, 9, 133-150.

DEHAENE-LAMBERTZ G. 1997
Electrophysiological correlates of categorical phoneme perception in adults. *NeuroReport*, 8, 919-924.

DEHAENE-LAMBERTZ G. & BAILLET S. 1998
A phonological representation in the infant brain. *NeuroReport*, 9, 1885-1888.

DEHAENE-LAMBETZ G. 1999
Bases cérébrales de la perception des phonèmes chez le nourrisson. *Les Cahiers de l'Audition*, 12, 23-29.

DEHAENE-LAMBERTZ G., DEHAENE S. & HERTZ-PANNIER L. 2002
Functional neuroimaging of speech perception in infants. *Science*, 298, 2013-2015.

DEHAENE-LAMBERTZ G. & GLIGA T. 2004
Common neural basis for phoneme processing in infants and adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16 (8), 1375-1387.

DELATTRE C. & PERRIER P. 1991
Phase modifications in tongue movements across speech rate variations: influence of consonantal articulation. *Proceedings of the 12th International Congress of Phonetic Sciences*, Aix-en Provence, 3, 26-29.

DELATTRE P., LIBERMAN A.M. & COOPER F.S. 1955
Acoustic loci and transitional cues for consonants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 27, 769-773.

DELATTRE P. 1962
Le jeu des transitions de formants et la perception des consonnes. *Proceedings of the 4th International Congress of Phonetics Sciences*, Helsinki, 407-417.

DELATTRE P. 1968
From acoustic cues to distinctive features. *Phonetica,* 18, 198-230.

DELATTRE P. 1970
Des indices acoustiques aux traits pertinents. *Proceedings of the 6th International Congress of Phonetic Sciences*, Prague, 35-47.

DELAUNAY J. 1995
Réflexions sur le langage de l'enfant. *Bulletin d'Audiophonologie : Annales Scientifiques, Médecine et Pharmacie. Université de Franche-Comté*, 160 (2-3), 277-298.

DELLWO V. & WAGNER P. 2003
Relation between language rythm and speech rate. *Proceedings of the 15th International Congress of Phonetics Sciences*, Barcelone, 471-474.

DUCEY-KAUFMANN V. 2005
Les segments du corps en interaction dans la naissance de la parole. Etude longitudinale de 6 enfants français de 6 à 18 mois. *2nd conference of the International Society for Gesture Studies. Interacting bodies – corps en interaction*, Lyon.

DUCEY-KAUFMANN V. 2007
Le cadre de la parole et le cadre du signe : un rendez-vous développemental. Thèse de doctorat, Université Stendhal Grenoble III.

EDWARDS J. 1984
Contextual effects on lingual-mandibular. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 79-80, 39-48.

EGUCHI S. & HIRSH I. 1969 *cités dans* PALTHORPE P. 1996
Development of speech sounds in children. *Acta Otolaryngologica*, Suppl. 257, 5-43.

EIMAS P.D., SIQUELAND E.R., JUSCZYK P. & VIGORITO J. 1971 *cités dans* VAUCLAIR J. 2004
Speech perception in infants. *Science*, 171, 303-306.

EIMAS P.D. 1999
Segmental and syllabic representations in the perception of speech by young infants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 105 (3), 1901-1911.

EJIRI K. 1998
Relationship between rhythmic behavior and canonical babbling in infant vocal development. *Phonetica*, 55, 226-237.

FABER A. & BEST C. 1993
The perceptual infrastructure of early phonological development. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 114, 81-90.

FANT G. 1960
Acoustic theory of speech production. The Hague, Mouton.

FAVILLA M. 2006
Reaching movements in children: accuracy and reaction time development. *Experimental Brain Research*, 169, 122-125.

FELDMAN A.G. 1966 *cité dans* PERRIER P., LOEVENBRUCK H. & PAYAN Y. 1996
Functional tuning of the nervous system with control of movement or maintenance of a steady posture – II. Controllable parameters of muscles. *Biophysics*, 11, 565-578.

FELDMAN A.G. 1986 *cité dans* PERRIER P., LOEVENBRUCK H. & PAYAN Y. 1996
Once more on the equilibrium point hypothesis (λ model) for motor control. *Journal of Motor Behavior*, 18 (1), 17-54.

FERRAND L., SEGUI J. & GRAINGER J. 1996
Masked priming word and picture naming: the role of syllabic units. *Journal of Memory and Language*, 35, 708-723.

FERRAND L., SEGUI J. & HUMPREYS G.W. 1997
The syllable's role in word naming. *Memory & Cognition*, 25 (4), 458-470.

FERBACH-HECKER V. 2002
La perception auditive de l'anticipation des gestes vocaliques en français. Thèse de doctorat, Strasbourg II.

FOGASSI L. & FERRARI P.F. 2005
Mirror neurons, gestures and language evolution. *Interaction Studies*, 5 (3), 345-363.

FORSTER K.I. & DAVIS C. 1984
Repetition priming and frequency attenuation in lexical access. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 10, 680-698.

FOUGERON C. & JUN S.A. 1998
Rates effects on French intonation: prosodic organization and phonetic realization. *Journal of Phonetics*, 26, 45-69.

FOWLER C.A. 1980
Coarticulation of extrinsic timing. *Journal of Phonetics*, 8, 113-133.

FUJIMURA O. 1975
Syllable as a unit of speech recognition. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 23 (1), 82-86.

GALLISTEL C.R. 1980
The organisation of action: a new synthesis. Hillsdale, Erlbaum.

GAY T. 1974
Jaw movements during: a cinefluographic investigation. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 39-40, 219-229.

GAY T. 1977
Cinefluorographic and electromyographic studies of articulatory organization. In *Dynamic aspects of speech production*. Sawashima M & Cooper F.S. (Eds.). Tokyo, University Press, 85-102.

GAY T. 1978
Articulatory units: segments or syllables? *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 54, 53-63.

GERRITS E. & SCHOUTEN M.E.H. 2004
Categorical perception depends on the discrimination task. *Perception and Psychophysics*, 66 (3), 363-376.

GIULIVI S., ZMARICH C., VAYRA M. & FARNETANI E. 2005
Lo sviluppo fonetico in relazione ali stadi di produzione della parole: studio pilota di una bambina italiana. *Proceedings of Associazione Italiana Scienze della Voce*, Salerne, 472-490.

GOLDFIELD E.C. & WOLFF P.H. 2003
A dynamical systems perspective on infant action and its development. In *Theories of infant development*. Brenner J.G. & Slater A. (Eds.). Oxford, Blackwell Publishing, 3-29.

GOLDSTEIN U.G. 1980
An articulatory model for vocal tract if growing children. Thesis of Doctor Science, Cambridge, MIT Press.

GOLDSTEIN L. 2003
Emergence of discrete gestures. *Proceedings of the 15th International Congress of phonetics Sciences*, Barcelone, 85-88.

GRACCO V.L. & LOFQVIST A. 1993
Speech motor coordination and control: evidence from lip, jaw, and laryngeal movements. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 115-116, 17-32.

GRAMMONT M. 1946 *cité dans* KONOPCZYNSKI G. 1986
Traité de phonétique. Paris, Delagrave.

GREEN J.R., MOORE C.A., HIGASHIKAWA M. & STEEVE R.W. 2000
The physiologic development of speech motor control: lip and jaw coordination. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43, 239-255.

GREEN J.R. 2002
Orofacial movement analysis in infants and young children: new opportunities in speech studies. *The Standard*, 2, 1-3.

GREEN J.R., MOORE C.A. & REILLY K.J. 2002
The sequential development of jaw and lip control for speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 45, 66-79.

GREENBERG J. 1978 *cité dans* MEYNADIER Y. 2001
Some generalizations concerning initial and final consonants clusters. In *Universal of human language: phonology (2)*. Greenberg J. (Ed.). Stanford, University Press, 243-279.

GREGOIRE A. 1937
L'apprentissage du langage : les deux premières années. Gembloux, J. Duculot.

GROSJEAN F. & DESCHAMPS A. 1975 *cités dans* FOUGERON C. & JUN S.A. 1998
Analyse contrastive des variables temporelles de l'anglais et du français : vitesse de parole et variables composantes, phénomènes d'hésitation. *Phonetica*, 31, 144-184.

GUENTHER F.H. 1995
Speech sound acquisition, coarticulation, and rate effects in a neural network model of speech production. *Psychological Review*, 102, 594-201.

HAMMARBERG R. 1976 *cité dans* FOWLER C.A. 1980
The metaphysics of coarticulation. *Journal of Phonetics*, 4 (4), 353-363.

HARDCASTLE W.J. 1976
Physiology of Speech Production. London, Academic Press.

HARRIS J.W. 1969
Spanish phonology. Cambridge, MIT Press.

HAY L. 1978.
Accuracy of children on an open-loop pointing task. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 1079-82.

HEFFNER R.M.S. 1941
Notes on the length of vowels (IV). *American Speech*, 16, 204-207.

HOOPER J.B. 1972
The syllable in phonology theory. *Language*, 48 (3), 525-540.

JAKOBSON R. & HALLE M. 1956 *cités dans* MEYNADIER Y. 2001
Fundamentals in language. The Hague, Mouton.

JAKOBSON R. 1962
Selected writings: phonological studies. Gravenhage, Mouton et co's.

JAKOBSON R. 1963
Essais de linguistique générale. Paris, Les Editions de Minuit.

JAKOBSON R. 1969
Langage enfantin et aphasie. Paris, Les Editions de Minuit.

JENKINS R.L. 1941 *cité dans* SIGURD B. 1973
The rate of diadochokinetic movement of the jaw at the ages from seven to maturity. *Journal of Speech Disorders*, 6, 13-22.

JUN S.A. & FOUGERON C. 2000
A phonological model of French intonation. In *Intonation: Analysis, Modeling and Technology*. Botinis A. (Ed.). Dordrecht, Kluver Academic Publishers, 209-242.

JURGENS U. 1998
Speech evolved from vocalization, not mastication. Commentaire à MacNeilage P.F. (1998). The Frame/Content theory of evolution of speech production. *Behavioral and Brain Sciences,* 21, 519-520.

JUSCZYK P.W., GOODMAN M.B. & BAUMANN A. 1999
Nine-Months-Olds' attention to sound similarities in syllables. *Journal of Memory and Language*, 40 (1), 62-82.

KAHN D. 1976
Syllable-based generalisations in english phonology. Boomington, Indiana University Linguistics Club.

KAIL M. & FAYOL M. 2000
L'Acquisition du langage, Vol. I : l'émergence de la naissance à 3 ans. Paris, Presses Universitaires de France.

KATZ W.F. & ASSMAN P.F. 2001
Identification of children's and adult's vowels: intrinsic fundamental frequency, fundamental dynamics, and presence of voicing. *Journal of Phonetics*, 29 (1), 23-52.

KEATING P.A. 1983
Comments on the jaw and syllable structure. *Phonetica*, 11, 401-406.

KEATING P.A. 1990
The window model of coarticulation: articulatory evidence. In *Papers in laboratory phonology I*. Kingston J. & Beckman M.E. (Eds.). Cambridge, University Press, 451-470.

KENT R.D., CARNEY P. & SEVEREID L. 1974 *cités dans* FOWLER C.A. 1980
Velar movement and timing: evaluation of a model for binary control. *Journal of Speech and Hearing Research*, 17, 470-480.

KENT R.D. & MURRAY A.D. 1982
Acoustic features of infant vocalic utterances at 3, 6, and 9 months. *Journal of the Acoustical Society of America*, 72 (2), 353-365.

KENT R.D. 1983
The segmental organisation of speech. In *The production of speech*. MacNeilage P.F. (Ed.). New York, Springer Verlag, 57-89.

KERN S. & LANGUE J. 2000
Des premiers gestes aux premiers mots : le développement communicatif chez l'enfant de 8 à 30 mois. *Actes des 3e Journées Scientifiques de l'Ecole d'Orthophonie*, Lyon.

KERN S. 2001
Le langage en émergence. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 61 (13-1), 8-12.

KOLLIA H.B., GRACCO V.L. & HARRIS K.S. 1994
Articulatory organization of mandibular, labial, and velar movements during speech. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 117-118, 49-65.

KONOPCZYNSKI G.1985
Acquisition du langage. La période charnière et sa structuration mélodique. *Bulletin d'Audiophonologie : Annales Scientifiques, Médecine et Pharmacie. Université de Franche-Comté*, 1-2, 63-92.

KONOPCZYNSKI G. 1986a
Du pré-langage au langage : acquisition de la structuration prosodique. Thèse d'état, Université de Strasbourg II.

KONOPCZYNSKI G. 1986b
Vers un modèle développemental du rythme français : problèmes d'isochronie reconsidérés à la lumière des données de l'acquisition du langage. *Bulletin de l'Institut de Phonétique de Grenoble*, 15, 157-190.

KONOPCZYNSKI G. 1986c
Le bébé pré-linguistique et le rythme : pré-requis pour l'acquisition du langage. *Bulletin d'Audiophonologie : Annales Scientifiques, Médecine et Pharmacie. Université de Franche-Comté*, 110 (4), 279-306.

KONOPCZYNSKI G. & VINTER S. 1989
Analyse de la prosodie enfantine. *Bulletin d'Audiophonologie : Annales Scientifiques, Médecine et Pharmacie. Université de Franche-Comté*, 129 (3-4), 261-290.

KONOPCZYNSKI G. 1990
Le langage émergent : caractéristiques rythmiques. Hamburg, Buske.

KONOPCZYNSKI G. 1991
Le langage émergent II : aspects vocaux et mélodiques. Hamburg, Buske.

KOOPMANS VAN BEINUM F.J. 1993 *citée dans* DUCEY-KAUFMANN V. 2007
Cyclic effects on infant speech perception, early sound production, and maternal speech. *Proceedings of the Institute of Phonetic Sciences (IFA)*, 17, 65-78.

KOZHEVNIKOV V.A. & CHISTOVICH L.A. 1965 *cités dans* FOWLER C.A. 1980
Speech articulation and perception. *Joint Publication Research Service*, 30, 543.

KUEHN D.P. & MOLL K. 1976
A cinefluorographic investigation of CV and VC articulatory velocities. *Journal of Phonetics*, 4, 303-320.

KUHL P. 1991 *citée dans* NGUYEN N. 2005
Human adults and human infants show a "perceptual magnet effect" for the prototypes of speech categories, monkeys do not. *Perception and Psychophysics*, 50, 93-107.

KUHL P.K., WILLIAMS K.A., LACERDA F., STEVENS K.N. & LINDBLOM B. 1992
Linguistic experience alters perception in infants by 6 months of age. *Science*, 255, 606-608.

KUHL P.K. & MELTZOFF A.N. 1996
Infant vocalizations in response to speech: vocal imitation and developmental change. *Journal of the Acoustical Society of America*, 100, 2425-2438.

LADEFOGED P. 1958
Syllable and stress. *Miscellanea Phonetics*, 3, 1-14.

LALEVEE C. & VILAIN A. 2003
Development of speech frame control: a longitudinal study of oral/nasal control. *Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Sciences*, Barcelone, 2003-2006.

LASHLEY K.S. 1951 *citée dans* MACNEILAGE P.F. 1998
The problem of serial order in behavior. In *Cerebral mechanisms in behaviour: the Hixon Symposium*. Jeffress L.A. (Ed.). New York, Wiley, 112-136.

LECANUET J.P., GRANIER-DEFERRE C., DECASPER A.J., MAUGEAIS R., ANDRIEU A.J. & BUSNEL M.C. 1987 *cités dans* VAUCLAIR J. 2004 et BOYSSON-BARDIES (de) B. 1996
Perception et discrimination fœtale de stimuli langagiers, mises en évidence à partir de la réactivité cardiaque. Résultats préliminaires. *Compte-Rendu de l'Académie des Sciences de Paris,* Série III, 305, 161-164.

LECANUET J.P. & GRANIER-DEFERRE C. 1993 *cités dans* BOYSSON-BARDIES (de) B. 1996
Speech stimuli in the fetal environment. In *Developmental neurocognition: speech and face processing in the first year of life*. Boysson-Bardies (de) B., De Schonen S., Jusczyck P., MacNeilage P.F. & Morton J. (Eds.). Dordrecht, Boston, London, Kluwer Academic Publishers, 237-248.

LECANUET J.P., GRANIER-DEFERRE C. & SCHAAL B. 1993 *cités dans* BOYSSON-BARDIES (de) B. 1996
Continuité sensorielle transnatale. In *Les comportements du bébé : Expression de son savoir ?* Pouthas V. & Jouen F. (Eds.). Liège, Mardaga, 33-51.

LECANUET J.P. 1997
The potentiallity of the fœtus. *Neuropsychologia*, 1, 107-110.

LECANUET J.P. 2000
L'audition fœtale. *Journal de Puériculture*, 6, 349-358.

LE NORMAND M.T., DELFOSSE M.J., CRUNELLE D. & VITTRANT C. 1995
Le développement du langage dans une population de 52 enfants nés avant 36 semaines et de faible poids de naissance : résultats de 2 ans à 3 ans et ½, *A.N.A.E.*, *4-10.*

LEVELT W.J.M. 1989 *cité dans* FERRAND L., SEGUI J. & GRAINGER J. 1996
Speaking: from intention to articulation. Cambridge, MIT Press.

LEVITT A.G. & AYDELOTT UTMAN J.G. 1991
From babbling toward the sound systems of english and french: a longitudinal two-case study. *Haskins Laboratory Status Report on Speech Research*, 107-108, 41-62.

LIBERMAN P., BUHR R., KEATING P., HAMBY S.V. & LANDAHL K.H. 1976
Speech development in infants – vowel production. *Journal of the Acoustical Society of America*, 60, S1, S43.

LIBERMAN P. 1980 cité dans PALETHORPE P. *et al.* 1996
On the development of vowel production in young children. In *Child Phonology vol.* 1, Yeni-Komshian G.H., Kavanagh J.F. & Ferguson C.A. (Eds.). New-York, Academic Press, 113-142.

LINDBLOM B. 1963 *cité dans* SUSSMAN *et al.* 1991
On vowel reduction. *Report of The Royal Institute of Technology, Speech Transmission Laboratory, Stokcholm, Sweden*, 29.

LINDBLOM B. 1983 *cité dans* RHARDISSE N. & ABRY C.1994
Economy of speech gestures. In *The Production of Speech*. MacNeilage P.F. (Ed.). New York, Springer, 217-245.

LISKER L. 1978
Segment duration, voicing, and the syllable. In *Syllables and segments*. Bell A. & Hooper J.B. (Eds.). Amsterdam, North-Holland Publishing Company, 133-140.

LOCKE J.L. 1969
Experimentally-elicited articulatory behaviour. *Language and Speech*, 12 (3), 187-191.

LOCKE J.L. 1983 *cité dans* VALLEE N. & BOE L.J. 2001 et STOEL-GAMMON C. 1992
Phonological Acquisitiopn and Change. New York, Academic Press.

LOCKE J.L. 1993
Learning to speak. *Journal of Phonetics,* 21, 141-146.

LUND J.P. & ENOMOTO S. 1988 *cités dans* MACNEILAGE P.F. 1998
The generation of mastication by the central nervous system. In *Neural control of rhythmic movement*. Cohen A., Rossignol S. & Grillenr S. (Eds.). New York, Wiley, 41-72.

LUSCHEI E.S. & GOLDBERG L.J. 1981 *cités dans* MACNEILAGE P.F. 1998
Mastication and voluntary biting. In *Handbook of physiology: the nervous system, vol. 2*. Brooks V.B. (Ed.). Bethesda, American Physiological Society, 1237-1274.

MACNEILAGE P.F. 1994
Prolegomena to a theory of the sound pattern of the first spoken language. *Phonetica*, 51, 184-194.

MACNEILAGE P.F. 1998
The Frame/Content theory of evolution of speech production. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, 499-546.

MACNEILAGE P.F. & DAVIS B.L. 2000a
On the origin of internal structure of word forms. *Science*, 288, 527-531.

MACNEILAGE P.F. & DAVIS B.L. 2000b
Deriving speech from non speech: a view from ontogeny. *Phonetica*, 57, 284-296.

MACNEILAGE P.F. & DAVIS B.L. 2001
Motor mechanisms in speech ontogeny: phylogenetic, neurobiological and linguistic implications. *Current Opinion in Neurobiology*, 11, 696-700.

MACNEILAGE P.F. & DAVIS B.L. 2003
Intersyllabic and word-level regularities in early acquisition. *Proceedings of the 15th International Congress of Phonetics Sciences*, Barcelone, 383-386.

MADDIESON I. 1984 *cité dans* MACNEILAGE P.F. 1994
Patterns of sound. Cambridge, University Press.

MAEDA S. 1997
Labialization during /k/ followed by a rounded vowel is not anticipation but the auditorily required articulation. *Proceedings of the 13th International Congress of Phonetics Sciences*, San Francisco, Vol. I, 41-44.

MALECOT A., JOHNSON R. & KIZZIAR P.A. 1972 *cités dans* FOUGERON C. & JUN S.A. 1998
Syllabic rate and utterance length in French. *Phonetica*, 26, 235-251.

MARTINET A. 1970, 1991 *(3ème édition)*
Eléments de linguistique générale. Paris, Armand Colin.

MAYE J., WERKER J. F., GERKEN L. (2002)
Infant sensitivity to distributional information can affect phonetic discrimination. *Cognition*, 82, 101-111.

MEHLER J., DOMMERGES J., FRAUENFELDER U. & SEGUI J. 1981
The syllable's role in speech segmentation. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 20, 298-305.

MEHLER J., JUSCZYK P., LAMBERTZ G. & HALSTED N. 1988 *cités dans* VAUCLAIR J. 2004 et BOYSSON-BARDIES (de) B. 1996
A precursor of language acquisition in young infants. *Cognition*, 29, 143-178.

MEIER R.P., MGAVIN L., ZAKIA R.A.E. & WILLERMAN R. 1997
Silent mandibular oscillations in vocal babbling. *Phonetica*, 54, 153-171.

MESSISAS L., COUTINHO G. & ZERLING J.P. 2002
Onomatopées et redoublements syllabiques dans les mots d'enfants et d'adultes au Brésil. *Travaux de l'Institut de Phonétique de Strasbourg*, 32, 91-114.

MEYNADIER Y. 2001
La syllabe phonétique et phonologique : une introduction. *Travaux Interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage*, 20, 91-148.

MENARD L. 2002
Production et perception de la croissance du conduit vocal : variabilité, invariance et normalisation. Thèse de doctorat, Université Stendhal Grenoble III.

MILLOT J.L. & FILIATRE J.C. 1992
Les modifications de la fréquence cardiaque du nouveau-né en réponse à des stimulations acoustiques spécifiques et non spécifiques. *Bulletin d'Audiophonologie : Annales Scientifiques, Médecine et Pharmacie. Université de Franche-Comté*, 154 (3), 247-254.

MITCHELL P.R. & KENT R.D. 1990
Phonetic variation in multisyllable babbling. *Journal of Child Language*, 17, 247-265.

MOORE C.A., SMITH A. & RINGEL R.L. 1988
Task-specific organization of activity in human jaw muscles. *Journal of Speech and Hearing Research*, 31, 670-680.

MOORE C.A. & RUARK J. 1996 *cités dans* MOORE C.A. 2004
Does speech emerge from earlier appearing motor behaviors? *Journal of Speech Hearing Research*, 39, 1034-1047.

MOORE C.A. 2004
Physiologic development of speech production. In *Speech motor control in normal and disordered speech*. Maassen B., Kent R., Van Lieshout P. & Hulstijn W. (Eds.). Oxford, University Press, 191-209.

MORIMOTO T., INOUE T., NAKAMURA T. & KAWAMURA Y. 1984
Frequency dependant modulation of rythmic human jaw movements. *Journal of Dental Research*, 68, 1310-1314.

MUNHALL K.G. & JONES J. A. 1998
Articulatory evidence for syllabic structure. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, 524-525.

NGUYEN N. 2005
La perception de la parole. In *Phonologie et phonétique. Forme et substance*. Nguyen N., Wauquier-Gravelines S. & Durand J. (Eds.). Paris, Hermès, 425-447.

NITTROUER S., STUDDERT-KENNEDY M. & MACGOWAN R. 1988
The emergence of phonetic segments: evidence from the spectral structure of fricative-vowels syllabes spoken by children and adults. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 93-94, 1-32.

NITTROUER S. & WHALEN D.H. 1990
The perceptual effects of child-adult differences in fricative-vowel coarticulation. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 101-102, 177-193.

NITTROUER S. 1993
The emergence of mature gestural patterns is not uniform: evidence from an acoustic study. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36, 959-972.

ÖHMAN S.E.G. 1966 *cité dans* ROY J.P. 2004
Coarticulation in VCV utterances: spectrographic measurement. *Journal of the Acoustical Society of America*, 39, 151-168.

OLLER D.K. & STEFFENS M.L. 1994
Syllables and segments in infants vocalizations and young child speech. In *First and Second Language Phonology*. Yavas M. (Ed.). SanDiego, Singular Publishing Group, 45-61.

PALETHORPE S., WALES R., CLARK J.E. & SENSERRICK T. 1996
Vowel Classification in Children. *Journal of the Acoustical Society of America*, 100 (6), 3843-3851.

PASDELOUP V. 2004
Le rythme n'est pas élastique : étude préliminaire de l'influence du débit de parole sur la structuration temporelle. *Actes des 25e Journées d'Etude sur la Parole*, Fès, 397-400.

PASDELOUP V. 2005
Figures et fond dans la scène prosodique : leur résistance face aux variations du débit de parole. *Actes Interface Discours-Prosodie*, Aix-en-Provence.

PAVLOV I.P. 1927
Conditioned reflexes. Londres, Oxford University Press.

PELLIZER G. & HAUERT C.A. 1996.
Visuo-manual aiming movements in 6- to 10-year-old children: evidence for an asymmetric and asynchronous development of information processes. *Brain and Cognition*, 30, 175-193.

PERKELL J. 1969 *cité dans* FOWLER C.A. 1980
Physiology of speech production: results and implications of a quantitative cineradiographic study. Cambridge, MIT Press.

PERRIER P., LOEVENBRUCK H. & PAYAN Y. 1996
Control of tongue movements in speech: the equilibrium point hypothesis perspective. *Journal of Phonetics*, 24, 53-75.

PERRIER P., OSTRYS D. & LABOISSIERE R. 1998
The equilibrium point hypothesis and its application to speech motor control. *Bulletin de l'Institut de la Communication Parlée*, 4, 5-26.

PETERS J. 1998
On mandibular oscillation as a source of variation in infant vocalizations. Commentaire à MacNeilage, P.F. (1998). The Frame/Content theory of evolution of speech production. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, 527.

PETERSON G. & LEHISTE I. 1960
Duration of syllabic nuclei in English. *Journal of the Acoustical Society of America*, 51, 1296-1303.

PETITTO L.A., HOLOWKA S., SERGIO L. & OSTRY D. 2001
Babies hand move to the rhythm of language. *Nature*, 413 (6), 35-36.

PETITTO L.A., HOLOWKA S., SERGIO L., LEVY B. & OSTRY D. 2004
Baby hands that move to the rhythm of language: hearing babies acquiring sign languages babble silently on the hands. *Cognition*, 93, 43-73.

PHILIPPSON M. 1905
L'autonomie et la centralisation dans le système nerveux des animaux. *Travaux du Laboratoire de Physiologie, Instituts Solvay (Bruxelles)*, 7, 1-208.

PIKE K. 1945 *cité dans* WENK B.J. & WIOLAND F. 1982
The intonation of American English. Ann Arbor, University of Michigan Press.

PISKE T. 1997
Phonological organisation in early speech production: evidence for the importance of articulatory patterns. *Speech Communication*, 22, 279-295.

PULGRAM E. 1965
Consonant cluster, consonant sequence and the syllable. *Phonetica*, 13 (1-2), 76-81.

QUERLEU D., RENARD W. & VERSYP F. 1981 *cités dans* BOYSSON-BARDIES (de) B. 1996
Les perceptions auditives du fœtus humain. *Médecine et Hygiène*, 39, 2101-2110.

RAPHAEL L.J., DORMAN M.F. & GEFFNER D. 1980
Voicing-conditionned durational differences in vowels and consonants in the speech of three- and four-year old children. *Journal of Phonetics*, 8, 335-341.

REDICAN W.K. 1975 *cité dans* MACNEILAGE P.F. 1998
Facial expressions in nonhuman primates. In *Primate behavior: developments in field and laboratory research*, 4. Rosenblum L.A. (Ed.). New York, Academic Press, 103-194.

REDFORD M.A., MACNEILAGE P.F. & DAVIS B.L. 1997
Production contraints on utterance-final consonant characteristics in babbling. *Phonetica*, 54, 172-186.

RHARDISSE N. & ABRY C. 1994
La coarticulation mandibulaire comme principe d'organisation syllabique (Et si la mandibule syllabisait ALIS ?). *Actes des 20e Journées d'Etude sur la Parole*, Trégastel, 421- 425.

RIZZOLATTI G., FADIGA L., GALLESE V. & FOGASSI L. 1996
Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3, 131-141.

ROBB M. & BLEILE K. 1994 *cités dans* VALLEE N. & BOE L.J. 2001
Consonant Inventories of Young Children from 8 to 25 months, *Clinical Linguistics and Phonetics*, 8, 295-320.

ROCHET-CAPELLAN A. & SCHWARTZ J.L. 2006
L'implication des contraintes motrices dans « l'effet Labial-Coronal ». *Actes des 26e Journées d'Etude sur la Parole*, Dinard, 567- 570.

ROSITZKE H. 1939
Vowel length in general american speech. *Language*, 15, 99-109.

ROSSATO S., BADIN P. & BOUAOUNI F. 2003
Velar movements in French: an articulatory and acoustical analysis of coarticulation. *Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Sciences*, Barcelone, 3141-3144.

ROUG L. L., LANDBERG I. & LUNDBERG L.J. 1989
Phonetic development in early infancy: a study of four Swedish children during the first eighteen months of life. *Journal of Child Language*, 16, 19-40.

ROY J.P. 2004
Etude de la perception des gestes anticipatoires d'arrondissement par les sourds et malentendants. Thèse de doctorat, Strasbourg II.

RUARK J.L. & MOORE C.A. 1997 *cités dans* MOORE C.A. 2004
Coordination of lip muscle activity by two-year-old children during speech and nonspeech tasks. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40, 1373-1385.

SATO M. 2004
Représentations verbales multistables en mémoire de travail : vers une perception active des unités de parole. Thèse de doctorat, Strasbourg II.

SANDERS D.H. & ALLARD F. 1984, 1992 (2ème édition)
Les statistiques : une approche nouvelle. Saint-Laurent, Mc Graw Hill.

SCHWARTZ J.L., BOE L.J. & PAVIOT Y. 2000
Modèle pour l'intégration de représentations perceptives motrices dans l'acquisition du langage. *Actes des 23e Journées d'Etude sur la Parole*, Aussois, 401- 404.

SCHWARTZ J.L. 2001
Une théorie de la perception pour le contrôle de l'action. In *Percevoir : monde et langage. Invariance et variabilité du sens vécu*. Keller D., Durafour J.P., Bonnot J.F.P. & Sock R. (Eds.). Liège, Mardaga, 261-271.

SERRURIER A. & BADIN P. 2005
Toward a 3D articulatory model of velum based out MRI and CT images. *ZAS Papers in Linguistics*, 40, 195-211.

SERNICLAES W., VENTURA P., MORAIS J. & KOLINSKY R. 2005
Categorical perception of speech sounds in illiterate adults. *Cognition*, 9, B35-44.

SHAPIRO D.C., ZERNICKE R.F., GREGOR R.J. & DIESTEL J.D. 1981 *cités dans* SOCK R. 1998
Evidence for generalized motor programs using gait pattern analysis. *Journal of Motor Behavior*, 13, 33-47.

SHARKEY S.G. & FOLKINS J.W. 1985
Variability of lip and jaw movements in children and adults: implications for the development of speech motor control. *Journal of Speech and Hearing Research*, 28, 8-15.

SHILLER D.M., LABOISSIERE R. & OSTRY D.J. 2002
Relationship between jaw stiffness and kinematic variability in speech. *Journal of Neurophysiolgy*, 88, 2329-2340.

SIGURD B. 1973
Maximum rate and minimal duration of repeated syllables. *Language and Speech*, 16 (4), 373-395.

SIEVERS E. 1881 *cité dans* CLEMENTS G.N. 1992
GrundZüge der Phonetik. Liepzig, Breitkopf und Härtel.

SIMON P. 1965
Les consonnes françaises : mouvements et positions articulatoires à la lumière de la radiocinématographie. Thèse principale. Paris, Klincksieck.

SKINNER B.F. 1938
The behaviour organisms. New York, Appleton Century Crofts.

SMITH B.L. & GARTENBERG T.E. 1984
Initial observations concerning developmental characteristics of labio-mandibular kinematics. *Journal of the Acoustical Society of America*, 75 (5), 1599-1605.

SMITH B.L. & MACLEAN-MUSE A. 1987
Kinematic characteristics of postvocalic labial stop consonants produced by children and adults. *Phonetica*, 44, 227-237.

SMITH B.L. 1995
Variability of lip and jaw movements in the speech of children and adults. *Phonetica*, 52, 307-316.

SMITH A. & GOFFMAN L. 1998
Stability and patterning of speech movement sequences in children and adults. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 41, 18-30.

SOCK R. 1998
Organisation temporelle en production de la parole : émergence de catégories sensori-motrices phonétiques. Thèse d'Etat, Université Stendhal Grenoble III.

SOROKIN V.N., GAY T. & EWAN W.G. 1980
Biomechanical correlates of jaw movements. *Journal of the Acoustical Society of America*, 68, S1, S32.

STETSON R.H. 1928, 1951 *cité dans* MEYNADIER Y. 2001
Motor phonetics: a study of speech movements in action. Amsterdam, North-Holland Publishing Co.

STOEL-GAMMON C. 1985
Phonetic inventories, 15-24 months: a longitudinal study. *Journal of Speech and Hearing Research*, 28, 505-512.

STOEL-GAMMON C. 1988
Prelinguistic vocalisations of hearing-impaired and normally hearing subjects: a comparison of consonantal inventories. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 53, 302-315.

STOEL-GAMMON C. 1992a
Research on phonological development: recent advances. In *Phonological development: models, research, implications*. Ferguson C.A., Menn L. & Stoel-Gammon C. (Eds.). Timorium, York Press, 273-282.

STOEL-GAMMON C. 1992b
Prelinguistic vocal development: measurements and predictions. In *Phonological development: models, research, implications*. Ferguson C.A., Menn L. & Stoel-Gammon C. (Eds.). Timorium,York Press, 439-456.

STREETER L.A. 1976 *cité dans* VAUCLAIR J. 2004
Language perception of 2-month-old infants shows effects of both innate mechanisms and experience. *Nature*, 259, 39-41.

STUDDERT-KENNEDY M. 1985a
On learning to speak. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 82-83, 53-61.

STUDDERT-KENNEDY M. 1985b
Development of the speech perceptuomotor system. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 82-83,131-140.

STUDDERT-KENNEDY M. 1990
Language development from an evolutionary perspective. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 101-102, 14-27.

STUDDERT-KENNEDY M. & WITHNEY GOODELL E.1992
Gestures features and segments in early child speech. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 111-112, 89-102.

STUDDERT-KENNEDY M. 2000
Imitation and the emergence of segments. *Phonetica*, 57, 275-283.

SUSSMAN H.M., MACNEILAGE P.F., & HANSON R.J. 1973
Labial and mandibular dynamics during the production of bilabial consonants: preliminary observations. *Journal of Speech and Hearing Research*, 16, 397-420.

SUSSMAN H.M., MACCAFFREY H.A. & MATTHEWS S.A. 1991
An investigation of locus equations as a source of relational invariance for stop place categorization. *Journal of the Acoustical Society of America*, 90 (3), 1309-1325.

SUSSMAN H.M., MINIFIE F.D., BUDER E.H., STOEL-GAMON C. & SMITH J. 1996
Consonant-vowel interdependencies in babbling and early words: preliminary examination of locus equation approach. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 39, 424-433.

SUSSMAN H.M., DUDER C., DALSTON E. & CACCIATORE A. 1999
An acoustic analysis of the development of CV coarticulation: a case study. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42, 1080-1096.

TULLER B. & KELSO J.A.S. 1991
The production and perception of syllable structure. *Journal of Speech Hearing Research*, 34, 501-508.

VALLEE N. & BOE L.J. 2001
L'acquisition des structures sonores du langage par l'enfant et les tendances phonologiques des langues du monde. *Les Cahiers de l'ICP*, 8, 95-117.

VARELA F.J., THOMPSON E. & ROSCH E. 1991 *cités dans* SOCK R. 1998
The embodied mind: cognitive science and human experience. Cambridge, MIT Press.

VATIKIOTIS-BATESON E. & OSTRY O. 1995
Analysis of the dimensionality of jaw motion in speech. *Journal of Phonetics*, 23, 101-117.

VAUCLAIR J. 2004
Développement du jeune enfant : motricité, perception, cognition. Paris, Belin.

VAXELAIRE B. 1993
Etude comparée des effets des variations de débit -lent, rapide- sur les paramètres articulatoires, à partir de la cinéradiographie (sujets français). Thèse de doctorat, Strasbourg II.

VAXELAIRE B. & SOCK R. 1996
A cineradiographic and acoustic study of velar gestures in French consonant sequences as function of speech rate. *4th Speech Production Seminar*, Autrans, 65-68.

VAXELAIRE B. 1997
Contrôle du velum et nasalité en français. *Scolia*, 10, 39-60.

VAXELAIRE B., SOCK R., BONNOT J.F. & KELLER D. 1999
Anticipatory labial activity in the production of French rounded vowels. *Proceedings of the 14th International Congress of Phonetic Sciences*, San Francisco, 53-56.

VIHMAN M.M. 1978
Consonant harmony: its scope and function in child language. In *Universals of Human Language*. Greenberg J.H. (Ed.). Stanford, University Press, 281-334.

VIHMAN M.M., FERGUSON C.A. & ELBERT M. 1986
Phonological development from babbling to speech: common tendencies and individual differences. *Applied Psycholinguistic*, 7, 3-40.

VIHMAN M.M. & MILLER R. 1988
Words and babble at the threshold of lexical acquisition. In *The emergent lexicon: the child's development of a linguistic vocabulary*. Smith M.D. & Locke J.L. (Eds.). New-York, Academic Press, 151-183.

VIHMAN M.M. 1991
Ontogeny of phonetic gestures: Speech Production. In *Modularity and the motor theory of speech perception. Proceedings of a Conference to Honor A.M. Liberman.* Mattingly I.G. & Studdert-Kennedy (Eds.). Hillsdale NJ, Lawrence Erlbaum, 69-85.

VIHMAN M.M. 1992
Early syllables and the construction of phonology. In *Phonological development. Models, research, implications*. Ferguson C.A., Menn L. & Stoel-Gammon C. (Eds.). Timonium, York Press, 393-422.

VIHMAN M.M. 1993
Variable paths to early word production. *Journal of Phonetics*, 21, 61-82.

VIHMAN M.M. & BOYSSON-BARDIES (de) B. 1994
The nature and origins of ambient language influence on infant vocal production and early words. *Phonetica*, 51, 159-169.

VRIES (de) J.I.P., VISSER G.H.A. & PRECHTL H.F.R. 1985
The emergence of fetal behaviour quantitative aspects. *Early Human Development*, 12 (2), 99-120.

VYGOTSKI L.S. 1934
Pensée et langage, les concepts scientifiques. Paris, Messidor - Editions sociales. (Edition originale Myslenie i rec' traduit par F. Sève).

WAUQUIER-GRAVELINES S. 1996
Organisation phonologique et traitement de la parole continue. Thèse de doctorat, Paris VII.

WENK B.J. & WIOLAND F. 1982
Is French really syllable-timed? *Journal of Phonetics*, 10 (2), 193-216.

WERKER J.F. & TEES R.C. 1984 *cités dans* BOYSSON-BARDIES (de) B. 1996
Cross-language speech perception: evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behaviour and Development*, 7, 49-63.

WHALEN D.H., LEVITT A.G. & WANG Q. 1991
Intonational differences between the reduplicative babbling of French- and English-learning infants. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 107-108, 31-40.

WHALEN D.H., LEVITT A.G., HSIAO P. & SMORODINSKY I. 1994
Intrinsic IFO vowels in the babbling of 6-9 and 12 months old french and learning english infants. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 117-118, 15-24.

WRENCH A.A. 1999
An investigation of sagittal velar movement and its correlation with lip, tongue and jaw movement. *Proceedings of the 14th International Congress of Phonetic Sciences*, San Francisco, 435-438.

YAMASAKI H. 1998
Unité minimale de perception de la parole chez le nouveau-né : capacité de discrimination syllabique ou moraïque. *Actes des 22e Journées d'Etude sur la Parole*, Matigny, 279-282.

ZERLING J.P. 2000
Structure syllabique et morphologique des mots à caractère onomatopéique et répétitif en français. Etude phonétique. *Travaux de l'Institut de Phonétique de Strasbourg*, 30, 94-115.

INDEX DES AUTEURS

A

ABRY 17, 33, 57, 68, 72, 98, 121
ALLARD 104
ARNOLD 84
ASSMAN 164
AYDELOTT UTMAN 35, 36, 181

B

BACRI 120
BADIN 65
BAILLET 89
BECK 59, 144
BELASCO 82
BELL BERTI 81
BENGUEREL 81
BERTONCINI 40, 83
BEST 26, 40, 41
BICKLEY 143
BIJELJAC-BABIC 40, 83
BLAKE 35, 36
BLEILE 35
BOE 32, 36, 59, 177, 182, 183, 187
BOGNAR 61, 62
BOTHOREL 63
BOUDREAULT 145
BOYSSON-BARDIES ..26, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 44, 68, 97, 99, 143, 144, 164, 181, 187
BROWMAN 87
BUDER 42, 129

C

CALLIOPE 100, 164
CANAULT 97, 103, 146
CHISTOVICH 81
CHOMSKY 15, 32
CLEMENTS 79
COLLET 37
COWAN 81
CRYSTAL 70, 71
CUTLER 84

D

DARWIN 32, 54
DAVIS ..18, 26, 27, 28, 31, 32, 34, 35, 36, 41, 44, 85, 95, 97, 109, 112, 141, 142, 144, 164, 186, 187, 194, 196
DECASPER 38, 39
DEHAENE-LAMBERTZ 39, 89
DELATTRE 57, 80, 81
DELAUNAY 41
DELLATTRE 98
DELLWO 70
DESCHAMPS 70, 195
DUCEY-KAUFMANN 68, 143

E

EDWARDS 63
EGUCHI 181
EIMAS 39, 83
EJIRI 29
ENOMOTO 54

F

FABER 41
FANT 158
FAVILLA 109
FAYOL 26
FELDMAN 143
FERBACH-HECKER 81
FERRAND 78, 79
FERRARI 33
FIFER 39
FILIATRE 37
FOGASSI 33
FOLKINS 18, 66, 109, 119, 141, 143, 182
FORSTER 78
FOUGERON 70, 71, 195
FOWLER 85
FUJIMURA 82

G

GALLISTEL 68
GARTENBERG 69, 200
GAY 63, 64, 68, 87
GERRITS 89
GIULIVI 34, 35
GLIGA 89
GOFFMAN 46, 64, 70, 120, 200
GOLDBERG 54
GOLDFIELD 68
GOLDSTEIN 59, 86, 87
GOODELL 31, 86
GRACCO 47
GRAMMONT 145
GREEN46, 47, 66, 67, 109, 119, 120, 141, 143, 154, 182, 186
GREENBERG 79
GREGOIRE 35
GROSJEAN 70, 195

GUENTHER 41, 143

H

HALLE 84, 90
HAMMARBERG 85
HARDCASTLE 60, 61, 62, 63
HARRIS 81, 84, 87
HAUERT 109
HAY 109
HEFFNER 82
HIRSH 181
HOOPER 84
HOUSE 70, 71

J

JAKOBSON 17, 39, 84, 90
JENKINS 68
JONES 29, 154
JUN 70, 71, 195
JÜRGENS 32, 54, 68, 71
JUSCZYK 86

K

KAIL 26
KATZ 164
KEATING 80, 143
KELSO 34
KENT 26, 45, 71, 82, 157, 164, 181
KERN 25, 26, 34, 97
KOLLIA 30, 65
KONOPCZYNSKI 26, 29, 34, 36, 71, 97, 99, 109, 145, 157, 194
KOOPMANS 68, 143
KOZHEVNIKOV 81
KUEHN 70
KUHL 40, 42, 88, 119, 143

L

LABOISSIERE 59, 153
LADEFOGED 79
LALEVEE 30
LANDBERG 35, 97
LANGUE 26, 34
LASHLEY 56
LECANUET 37, 38, 143
LEHISTE 82
LENORMAND 146
LEVELT 79
LEVITT 36, 181
LIBERMAN 181
LINDBLOM 68, 80, 81
LISKER 82, 87
LOCKE 35, 41
LOFQVIST 47
LUNBERG 35, 97
LUND 54
LUSCHEI 54

M

MACLEAN-MUSE 70, 182, 200
MACNEILAGE 16, 18, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 41, 42, 44, 45, 48, 49, 53, 54, 57, 58, 67, 71, 73, 75, 79, 85, 90, 95, 97, 109, 112, 113, 114, 119, 141, 142, 144, 151, 162, 164, 177, 181, 186, 187, 193, 194, 195, 196
MADDIESON 36
MAEDA 59, 82, 177, 182, 183
MALECOT 70, 195
MARTINET 87
MAYE 41
MEHLER 39, 40, 83, 84
MEIER 27
MELTZOFF 42, 119, 143
MENARD 59, 182
MESSISAS 32, 187
MEYNADIER 77, 85
MILLER 144
MILLOT 37
MITCHELL 26
MOLL 70
MOORE 32, 54, 67
MORIMOTO 68, 114, 120, 142
MUNHALL 29, 154
MURRAY 157, 164, 181

N

NGUYEN 84
NITTROUER 45, 66, 143, 181

O

ÖHMAN 80
OLLER 88, 186
OSTRY 60

P

PALETHORPE 157, 181
PASDELOUP 70, 195
PAVLOV 144
PELLIZER 109
PERKELL 81
PERRIER 57, 98, 121, 143
PETERS 48
PETERSON 82
PETITTO 69, 72
PHILIPPSON 56
PIAGET 15
PIKE 145
PISKE 121, 141
PULGRAM 84

Q

QUERLEU 37

R

RAPHAEL 82
REDFORD 27, 35, 36, 97
REDICAN 55, 56
RHARDISSE 68, 72
RIZZOLATTI 32
ROBB 35
ROCHET-CAPELLAN 34, 72

ROSITZKE 82
ROSSATO 30
ROUG 35, 36, 97
ROY 17, 81
RUARK 54, 67

S

SANDERS 104
SATO 34
SAUSSURE 87
SCHOUTEN 89
SCHWARTZ 34, 41, 72, 119, 143
SERNICLAES 89
SERRURIER 65
SHAPIRO 56
SHARKEY 18, 66, 109, 119, 141, 143, 182
SHILLER 59
SIEVERS 79
SIGURD 70, 71
SIMON 154
SKINNER 144
SMITH 18, 46, 64, 66, 69, 70, 109, 120, 141, 182, 200
SOCK 17, 30, 34, 57, 98, 99, 143
SOROKIN 68
SPENCE 38, 39
STEFFENS 88, 186
STETSON 79, 86
STOEL-GAMMON 26, 34, 35, 42, 43, 97, 129
STREETER 39
STUDDERT-KENNEDY 31, 41, 47, 86, 88, 119, 120, 143, 146
SUSSMAN 30, 45, 64, 80, 164

T

TEES 40
TULLER 34

V

VALLEE 32, 36, 187
VATIKIOTIS-BATESON 60
VAUCLAIR 37, 38, 39, 143
VAXELAIRE 30, 70, 81, 195
VIHMAN 31, 34, 35, 41, 43, 44, 119, 129, 144, 187
VILAIN 30
VINTER 34
VRIES 37
VYGOTSKI 144

W

WAGNER 70
WAUQUIER-GRAVELINES 88
WENK 71, 99, 145
WERKER 40
WHALEN 43, 45, 157, 163
WIOLAND 71, 99, 145
WOLFF 68
WRENCH 65

Y

YAMASAKI 40

Z

ZERLING 32, 187

INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1. Récapitulatif des actions des muscles mandibulaires, selon les travaux de BOGNAR 1980, p. 98 62
Tableau 2. Comparaison des muscles engagés dans l'activité mandibulaire entre la conception de HARDCASTLE et celle de BOGNAR 62
Tableau 3. Récapitulatif des correspondances segmentales et sous-segmentales aux niveaux phonologique et phonétique 86
Tableau 4. Séances analysées – sujet 1 né le 15/11/2004. Le chiffre entre parenthèses correspond au nombre de réalisations (contenant au moins une occlusive) 103
Tableau 5. Séances analysées – sujet 2 né le 07/03/2004. Le chiffre entre parenthèses correspond au nombre de réalisations (contenant au moins une occlusive) 103
Tableau 6. Nombre d'occurrences analysées après l'exclusion des séquences monosyllabiques et bruitées 106
Tableau 7. Durée et variation du cycle 2 – Sujet 1 111
Tableau 8. Durée et variation du cycle 3 – Sujet 1 112
Tableau 9. Durée et variation du cycle 2 – Sujet 2 114
Tableau 10. Durée et variation du cycle 3 – Sujet 2 116
Tableau 11. Evolution de V au sein du cycle 2 – Sujet 1 121
Tableau 12. Evolution de V au sein du cycle 3 – Sujet 1 123
Tableau 13. Evolution de V au sein du cycle 2 – Sujet 2 125
Tableau 14. Evolution de V au sein du cycle 3 – Sujet 2 126
Tableau 15. Evolution de V et C – cycle 2 – Sujet 1 130
Tableau 16. Evolution de V et C – cycle 3 – Sujet 1 132
Tableau 17. Evolution de V et C – cycle 2 – Sujet 2 135
Tableau 18. Evolution de V et C – cycle 3 – Sujet 2 137
Tableau 19. Age des sujets recrutés pour l'expérience pilote 155
Tableau 20. Age des sujets recrutés pour l'expérience définitive 156
Tableau 21. Sujets exploitables. « + » indique le nombre de sujets ayant produit plus de 50 syllabes, «-» ceux qui ont produit entre 10 et 49 syllabes et « 0 » ceux que nous n'avons pas exploités faute de réalisations 161
Tableau 22. Nombre d'occurrences syllabiques des sujets exploitables détectées au niveau acoustique 161
Tableau 23. Estimation de la précision de la mesure de F2 par sujet en fonction de la taille de la fenêtre 164
Tableau 24. Nombre de syllabes produites *vs.* nombre d'échantillons analysables pour chaque sujet 170
Tableau 25. Rapport moyen « Delta F2/Delta mandibule » pour les 15 sujets retenus 178
Tableau 26. Valeurs formantiques obtenues pour la voyelle [a] à différents niveaux d'élévation mandibulaire 184

INDEX DES FIGURES

Figure 1. *Schéma récapitulatif du processus de développement du contrôle moteur au regard de la théorie « Frame then Content » de MACNEILAGE (1998)* 49
Figure 2. *Vue latérale externe du cortex gauche marquant, entre autres, les aires impliquées dans la parole ainsi que leurs homologues correspondant à la classification de Brodmann (adaptée de* http://www.lecerveau.mcgill.ca/flash/a/a_10/a_10_cr/a_10_cr_lan/a_1) 55
Figure 3. *Rapport entre les dimensions relatives du squelette visuo-facial du nouveau-né (gauche) et celles de l'adulte (droite) proposé par BECK 1996, p. 268* 59
Figure 4. *Schéma présentant les trois axes de translation et de rotation de la mandibule (VATIKIOTIS-BATESON & OSTRY 1995, p. 102)* 60
Figure 5. *Vue latérale de la mandibule présentant ses principales parties structurelles et les mouvements de la mandibule quand les différents muscles mandibulaires se contractent par rapport à leur position fixe (HARDCASTLE 1976, p. 107)* 61
Figure 6. *Coupe sagittale du conduit vocal* (http://www.cortexity.com/nicksblog/images/pharynx.jpg) 64
Figure 7. *Indication de la variabilité de la mandibule (J), de la lèvre inférieure (LL) et de la lèvre supérieure (UL). Les barres verticales sont les indices de cette variabilité (GREEN et al. 2002)* 67
Figure 8. *Formes spectrographiques des consonnes intervocaliques (DELATTRE 1970, p. 36)* 81
Figure 9. *Segmentation du cycle 1* 98
Figure 10. *Segmentation du cycle 2* 99
Figure 11. *Segmentation du cycle 3* 100
Figure 12. *Gaussiennes représentant l'évolution de la durée du cycle 2 chez le Sujet 1 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois* 111
Figure 13. *Gaussiennes représentant l'évolution de la durée du cycle 3 chez le Sujet 1 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois* 113
Figure 14. *Gaussiennes représentant l'évolution de la durée du cycle 2 chez le Sujet 2 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois* 115
Figure 15. *Gaussiennes représentant l'évolution de la durée du cycle 3 chez le Sujet 2 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois et 14 mois* 117
Figure 16. *Ellipses de dispersion de l'évolution de la proportion vocalique au sein du cycle 2 chez le Sujet 1 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois* 122
Figure 17. *Ellipses de dispersion de l'évolution de la proportion vocalique au sein du cycle 3 chez le Sujet 1 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois* 124
Figure 18. *Ellipses de dispersion de l'évolution de la proportion vocalique au sein du cycle 2 chez le Sujet 2 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois* 126
Figure 19. *Ellipses de dispersion de l'évolution de la proportion vocalique au sein du cycle 3 chez le Sujet 2 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11mois, 12 mois et 14 mois* 127
Figure 20. *Ellipses de dispersion des durées consonantiques et vocaliques dans le cycle 2 pour le Sujet 1 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois* 131

Figure 21. *Evolution du rapport Voyelle/Consonne entre 9 mois et 14 mois chez le Sujet 1 dans le Cycle 2* 132
Figure 22. *Ellipses de dispersion des durées consonantiques et vocaliques dans le cycle 3 pour le Sujet 1 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois*..... 133
Figure 23. *Evolution du rapport Voyelle/Consonne entre 9 mois et 14 mois chez le Sujet 1 dans le Cycle 3* 134
Figure 24. *Ellipses de dispersion des durées consonantiques et vocaliques dans le cycle 2 pour le Sujet 2 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois, 13 mois et 14 mois*..... 136
Figure 25. *Evolution du rapport Voyelle/Consonne entre 9 mois et 14 mois chez le Sujet 2 dans le Cycle 2* 137
Figure 26. *Ellipses de dispersion des durées consonantiques et vocaliques dans le cycle 3 pour le Sujet 2 aux stades de 9 mois, 10 mois, 11 mois, 12 mois et 14 mois* 138
Figure 27. *Evolution du rapport Voyelle/Consonne entre 9 mois et 14 mois chez le Sujet 2 dans le Cycle 3* 139
Figure 28. *Comparaison de l'uniformité de notre échantillon de sujets par rapport à une distribution théorique uniforme selon le test de Kolmogorov et Smirnov*..... 157
Figure 29. *Equipement initialement utilisé après mise à échelle* 159
Figure 30. *Troisième modification de l'équipement, survenue au cours de l'expérience définitive. Le support rigide triangulaire a été supprimé, le marquage de la lèvre supérieure a été abandonné* 160
Figure 31. *Capture d'écran d'un signal acoustique sous Praat® désignant le premier repérage préalable au découpage. La première ligne du TextGrid correspond au marquage de la séquence, la seconde à celui de la syllabe* 162
Figure 32. *Configuration du listing des formants et des bandes passantes correspondantes* 166
Figure 33. *Configuration de la fenêtre ouverte par le script Praat® pour la segmentation des trajectoires simples de F2* 166
Figure 34. *L'absence de marquage s'explique ici par l'absence de formant puisque l'on se trouve dans le partie consonantique de la séquence [ta]*..... 167
Figure 35. *Délimitation de F2 à l'intérieur de l'intervalle de visibilité d'Optotrak* 167
Figure 36. *Délimitation de F2 à l'extérieur de l'intervalle de visibilité d'Optotrak*..... 168
Figure 37. *Cas de figure où l'une des bornes de marquage de F2 se trouve à l'intérieur de l'espace de visibilité de la mandibule et l'autre à l'extérieur* 168
Figure 38. *Exemple de délimitation de F2 au sein de laquelle apparaît un changement de trajectoire* 169
Figure 39. *Exemple de l'étendue du déplacement de la langue par rapport au déplacement de la mandibule chez le sujet 5 et le sujet 8* 171
Figure 40. *Evolution des rapports Delta F2/Delta mandibule avec l'âge* 180
Figure 41. *Evolution des plages fréquentielles de F2 entre 0 et 21 ans d'après les résultats obtenus par BOE et MAEDA (1997) à partir du modèle VLAM (MENARD 2002, p. 108)*.. 182
Figure 42. *Configuration de la Voyelle [a] à 8 mois, 10 mois et 12 mois en fonction de la variation du degré d'aperture de la mandibule*..... 184
Figure 43. *Superposition des résultats obtenus pour les trois voyelles testées à 8 mois, 10 mois et 12 mois* 185

INDEX DES NOTIONS

Acquisition du langage..... 15, 16, 17, 18, 26, 28, 105, 109, 120, 129, 140, 144, 146, 186
Autonomie articulatoire..... 31
Babillage canonique 17, 26, 28, 29
Babillage redupliqué 26, 49, 188, 194
Babillage varié..... 26, 28, 47, 50, 120, 142, 173, 175, 194
Broca 32, 33, 55
Cadre 16, 17, 23, 26, 27, 28, 31, 32, 33, 35, 36, 42, 44, 45, 48, 49, 53, 55, 56, 58, 63, 67, 68, 69, 75, 79, 85, 88, 90, 95, 96, 97, 99, 107, 109, 110, 114, 118, 141, 142, 145, 146, 155, 161, 162, 181, 186, 193, 195, 199
Cadre antérieur 31
Cadre postérieur 31
Cadre pur 31, 44
Content 16, 23, 26, 32, 36, 49, 58, 109, 181, 199
Cooccurrence..... 28, 29, 31, 35, 36, 44, 45, 48, 153
Cortex pré-moteur 55
Cycle mandibulaire18, 23, 26, 27, 30, 55, 69, 70, 71, 72, 79, 113, 114, 116, 118, 119, 120, 129, 139, 141, 145, 161, 162, 194, 196
Cyclicité 28, 29, 53, 56, 57, 58, 79, 145, 193, 194
Déplacement articulatoire 27, 64
Déplacements articulatoires 25, 47, 198
Développement du langage 15, 42, 103
Dominance du cadre..... 18, 31, 44, 144
Frame 16, 23, 26, 32, 36, 49, 58, 109, 181, 199
Gestes articulatoires 49, 75, 109, 142, 143, 144, 145, 181, 187, 200, 201
Habileté motrice 36, 44, 47, 48, 49, 119, 178
Habiletés motrices 23, 25, 54, 109, 175, 186, 187, 193, 194, 200, 201
Imitation 41, 42, 143, 145
Inertie articulatoire 29, 196
Isosyllabicité..... 29
Mastication 32, 54, 68, 69, 118, 120
Motricité 66, 69, 120
Mouvements articulatoires 18, 63, 65, 70, 85, 177
Neurones miroirs 32
Ontogenèse 32
Ontogénétique 181, 193
Optotrak 2, 29, 60, 69, 72, 153, 154, 157, 159, 160, 162, 166, 167, 168, 169, 172, 189, 199, 201
Patron moteur 54, 58
Patron syllabique 16, 30, 193, 195
Patrons moteurs 53, 120
Phonotactique 84, 144

Phylogenèse 32
Phylogénétique 32, 51, 55, 181
Rythmicité 18, 29, 36, 97, 107, 112, 117, 119, 144
Schéma associatif 186
Schémas associatifs 31
Spectre 100, 157, 163, 164
Succion non nutritive 38, 39, 68, 83
Système moteur 54, 85, 119, 196, 201
Unité syllabique 73, 75, 78, 193, 195
Variation temporelle 18, 29, 66, 91, 93, 95, 104, 106, 107, 109, 110, 112, 113, 114, 117, 118, 119, 120, 121, 129, 133, 135, 138, 139, 141, 144, 145, 146, 194, 196, 199
Visuo-facial 59
Vocalisation 26, 33, 44, 54, 120

ANNEXES

1. *Annexe* 1 Etude du cycle 1 (expérience 1)
2. *Annexe 2* Procédure administrative de l'expérience 2
3. *Annexe 3* Résultats de la simulation VLAM
4. *Annexe 4* Les publications
5. *Annexe 5* Les communications

Annexe 1 : étude du cycle 1 (Expérience 1)

1. Evolution temporelle du cycle

11. Sujet 1 (Pierre)

Tableau a. Durée et variation du cycle 1 – Sujet 1
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport

	Cycle 1 (ms)		
	M	*ET*	*R*
10 mois (6)	594.17	224.58	0.38
11 mois (6)	368.68	135.97	0.37
12 mois (24)	424.52	188.34	0.44
13 mois (11)[23]	265.7	39.7	0.15
14 mois (2)	437.95		

Il faut aborder les résultats obtenus avec prudence car ils ne sont pas toujours pas significatifs. Rappelons que peu d'occurrences ont pu être exploitées dans la mesure où la détection de l'explosion sur nos signaux n'a pas été systématiquement possible.

On note tout de même une évolution de la stabilité entre 11 et 14 mois. Mais elle n'est pas constante. Par exemple, un pic de stabilité est perceptible à 13 mois (*cf.* figure a), mais il chute à 14 mois. Attention, dans le cas de la période de 14 mois seules 2 occurrences ont été exploitées, à 9 mois aucune occurrence n'est apparue. Nous n'insisterons pas sur ce cycle (*cf.* tableau a).

[23] Deux valeurs n'ont pas été prises en considération : 1237.1 ms et 1343.5 ms.

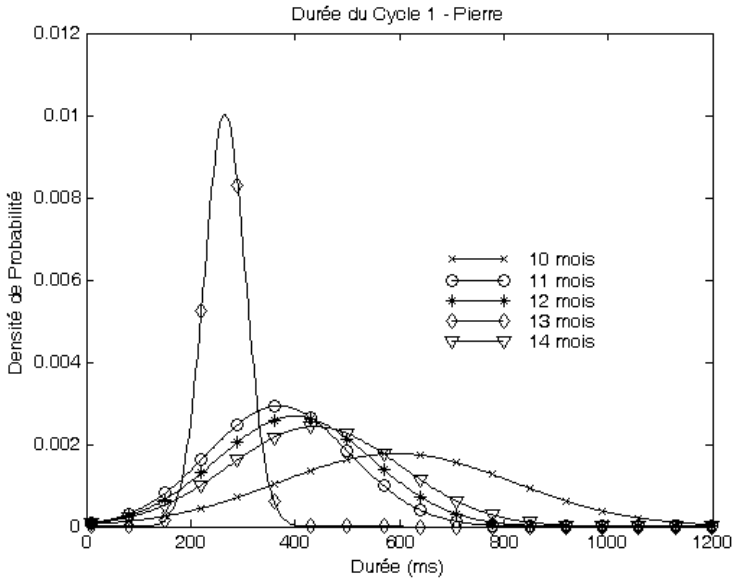


Figure a. *Gaussiennes représentant l'évolution de la durée du cycle 1 chez le Sujet 1 entre 10 mois et 14 mois.*

12. Sujet 2 (Robin)

Tableau b. Durée et variation du cycle 1 - Sujet 2
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport

	Cycle 1 (ms)		
	M	*ET*	*R*
9 mois (25)	302.73	48.56	0.16
10 mois (10)	325.33	63.47	0.19
11 mois (2)	323.82	58.56	0.18
12 mois (6)	265.17	36.22	0.14
14 mois (4)	276.6	60.09	0.22

Tout au long de la période analysée la durée du cycle 1 semble se maintenir autour de 300 ms (*cf.* figure b). Quelques légères hausses et quelques légères baisses peuvent être mentionnées, mais aucune tendance générale ne peut être dégagée.

La stabilité observée à 9 mois chute et la durée du cycle devient plus variable à 10 mois. Le cycle variant initialement entre 425.8 ms et 241.4 ms à 9 mois oscille entre 405.5 ms et 204.4 ms au stade suivant (10 mois), les écarts-types respectifs étant de 39.24 ms et 63.47 ms. Entre 10 et 12 mois, les productions semblent suivre une nouvelle stabilisation (*cf.* tableau b), mais cette évolution est interrompue à 14 mois. La pertinence des résultats obtenus à cet âge est à discuter, étant donné que seulement 4 cycles ont été retenus. L'analyse des cycles 2 et 3 nous donnera des conclusions certainement plus robustes.

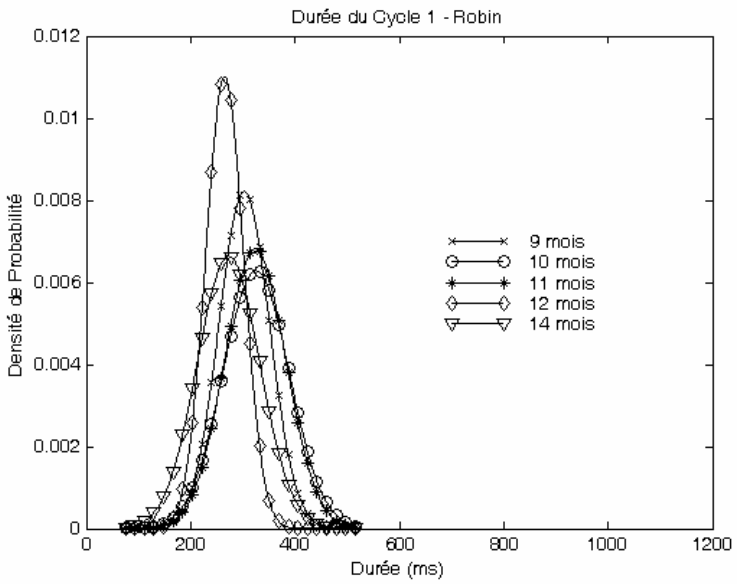


Figure b. *Gaussiennes représentant l'évolution de la durée du cycle 1 chez le Sujet 2 entre 10 mois et 14 mois*[24].

2. Progression de la voyelle au sein des cycles

21. Sujet 1 (Pierre)

Tableau c. Evolution de V au sein du cycle 1 – Sujet 1 – 10-14 mois
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport

		9 mois			10 mois (6)			11 mois (6)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
Cycle 1 (ms)					594.17	224.58	0.38	368.68	135.97	0.37
V	**ms**				457.2	265.2	0.57	220.15	184.59	0.84
	%				71.66	23.73	0.33	57.37	28.59	0.5
		12 mois (24)			13 mois (11)[25]			14 mois (2)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
Cycle 1 (ms)		424.52	188.34	0.44	265.7	39.7	0.15	437.95		
V	**ms**	195.19	125.01	0.64	132.82	34.27	0.26			
	%	44.16	14.05	0.31	49.6	8.14	0.16			

Rappelons que le cycle 1 n'est pas véritablement fiable compte tenu du faible nombre de mesures obtenues. Néanmoins, l'organisation temporelle de l'élément vocalique aborde entre 10 et 11 mois une phase d'accroissement de la variabilité à laquelle succédera une stabilisation progressive entre 11 mois et 13 mois (*cf.* figure c).

La durée moyenne de la phase d'ouverture du conduit vocal diminue constamment de 10 mois à 13 mois. En effet, la durée vocalique moyenne s'élève à 457.2 ms à 10 mois pour

[24] Rappelons que le stade de 13 mois n'a pas été inclus pour le sujet 1 faute du nombre d'occurrences (6 occurrences pour les cycles 1 2 et 3).

[25] Une occurrence vocalique qui dépassait 1000 ms fut considérée comme erratique étant donnée que les productions oscillent majoritairement entre 100 et 150 ms.

atteindre 132.82 ms à 13 mois. Enfin, du point de vue relatif, elle vient couvrir 45-50% de l'espace cyclique à 12-13 mois (*cf.* tableau c).

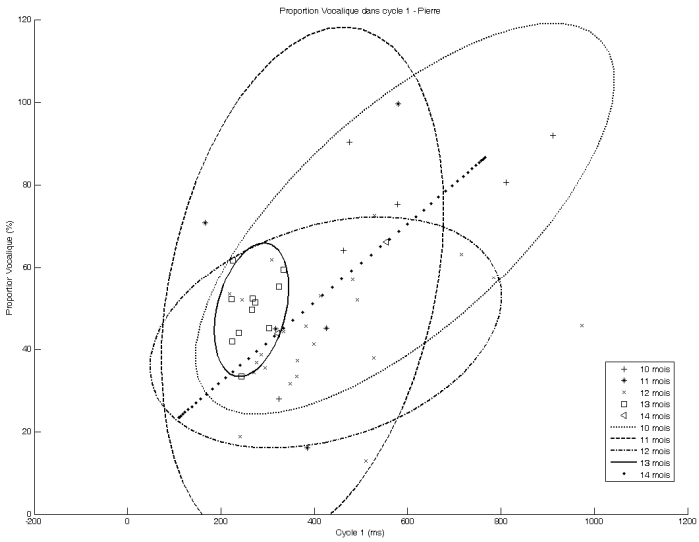


Figure c. *Ellipses de dispersion de l'évolution de la proportion vocalique au sein du cycle 1 chez le Sujet 1 entre 10 mois et 14 mois.*

22. Sujet 2 (Robin)

Tableau d. Evolution de V au sein du cycle 1 – Sujet 2- 10-14 mois
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport

		9 mois (25)			10 mois (10)			11 mois (12)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
Cycle 1 (ms)		302.73	48.56	0.16	325.33	63.47	0.19	323.82	58.56	0.18
V	**ms**	122.58	43.53	0.35	134.44	75.33	0.56	142.79	44.4	0.31
	%	40.72	14.57	0.36	38.76	16.45	0.42	44.97	12.5	0.28
		12 mois (6)			13 mois			14 mois (4)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
Cycle 1 (ms)		265.17	36.22	0.14				272.6	60.09	0.22
V	**ms**	96.6	33.39	0.35				86.03	40.99	0.48
	%	36.23	9.44	0.26				30.25	9.02	0.3

Entre 9 et 10 mois, la variabilité de l'élément vocalique évolue, l'ellipse de dispersion s'étend dans son axe vertical et les écarts-types, des valeurs absolues ou des proportions de V au sein du cycle passent respectivement de 43.53 ms à 75.33 ms et de 14.57% à 16.45% (*cf.* tableau d).

Entre 10 mois et 14 mois, l'évolution est moins nette, mais l'on entrevoit tout de même une tendance générale allant dans le sens de la diminution de la variabilité. L'élément vocalique semble donc se tourner vers une nouvelle phase de stabilisation. La proportion vocalique semble alors privilégier les valeurs autour de 35-40%, mais il est difficile d'associer

le cycle 1 à un schéma évolutif quelconque, compte tenu du faible nombre d'occurrences observé (*cf.* figure d).

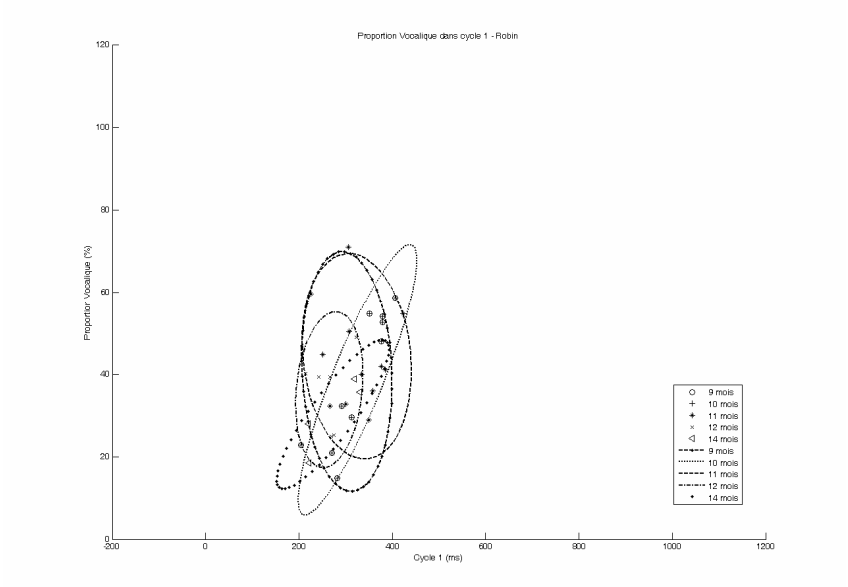


Figure d. *Ellipses de dispersion de l'évolution de la proportion vocalique au sein du cycle 1 chez le Sujet 2entre 9 mois et 14 mois.*

3. Le rapport V/C

31. Sujet 1 (Pierre)

Tableau e. Evolution de V et C – cycle 1– Sujet 1 – 9-14 mois
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport

		9 mois			10 mois (6)			11 mois (6)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
V	**ms**				457.2	265.2	0.57	220.15	184.59	0.84
C	**ms**				136.97	67.69	0.49	148.53	119.34	0.80
		12 mois (24)			13 mois (11)			14 mois (2)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
V	**ms**	195.19	125.01	0.64	132.82	34.27	0.26	253.85		
C	**ms**	229.33	100.36	0.44	132.97	22.41	0.17	184.1		

En élargissant notre champ d'investigation, nous nous apercevons que la voyelle est toujours plus variable que la consonne tout au long de la période couverte (*cf.* figure e).

La voyelle et la consonne subissent les plus grandes variations à 11 mois (*cf.* tableau e), pour se stabiliser peu à peu au cours des stades ultérieurs.

L'interprétation des résultats obtenus pour le cycle 1 reste cependant difficile.

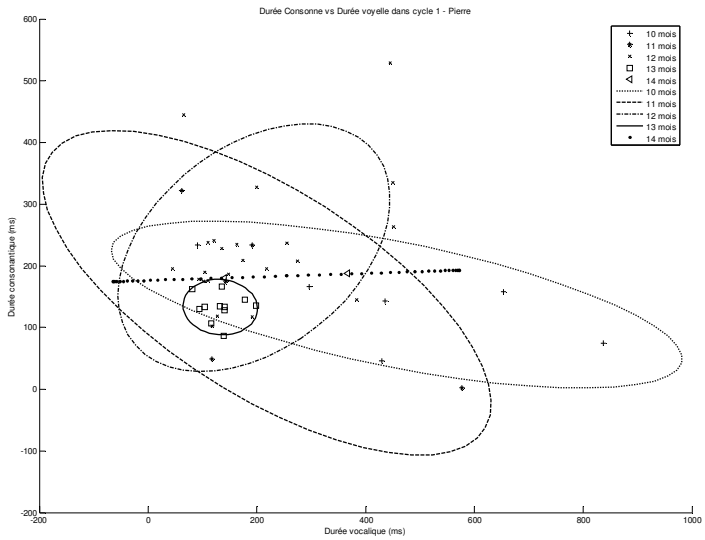


Figure e. *Ellipses de dispersion des durées consonantiques et vocaliques dans le cycle 1 pour le Sujet 1 entre 10 et 14 mois.*

32. Sujet 2 (Robin)

Tableau f. Evolution de V et C – cycle 1 – Sujet 2 – 9-14 mois
M : moyenne ; ET : écart-type ; R : rapport

		9 mois (25)			10 mois (10)			11 mois (12)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
V	**ms**	122.58	43.53	0.35	134.44	75.33	0.56	142.79	44.97	0.31
C	**ms**	180.16	58.19	0.32	190.84	27.81	0.15	181.03	52.79	0.29
		12 mois (6)			13 mois			14 mois (4)		
		M	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*	*M*	*ET*	*R*
V	**ms**	96.6	33.39	0.35				86.03	40.99	0.18
C	**ms**	168.57	30.50	0.18				186.58	22.77	0.12

L'étude des écarts-types (*cf.* tableau f) du cycle 1 indique que la voyelle est manifestement l'élément le plus variable, quelle que soit la tranche d'âge observée. Néanmoins, si l'on considère l'ellipse de dispersion correspondante, il apparaît que les valeurs vocaliques se concentrent majoritairement autour de 100 et 200 ms, tandis que la consonne semble privilégier un intervalle temporel plus important situé entre 100 et 300 ms. Ce phénomène que nous avions soulevé chez le sujet 1, mais très rapidement écarté à cause du nombre peu important d'occurrences, est peut être à creuser, et devra être confirmé dans les cycles 2 et 3 considérés plus fiables.

Le pic de variabilité vocalique atteint son maximum à 10 mois, puis suit une tendance générale à la diminution au cours des stades suivants. La consonne affiche des maximums de variation à 9 mois, mais sa durée moyenne est plus élevée que celle de la voyelle. Par conséquent, le pic de variation apparaît plutôt à 11 mois et se réduira par la suite (*cf.* figure f).

Enfin, les deux composantes du cycle vont toutes deux se stabiliser entre 100 et 200 ms à la fin de l'investigation.

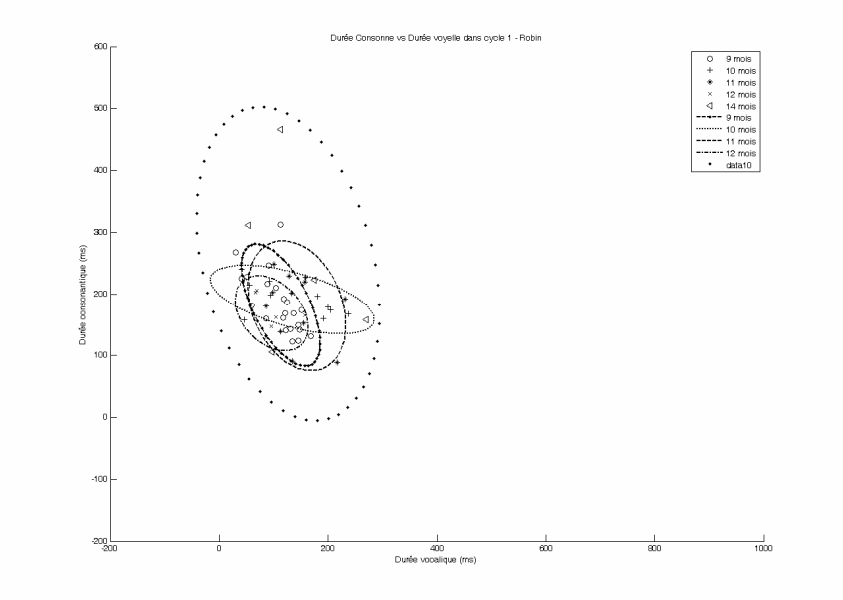


Figure f. *Ellipses de dispersion des durées consonantiques et vocaliques dans le cycle 1 pour le Sujet 2 entre 9 et 10 mois*

Annexe 2 : procédure administrative de l'expérience 2

MAX PLANCK INSTITUT FÜR KOGNITIONS- UND NEUROWISSENSCHAFTEN
ARBEITSBEREICH PSYCHOLOGIE
Entwicklung von Kognition und Handlung
Amalienstrasse 33 D-80799 München

MPI für Kognitions- und Neurowissenschaften, Amalienstraße 33, 80799 München
«Titel_Mutter» «Vorname_Mutter» «Nachname_Mutter»
«Titel_Vater» «Vorname_Vater» «Nachname_Vater»
«Straße»
«PLZ» «Ort»

11. September 2007

Weitere Informationen zu unserer Babystudie

Liebe Frau «Titel_Mutter» «Nachname_Mutter», lieber Herr «Titel_Vater» «Nachname_Vater»,

herzlichen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben, mit Ihrem Sohn «Vorname_Kind» an einer Studie in unserem Institut teilzunehmen. Wir erwarten Sie zum vereinbarten Termin am

Datum um Uhrzeit.

Bitte sagen Sie uns Bescheid, wenn Sie kurzfristig verhindert sind. Ebenso wäre es sehr nett, wenn Sie uns darüber informieren würden, wenn Sie doch k/ein Geschwisterkind mitbringen.

Als Anlage zu diesem Brief finden Sie zwei Informationsblätter. Das eine Infoblatt enthält nähere Informationen über die Studie sowie über den konkreten Ablauf hier bei uns. Das zweite Infoblatt klärt Sie über Fragen des Datenschutzes auf. Wir möchten Sie bitten, diese Informationen in Ruhe zu Hause zu lesen und jeweils eine Kopie unterschrieben zu dem vereinbarten Termin bei uns mitzubringen. Die zweite Kopie ist für Ihre Unterlagen.

Des weiteren liegt dem Brief eine Beschreibung bei, wie Sie uns per U-Bahn oder Auto finden. Falls Sie noch Fragen haben, können Sie sich jederzeit an Gabriele Karn (**Tel.** 089/38602-311 - **Bürozeiten:** Mo 12-17, Di/Mi/Do 8:30-13:30; **email:** baby@cbs.mpg.de) wenden. Oder schauen Sie ins **Internet**: http://www.psy.mpg.de/INCA/.

Vielen Dank, wir freuen uns schon auf Sie und auf Ihr Baby!

Mit freundlichen Grüßen

(Dr. Gisa Aschersleben) (Dr. Petra Hauf)

FORSCHUNGSGRUPPE ENTWICKLUNG VON KOGNITION UND HANDLUNG
PD DR. GISA ASCHERSLEBEN · DR. PETRA HAUF
Amalienstrasse 33 · D-80799 München · ☎ 089-38602-311 · Fax: 089-38602-199 · e-mail: baby@cbs.mpg.de

«Titel_Mutter»
«Vorname_Mutter»
«Nachname_Mutter»
«Titel_Vater»
«Vorname_Vater»
«Nachname_Vater»
«Straße»
«PLZ» «Ort»

ausgehändigt am: 11. September 2007

MAX PLANCK INSTITUT FÜR KOGNITIONS- UND NEUROWISSENSCHAFTEN
ARBEITSBEREICH PSYCHOLOGIE
Entwicklung von Kognition und Handlung
Amalienstrasse 33 D-80799 München

Wichtige Informationen zum Datenschutz

Bitte lesen Sie sich diese Informationen vor dem vereinbarten Termin in Ruhe durch und bringen Sie ein unterschriebenes Exemplar zum vereinbarten Termin mit.

Die Videoaufnahmen, die wir von Ihrem Sohn «Vorname_Kind» in dieser Studie machen, werden von den Mitarbeiterinnen unserer Forschungsgruppe ausgewertet und archiviert. Hierzu wird das Videomaterial anonymisiert, d.h. es wird mit einer Kodierungs-Nummer versehen und nur unter dieser Nummer gespeichert. Die Tabelle, mit deren Hilfe es möglich ist, den Namen Ihres Kindes zu der Kodierungs-Nummer zuzuordnen, wird verschlossen aufbewahrt und ist nur bei begründetem wissenschaftlichem Interesse zugänglich.

Die personenbezogenen Daten Ihres Kindes werden nur zum Zwecke eventueller Nacherhebungen gespeichert. Die Daten Ihres Kindes werden aber nicht an Dritte übermittelt, und sie sind auch nicht im Internet zugänglich. Alle Mitarbeiterinnen unserer Forschungsgruppe unterliegen der Schweigepflicht und sind auf das Datenschutzgesetz verpflichtet. Neben der Auswertung und Archivierung werden wir einzelne Bilder und kurze Videosequenzen in anonymisierter Form in wissenschaftlichen Veröffentlichungen, bei Konferenzen oder zu Unterrichtszwecken verwenden. Wenn Sie dies nicht möchten, können Sie dem unten widersprechen. Demnächst wird Frau Prof. Dr. Beate Sodian an der Ludwigs-Maximilians-Universität München ähnliche Babystudien durchführen. Wenn Sie möchten, geben wir Ihre Adresse an diese Arbeitsgruppe weiter.

Einverständniserklärung zur Speicherung des anonymisierten Videomaterials zu Zwecken der Auswertung und Archivierung

Ich habe die Informationen über den Datenschutz gelesen. Alle meine Fragen wurden ausreichend beantwortet. Ich bin damit einverstanden, dass die Videoaufnahmen meines Sohns «Vorname_Kind» in der oben beschriebenen Form zur Auswertung und Archivierung gespeichert werden.

_____ _____
(Ort, Datum) (Unterschrift des/der Erziehungsberechtigten)

Ich bin einverstanden, dass das anonymisierte Videomaterial in Veröffentlichungen, bei Tagungen und zu Unterrichtszwecken verwendet wird (Zutreffendes bitte ankreuzen):

☺ ja. ☹ nein.

Ich bin einverstanden, dass meine Adresse an Frau Prof. Sodian weitergegeben wird (Zutreffendes bitte ankreuzen):

☺ ja. ☹ nein.

(Wird vom Institut ausgefüllt)
Unterschriebenen Bogen erhalten am: _____ _____
Unterschrift der Beobachtungsleiterin

FORSCHUNGSGRUPPE ENTWICKLUNG VON KOGNITION UND HANDLUNG
PD DR. GISA ASCHERSLEBEN · DR. PETRA HAUF
Amalienstrasse 33 · D-80799 München · ☎ 089-38602-311 · Fax: 089-38602-199 · e-mail: baby@cbs.mpg.de

ausgehändigt am: 11. September 2007

«Titel_Mutter»
«Vorname_Mutter»
«Nachname_Mutter»
«Titel_Vater»
«Vorname_Vater»
«Nachname_Vater»
«Straße»
«PLZ» «Ort»

MAX PLANCK INSTITUT FÜR KOGNITIONS- UND NEUROWISSENSCHAFTEN
ARBEITSBEREICH PSYCHOLOGIE
Entwicklung von Kognition und Handlung
Amalienstrasse 33 D-80799 München

Wichtige Informationen zur Baby-Studie

Bitte lesen Sie sich diese Informationen vor dem vereinbarten Termin in Ruhe durch und bringen Sie ein unterschriebenes Exemplar zum vereinbarten Termin mit.

Wir interessieren uns dafür, wie Säuglinge Handlungen verstehen, die von anderen Menschen ausgeführt werden. Über die Entwicklung der Wahrnehmungs- und Bewegungsfähigkeiten bei Säuglingen und Kleinkindern ist inzwischen einiges bekannt. Bisher wissen wir aber wenig darüber, wie sie Wahrnehmung und Bewegung zusammenbringen, und wie sie erkennen, dass sie selbst (und andere Menschen) erwünschte Veränderungen in der Umwelt durch zielgerichtete Handlungen erzeugen können. Um dies zu klären, beobachten wir Kinder im Alter von 6 bis 36 Monaten. Die Beobachtung dauert ca. 20 Minuten, und Sie werden die ganze Zeit mit Ihrem Kind zusammen sein. In unserem Beobachtungsraum wird Ihr Kind in einem Kindersitz oder auf Ihrem Schoß sitzen und Handlungen beobachten, die wir auf Monitoren oder auf dem Tisch präsentieren. Währenddessen werden wir mit einer unauffälligen Videokamera aufzeichnen, wohin Ihr Kind blickt.

Rechnet man die Zeit mit ein, die zum Eingewöhnen sowie zur Vor- und Nachbereitung der Studie benötigt wird, werden Sie insgesamt ca. 1 Stunde mit Ihrem Kind an unserem Institut sein. Ihr Kind bleibt die ganze Zeit über in Ihrer Obhut und wird ausschließlich von Ihnen beaufsichtigt. Unsere Räume sind kindersicher ausgestattet. Auch die von uns verwendeten Aufbauten sind auf ihre Kindersicherheit geprüft. Sollte dennoch einmal durch unser Verschulden etwas passieren, solange Sie bei uns im Haus sind, kommt unsere Versicherung dafür auf. Wir können aber nicht für Schäden haften, die auf Ihrem Weg zum Institut und wieder nach Hause zurück auftreten.

Für die Teilnahme an der Studie erhalten Sie eine kleine Aufwandsentschädigung, und Ihr Kind erhält eine Urkunde und eine kleine Aufmerksamkeit für seine „Mitarbeit". Aus den gewonnenen Erkenntnissen wird Ihnen zwar kein direkter Nutzen entstehen, die Erkenntnisse werden jedoch für das Verständnis der Entwicklung von Kleinkindern von großer Bedeutung sein. Es steht Ihnen frei, die Studie jederzeit ohne Begründung abzubrechen, auch nach schriftlicher Zusage zu der Beobachtung. Es entstehen Ihnen daraus keine Nachteile.

Einverständniserklärung zur Teilnahme an der oben beschriebenen Baby-Studie

Ich habe die Informationen über das Ziel, die Art und die Rahmenbedingungen der Studie gelesen und auch verstanden. Alle meine Fragen wurden ausreichend beantwortet.

Zutreffendes bitte ankreuzen:

☺ Ich bin einverstanden, gemeinsam mit meinem Sohn «Vorname_Kind» an der Studie teilzunehmen.

☺ Ich kann selbst nicht teilnehmen, aber ich bin einverstanden, dass Frau / Herr (bitte Namen eintragen) _____ gemeinsam mit meinem Sohn «Vorname_Kind» an der Studie teilnimmt.

_____ _____

(Ort, Datum) (Unterschrift des/der Erziehungsberechtigten)

(Wird vom Institut ausgefüllt)
Unterschriebenen Bogen erhalten am: _____ _____
Unterschrift der Beobachtungsleiterin

FORSCHUNGSGRUPPE ENTWICKLUNG VON KOGNITION UND HANDLUNG
PD DR. GISA ASCHERSLEBEN · DR. PETRA HAUF
Amalienstrasse 33 · D-80799 München · ☎ 089-38602-311 · Fax: 089-38602-199 · e-mail: baby@cbs.mpg.de

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR KOGNITIONS- UND NEUROWISSENSCHAFTEN

Ich war dabei!

Max-Planck-Babystudie

Benjamin hat am **29.11.2005**
an unserer Studie teilgenommen und uns bei der
Erforschung der frühkindlichen Entwicklung geholfen

Herzlichen Dank !!!
Nachwuchsgruppe „Sensomotorische Koordination"

Annexe 3 : estimation de la précision de la mesure de F2

1. Age = 8 mois

1.1. Sujet 5

	F2 en fonction de la taille de la fenêtre				
Séquences	0.02	0.03	0.04	0.05	**Ecart-Type**
Séquence 1	2538	2538	2538	2532	3,00
Séquence 2	2429	2432	2432	2431	1,41
Séquence 3	2397	2384	2381	2371	10,72
Séquence 4	2637	2632	2654	2647	9,88
Séquence 5	2672	2674	2683	2692	9,18
Séquence 6	3162	3157	3155	3154	3,56
Séquence 7	3011	3020	3019	3023	5,12
Séquence 8	2328	2342	2340	2346	7,75
Séquence 9	2446	2449	2445	2456	4,97
Séquence 10	3230	3209	3201	3195	15,28
				Moyenne ET	7,09

1.2. Sujet 11

	F2 en fonction de la taille de la fenêtre				
Séquences	0.02	0.03	0.04	0.05	**Ecart-Type**
Séquence 1	2294	2290	2298	2298	3,83
Séquence 2	2725	2725	2742	2742	9,81
Séquence 3	2513	2547	2547	2570	23,49
Séquence 4	2457	2526	2534	2475	37,82
Séquence 5	2558	2582	2602	2608	22,59
Séquence 6	2140	2158	2168	2159	11,73
Séquence 7	2139	2141	2144	2145	2,75
Séquence 8	2175	2237	2248	2253	36,12
Séquence 9	2406	2393	2376	2385	12,73
Séquence 10	3226	3220	3217	3208	7,50
				Moyenne ET	16,84

1.3. Sujet 12

	F2 en fonction de la taille de la fenêtre				
Séquences	0.02	0.03	0.04	0.05	**Ecart-Type**
Séquence 1	2863	2869	2911	2909	25,53
Séquence 2	2342	2328	2324	2325	8,34
Séquence 3	2340	2296	2280	2262	33,36
Séquence 4	2631	2633	2633	2632	0,96
Séquence 5	2595	2607	2624	2613	12,09
Séquence 6	2300	2312	2282	2258	23,49
Séquence 7	2194	2255	2205	2241	28,93
Séquence 8	3063	3017	3020	3023	21,64
Séquence 9	2522	2536	2545	2540	9,88
Séquence 10	2943	2941	2942	2934	4,08
				Moyenne ET	16,83

2. Age = 9 mois

2.1. Sujet 4

	F2 en fonction de la taille de la fenêtre				
Séquences	0.02	0.03	0.04	0.05	**Ecart-Type**
Séquence 1	3123	3137	3146	3140	9,75
Séquence 2	2027	2027	2029	2038	5,25
Séquence 3	2577	2581	2583	2587	4,16
Séquence 4	2574	2592	2604	2609	15,56
Séquence 5	2220	2296	2289	2274	34,41
Séquence 6	1961	1974	1980	1988	11,38
Séquence 7	2162	2152	2142	2138	10,75
Séquence 8	3093	3091	3086	3085	3,86
Séquence 9	3050	3059	3079	3096	20,61
Séquence 10	3263	3192	3175	3135	53,47
				Moyenne ET	16,92

2.2. Sujet 20

	F2 en fonction de la taille de la fenêtre				
Séquences	0.02	0.03	0.04	0.05	**Ecart-Type**
Séquence 1	2074	2075	2069	2068	3,51
Séquence 2	2116	2112	2107	2092	10,50
Séquence 3	2130	2133	2134	2135	2,16
Séquence 4	2388	2389	2390	2392	1,71
Séquence 5	2365	2366	2367	2368	1,29
Séquence 6	2406	2407	2394	2384	10,90
Séquence 7	1799	1796	1781	1772	12,73
Séquence 8	1711	1729	1751	1754	20,19
Séquence 9	2029	2033	2012	2013	10,81
Séquence 10	3114	3115	3112	3113	1,29
				Moyenne ET	7,51

2.3. Sujet 13

	F2 en fonction de la taille de la fenêtre				
Séquences	0.02	0.03	0.04	0.05	**Ecart-Type**
Séquence 1	2220	2222	2229	2230	4,99
Séquence 2	3059	3060	3063	3060	1,73
Séquence 3	3081	3093	3095	3094	6,55
Séquence 4	2518	2493	2484	2478	17,61
Séquence 5	3228	3218	3206	3200	12,49
Séquence 6	3111	3109	3067	3096	20,29
Séquence 7	2461	2472	2468	2466	4,57
Séquence 8	2938	2956	2942	2942	7,90
Séquence 9	1994	1969	1957	1963	16,26
Séquence 10	3026	3059	3041	3078	22,49
				Moyenne ET	11,49

3. Age = 10 mois

3.1. Sujet 21

	F2 en fonction de la taille de la fenêtre				
Séquences	0.02	0.03	0.04	0.05	**Ecart-Type**
Séquence 1	2481	2497	2497	2499	8,39
Séquence 2	2519	2502	2509	2502	8,04
Séquence 3	2152	2156	2164	2163	5,74
Séquence 4	2791	2744	2797	2796	25,47
Séquence 5	2644	2670	2662	2625	20,04
Séquence 6	2185	2184	2180	2174	4,99
Séquence 7	3079	3084	3087	3094	6,27
Séquence 8	3027	3025	3026	3023	1,71
Séquence 9	2676	2671	2666	2667	4,55
Séquence 10	2293	2271	2261	2260	15,33
				Moyenne ET	10,05

3.2. Sujet 19

	F2 en fonction de la taille de la fenêtre				
Séquences	0.02	0.03	0.04	0.05	**Ecart-Type**
Séquence 1	2338	2331	2337	2327	5,19
Séquence 2	1693	1694	1693	1692	0,82
Séquence 3	1665	1655	1664	1659	4,65
Séquence 4	1957	1956	1955	1956	0,82
Séquence 5	2192	2108	2113	2116	39,97
Séquence 6	2904	2905	2908	2911	3,16
Séquence 7	2397	2400	2405	2392	5,45
Séquence 8	1976	1974	1972	1968	3,42
Séquence 9	2237	2233	2231	2231	2,83
Séquence 10	2192	2190	2186	2184	3,65
				Moyenne ET	6,99

3.3. Sujet 24

	F2 en fonction de la taille de la fenêtre				
Séquences	0.02	0.03	0.04	0.05	**Ecart-Type**
Séquence 1	2608	2603	2608	2607	2,38
Séquence 2	2847	2865	2876	2880	14,76
Séquence 3	2911	2905	2899	2890	8,96
Séquence 4	2655	2661	2661	2656	3,20
Séquence 5	2792	2781	2779	2777	6,70
Séquence 6	3204	3189	3179	3175	12,92
Séquence 7	3101	3126	3135	3138	16,79
Séquence 8	2386	2375	2368	2363	9,97
Séquence 9	2493	2463	2439	2427	29,14
Séquence 10	2670	2676	2674	2675	2,63
				Moyenne ET	10,75

4. Age = 11 mois

4.1. Sujet 14

	F2 en fonction de la taille de la fenêtre				
Séquences	0.02	0.03	0.04	0.05	**Ecart-Type**
Séquence 1	3586	3575	3570	3566	8,66
Séquence 2	2831	2844	2839	2843	5,91
Séquence 3	2868	2869	2872	2887	8,83
Séquence 4	2624	2627	2628	2634	4,19
Séquence 5	1975	1904	1888	1895	40,20
Séquence 6	3115	3164	3191	3189	35,37
Séquence 7	3360	3358	3354	3353	3,30
Séquence 8	3503	3504	3507	3503	1,89
Séquence 9	3385	3386	3382	3384	1,71
Séquence 10	3308	3290	3293	3291	8,43
				Moyenne ET	11,85

4.2. Sujet 25

	F2 en fonction de la taille de la fenêtre				
Séquences	0.02	0.03	0.04	0.05	**Ecart-Type**
Séquence 1	2190	2190	2187	2183	3,32
Séquence 2	2644	2614	2604	2607	18,32
Séquence 3	2663	2665	2661	2661	1,91
Séquence 4	2621	2616	2613	2612	4,04
Séquence 5	2687	2694	2689	2688	3,11
Séquence 6	2252	2247	2242	2237	6,45
Séquence 7	2373	2373	2369	2367	3,00
Séquence 8	2842	2827	2818	2819	11,09
Séquence 9	2440	2440	2442	2443	1,50
Séquence 10	2366	2366	2345	2338	14,43
				Moyenne ET	6,72

4.3. Sujet 23

	F2 en fonction de la taille de la fenêtre				
Séquences	0.02	0.03	0.04	0.05	**Ecart-Type**
Séquence 1	2682	2683	2673	2674	5,23
Séquence 2	2461	2461	2463	2468	3,30
Séquence 3	2346	2357	2358	2358	5,85
Séquence 4	2987	2987	2988	2988	0,58
Séquence 5	2862	2860	2858	2857	2,22
Séquence 6	2737	2740	2740	2740	1,50
Séquence 7	2937	2924	2900	2894	20,21
Séquence 8	2189	2193	2195	2194	2,63
Séquence 9	2449	2459	2465	2474	10,50
Séquence 10	2988	2993	2990	2992	2,22
				Moyenne ET	5,42

5. Age = 12 mois

5.1. Sujet 8

	F2 en fonction de la taille de la fenêtre				
Séquences	0.02	0.03	0.04	0.05	**Ecart-Type**
Séquence 1	3469	3493	3501	3522	21,90
Séquence 2	3561	3631	3679	3665	52,68
Séquence 3	3350	3361	3376	3368	11,03
Séquence 4	3068	3078	3078	3068	5,77
Séquence 5	2993	2994	2993	2993	0,50
Séquence 6	3044	3071	3068	3078	14,77
Séquence 7	2328	2328	2328	2325	1,50
Séquence 8	2545	2546	2546	2547	0,82
Séquence 9	2654	2664	2654	2682	13,20
Séquence 10	3534	3538	3536	3537	1,71
				Moyenne ET	12,39

5.2. Sujet 26

	F2 en fonction de la taille de la fenêtre				
Séquences	0.02	0.03	0.04	0.05	**Ecart-Type**
Séquence 1	2005	2013	2018	2021	6,99
Séquence 2	2195	2214	2219	2211	10,37
Séquence 3	3165	3164	3170	3175	5,07
Séquence 4	3162	3166	3174	3178	7,30
Séquence 5	3028	3034	3032	3033	2,63
Séquence 6	2809	2810	2815	2817	3,86
Séquence 7	1581	1579	1578	1577	1,71
Séquence 8	3169	3163	3192	3215	23,73
Séquence 9	2193	2186	2183	2178	6,27
Séquence 10	2336	2336	2336	2335	0,50
				Moyenne ET	6,84

5.3. Sujet 18

	F2 en fonction de la taille de la fenêtre				
Séquences	0.02	0.03	0.04	0.05	**Ecart-Type**
Séquence 1	2619	2595	2598	2597	11,24
Séquence 2	2287	2281	2271	2263	10,63
Séquence 3	2303	2313	2314	2309	4,99
Séquence 4	2770	2762	2783	2786	11,24
Séquence 5	2984	2986	2988	2985	1,71
Séquence 6	1808	1801	1806	1808	3,30
Séquence 7	1689	1690	1695	1700	5,07
Séquence 8	2197	2233	2252	2264	29,26
Séquence 9	2380	2379	2376	2373	3,16
Séquence 10	3175	3168	3165	3161	5,91
				Moyenne ET	8,65

Annexe 4 : résultats de la simulation VLAM

1. La voyelle [ε]

1.1. Age = 10 mois

Jaw	F1	F2	F3
1.0000	0.8574	2.6370	4.1582
1.6000	0.8012	2.7313	4.1608
2.2000	0.7354	2.8656	4.1667
2.8000	0.6566	3.0554	4.1829
3.4000	0.5568	3.3146	4.2343
4.0000	0.4126	3.5927	4.4144

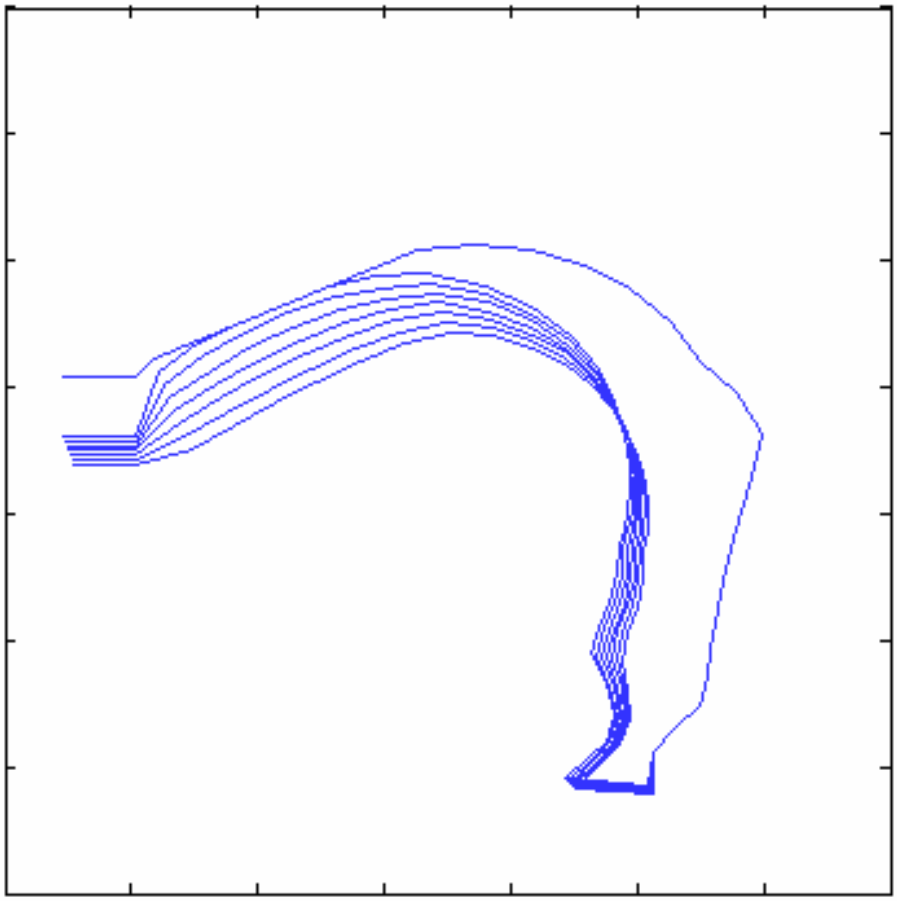


Figure a. *La voyelle [ε] à 10 mois en fonction de la position de la mandibule*

1.2. Age = 12 mois

Jaw	F1	F2	F3
1.0000	0.8430	2.6075	4.0930
1.6000	0.7873	2.7021	4.0972
2.2000	0.7224	2.8357	4.1057
2.8000	0.6448	3.0229	4.1259
3.4000	0.5468	3.2755	4.1852
4.0000	0.4056	3.5403	4.3792

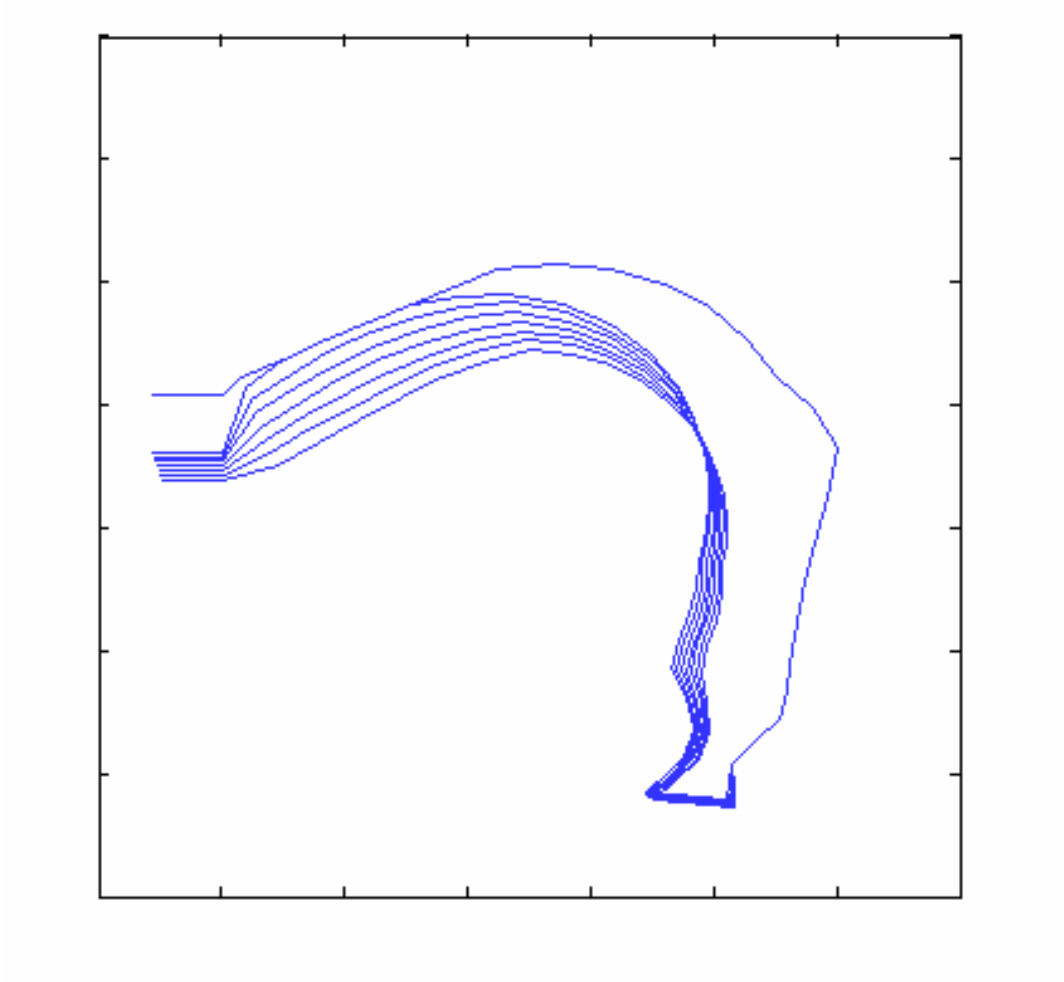


Figure b. *La voyelle [ε] à 12 mois en fonction de la position de la mandibule*

2. La voyelle [ɑ]

2.1. Age = 8 mois

Jaw	F1	F2	F3
-1.0000	1.0012	2.2578	4.1691
-0.4000	0.9883	2.2392	4.1943
0.2000	0.9726	2.2212	4.2140
0.8000	0.9538	2.2062	4.2288
1.4000	0.9315	2.1964	4.2395
2.0000	0.9053	2.1942	4.2469
2.6000	0.8749	2.2020	4.2518
3.2000	0.8399	2.2231	4.2549
3.8000	0.7994	2.2625	4.2574
4.4000	0.7526	2.3269	4.2609
5.0000	0.6975	2.4273	4.2681
5.6000	0.6303	2.5798	4.2862
6.2000	0.5400	2.8019	4.3340
6.8000	0.3726	3.0372	4.4102

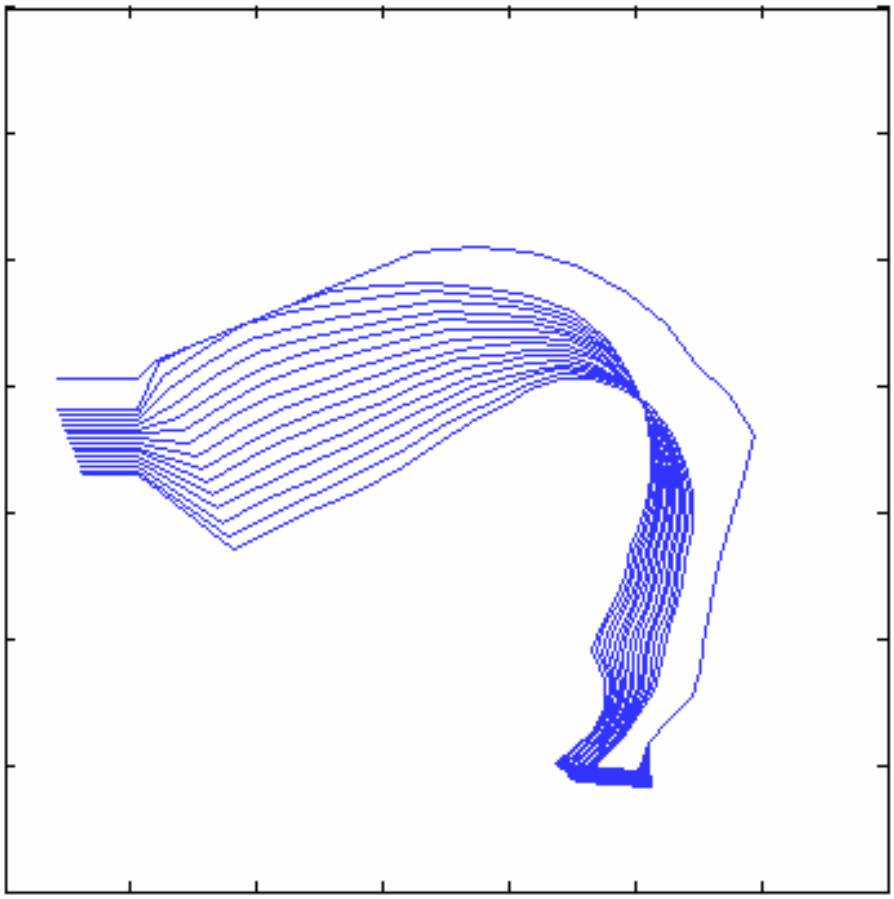


Figure c. *La voyelle [ɑ] à 8 mois en fonction de la position de la mandibule*

2.2. Age = 10 mois

Jaw	F1	F2	F3
-1.0000	0.9901	2.2049	4.0911
-0.4000	0.9768	2.1896	4.1170
0.2000	0.9605	2.1747	4.1376
0.8000	0.9412	2.1626	4.1536
1.4000	0.9184	2.1557	4.1655
2.0000	0.8919	2.1561	4.1743
2.6000	0.8612	2.1663	4.1806
3.2000	0.8259	2.1896	4.1854
3.8000	0.7855	2.2307	4.1897
4.4000	0.7389	2.2965	4.1954
5.0000	0.6843	2.3975	4.2056
5.6000	0.6181	2.5494	4.2281
6.2000	0.5295	2.7685	4.2839
6.8000	0.3663	2.9982	4.3756

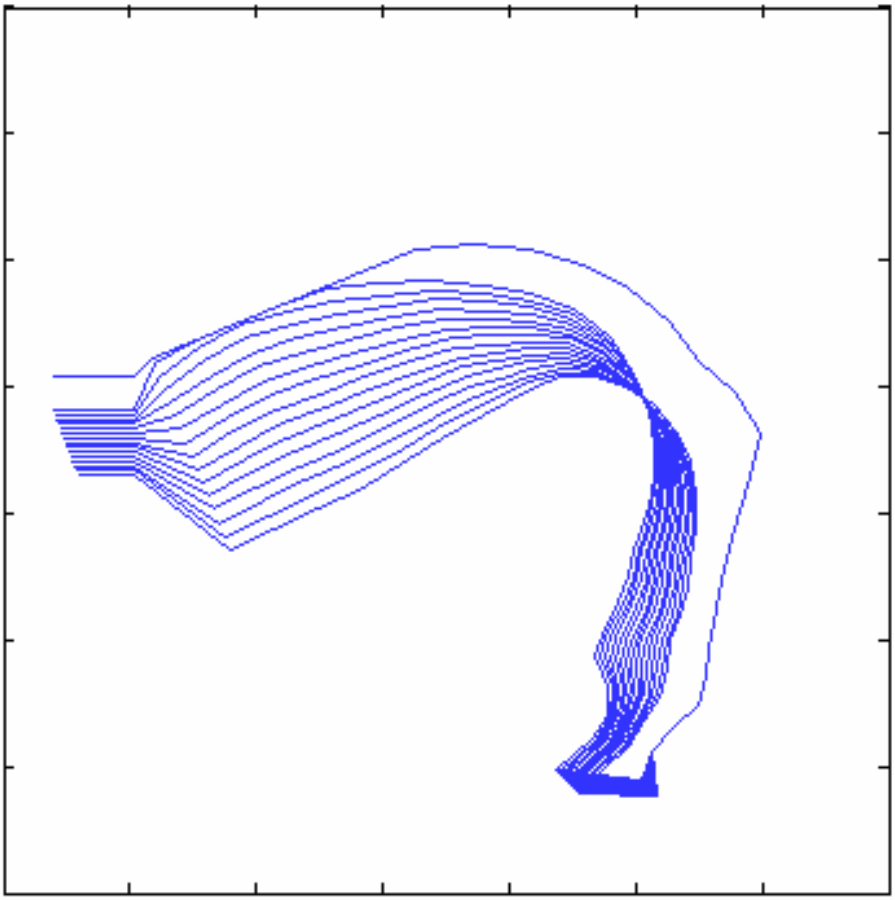


Figure d. *La voyelle [a] à 10 mois en fonction de la position de la mandibule*

2.3. Age = 12 mois

Jaw	F1	F2	F3
-1.0000	0.9800	2.1583	4.0209
-0.4000	0.9662	2.1459	4.0473
0.2000	0.9496	2.1336	4.0687
0.8000	0.9298	2.1242	4.0856
1.4000	0.9066	2.1197	4.0986
2.0000	0.8797	2.1223	4.1085
2.6000	0.8488	2.1346	4.1160
3.2000	0.8134	2.1598	4.1222
3.8000	0.7730	2.2024	4.1282
4.4000	0.7266	2.2693	4.1358
5.0000	0.6726	2.3707	4.1485
5.6000	0.6072	2.5219	4.1749
6.2000	0.5202	2.7383	4.2379
6.8000	0.3607	2.9629	4.3440

Remarque : les différences de valeurs finales de F1 ne sont dues qu'au pas de simulation.

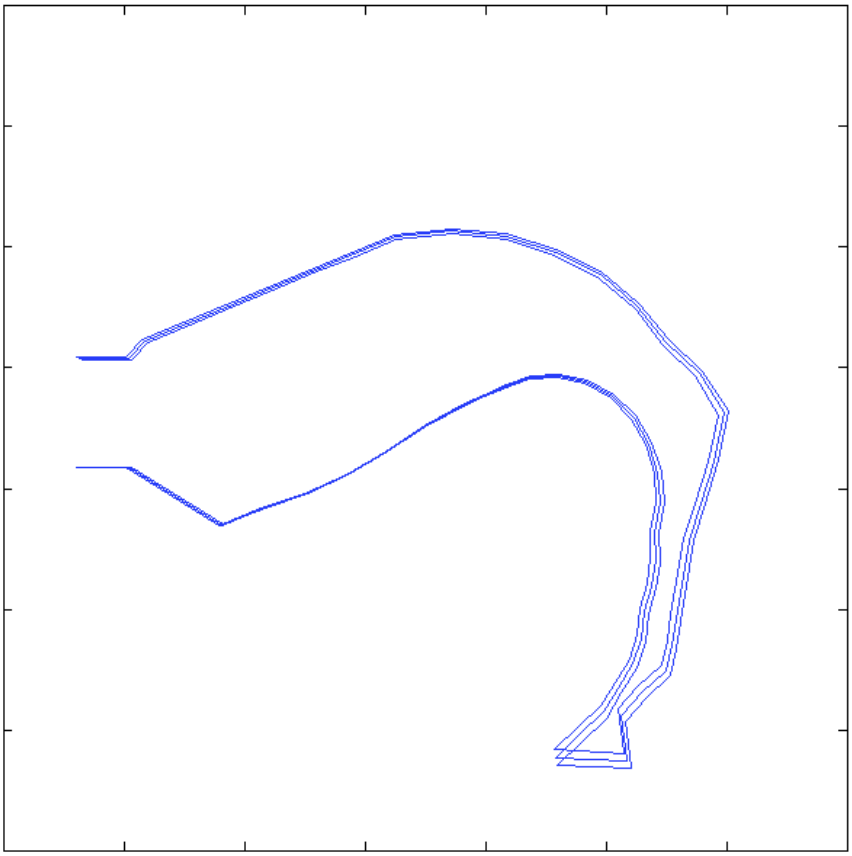


Figure e. *Voyelle [ɑ] pour les trois âges*

Louis-Jean Boë
9 octobre 2007

Annexe 5 : publications

L'émergence du contrôle segmental au stade du babillage : Une étude acoustique

Mélanie Canault[1, 2], Pascal Perrier[2] & Rudolph Sock[1]
[1]Institut de Phonétique de Strasbourg (IPS)
Équipe d'Accueil 1339 - Linguistique, Langues et Parole (LILPA) - Composante Parole et Cognition
[2]Institut de la Communication Parlée - UMR CNRS 5009 - UMR CNR 5009 INPG & Université Stendhal - Grenoble

ABSTRACT

The aim of this work is to look for evidence that a segmental control of speech production could emerge during babbling from mandible rhythm dominance. Our assumption is that such evidence could be found in temporal modulations of mandibular cycle phases. Acoustic analyses of two subjects between 10 and 15 months of age have revealed that at 10 months, the temporal patterns of speech productions are variable, before becoming more stable and similar to adult temporal patterns at 15 months. These findings are interpreted as consequences of the emergence of a speech specific segmental control guided by the imitation of adult productions.

1 INTRODUCTION

Notre recherche s'inspire de la théorie *Frame then Content* de MacNeilage [6], qui défend l'unité articulatoire et rythmique de la structure syllabique au stade du babillage, et l'associe au cycle de l'oscillation mandibulaire. Nous nous appuyons aussi sur l'hypothèse d'une représentation segmentale phonémique du contrôle de la parole chez l'adulte [9]. L'objectif de ce travail est donc d'étudier de quelle manière et à quel moment la structure articulatoire et rythmique unique présente au stade du babillage va se dissocier en ses composantes segmentales vocaliques et consonantiques. Notre hypothèse envisage la variation temporelle du cadre syllabique, que nous supposerons initialement régulier ([5], [1]), comme indice de l'émergence d'un contrôle indépendant du segment. Nous avons donc mesuré les patrons temporels de données *acoustiques* interprétables en termes articulatoires. Plus spécifiquement, nous avons vérifié si le contrôle supposé du segment pouvait émerger graduellement du contrôle temporel indépendant des phases d'ouverture et de fermeture du conduit vocal.

2 LE BABILLAGE, LA SYLLABE ET LE ROLE DETERMINANT DE LA MANDIBULE

2.1 L'oscillation mandibulaire comme cadre de l'émergence de la parole

Le babillage est considéré comme le stade du développement langagier au cours duquel les premières syllabes émergent. Selon l'hypothèse de MacNeilage [6], les éléments constitutifs de la syllabe forment une unité articulatoire, déterminée par des contraintes physiologiques. Les articulations les plus précoces seraient ainsi ordonnées par le mouvement mandibulaire dont la cyclicité, due à l'alternance des phases d'ouverture et de fermeture, suffirait à l'émergence du cadre syllabique. La dominance du cycle mandibulaire imposerait alors l'absence d'un contrôle indépendant des autres articulateurs. Munhall et Jones [8] ont notamment confirmé cette hypothèse en montrant, à travers une étude cinématique réalisée chez un sujet de 8 mois, la non implication de la lèvre supérieure dans le mouvement de fermeture de la cavité buccale.

L'oscillation mandibulaire jouerait donc un rôle majeur dans l'organisation articulatoire du babillage et pourrait être considérée comme le support des aménagements articulatoires à venir. En effet, les stratégies de contrôle de la mandibule atteindraient leur maturité les premières. Ainsi, dans une étude cinématique comparative des déplacements verticaux de la mandibule et des lèvres, menée chez des adultes et des enfants (1, 2, 6 ans), Green *et al* [4] ont montré que chaque articulateur avait un processus développemental unique, et que la mandibule accédait à un patron de mouvement proche de celui de l'adulte plus tôt que les lèvres. Pour ces auteurs, les structures articulatoires pourvues d'un degré de liberté plus grand nécessiteraient un processus d'apprentissage du contrôle plus long. Ainsi la langue et les lèvres, étant déformables, représenteraient des systèmes plus complexes à contrôler. Green *et al* [3] ont également étudié la coordination mandibule/lèvre chez des sujets du même âge, à travers l'observation du couplage temporel et spatial de leur déplacement au cours de séquences Consonne bilabiale-Voyelle. Les résultats montrent que la contribution de la mandibule à la fermeture orale est très forte à 1 an et diminue à 2 ans. En revanche, celle des lèvres augmente entre 2 et 6 ans. Le fort couplage spatial et temporel des lèvres avec la mandibule reflète l'absence d'un contrôle indépendant à 1 an.

Selon Davis et MacNeilage [1], le cadre syllabique constituerait la structure temporelle de base au sein de laquelle les éléments du contenu vont se développer grâce à l'acquisition du contrôle indépendant des articulateurs. L'émergence du contrôle autonome des articulateurs se traduira par l'organisation coordonnée, spatialement et temporellement, des gestes articulatoires. De cette manière, consonne (C) et voyelle (V) émergeront graduellement comme des entités indépendamment contrôlables au sein de la syllabe.

2.2 Perturbation du cycle oscillatoire et émergence du segment

Le rôle de la mandibule pèse sur l'organisation structurelle, mais aussi temporelle des premiers énoncés. Ces derniers sont souvent décrits comme des énoncés redupliqués du type /bababa…/, dont les séquences syllabiques sont perceptuellement isochrones. La fermeture consonantique, associée à un signal acoustique de faible énergie et de courte durée, et l'ouverture vocalique, associée à un signal acoustique de forte énergie et d'une durée plus longue,

produisent l'effet d'une régularité temporelle des séquences CV [1]. Ce cycle oscillatoire constitue le cadre temporel s de la structure syllabique [2], qui serait alors dépourvue de toute organisation segmentale. Dans ce contexte, il est légitime de faire l'hypothèse que la perturbation du cadre syllabique pourrait constituer les premiers indices de l'émergence d'un contrôle segmental. Le premier pas vers ce contrôle passerait par la maîtrise d'événements temporels nouveaux, dont la manifestation serait la variation de la durée des syllabes successives. Dans ce contexte, nous prédisons que, au cours de l'émergence du contrôle segmental, après les énoncés canoniques du type /bababa…/, le bébé passera à des énoncés du type /babaababaaaba…/ ayant perdu leur régularité temporelle. Plus encore, la variation temporelle des phases constitutives du cycle mandibulaire engendrera la désolidarisation des éléments du cadre et par conséquent leur indépendance ; d'où l'émergence du contrôle segmental.

3 METHODE

3.2 Les données

Sujets

Deux enfants de sexe masculin, âgés de 9 mois et de 8 mois, ont été recrutés, sur autorisation parentale, dans une crèche strasbourgeoise. Aucun d'entre eux ne présentait de troubles moteurs, auditifs ou psychologiques.

Collecte de données

Des enregistrements audio individuels, d'une durée de 20-25 minutes, ont été réalisés chaque semaine pendant 6 mois. Le sujet était alors installé dans un parc dans le but de réduire son espace de déplacement. Ses jouets favoris étaient mis à sa disposition afin d'initier une phase ludique d'interaction avec l'investigateur. Même si les premières séances furent moins fructueuses, la phase d'habituation ne fut que de courte durée. Le système d'acquisition était constitué d'un DAT (Sony TCD-D3) et d'un micro directif (BST à condensateur UM-3). Il était placé à proximité du bébé, mais hors de sa portée afin de ne pas trop attirer son attention.

3.3 Etiquetage du signal acoustique

Environ 1 à 2 minutes de productions enfantines pouvaient, en moyenne, être extraites d'une séance d'enregistrement. Sur ces quelques minutes nous avons sélectionné les séquences exploitables en fonction de leur type ; nous avons retenu les types Cocclusive-V ainsi que V-Cocclusive-V, et éliminé les séquences trop bruitées. Par la suite, chacune des séquences babillées fut transcrite, puis étiquetée à l'aide du logiciel Praat®. Nous avons porté notre intérêt sur les événements cycliques au sein des énoncés polysyllabiques afin de rendre compte de l'existence et de l'évolution de la régularité temporelle syllabique défendue par MacNeilage. Notons que les énoncés bisyllabiques se sont révélés majoritaires. Un cycle peut être défini comme l'intervalle temporel existant entre la réitération d'un même événement acoustique. Ainsi, avons-nous désigné dans un premier temps comme cycle, la distance temporelle existant entre deux relâchements (cycle 1 ou le cycle des relâchements) lorsque la séquence est constituée de 2 syllabes CV au minimum.

Malheureusement, la fiabilité de cette segmentation au sein d'un signal bruité est restreinte à cause d'une explosion-friction difficilement repérable. C'est pour cette raison que nous avons préféré exclure ce cycle et en considérer un autre, le cycle 2 ou le cycle vocalique. Celui-ci s'étend du début d'une structure formantique vocalique stable au début de la structure formantique vocalique stable subséquente (figure 1). En termes articulatoires, ce cycle s'initie par un état suffisamment ouvert du conduit vocal permettant l'apparition des résonances vocaliques adéquates ; il encadre la phase consonantique obstruente.

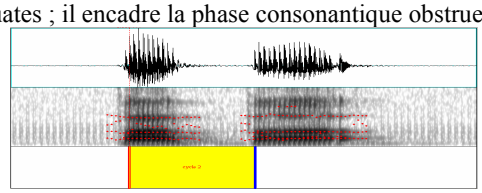


Figure 1. Détermination des bornes du cycle 2

Cependant, nous nous sommes rendus à l'évidence qu'il était impossible, en utilisant ce procédé, de prendre en compte la durée de la voyelle finale dans le cadre de ce cycle. Par conséquent, nous avons choisi d'intégrer un troisième marquage cyclique, que nous appellerons cycle 3 ou le cycle consonantique, qui va de la fin d'une structure formantique stable à la fin de la structure formantique stable suivante (figure 2). C'est un cycle de closion articulatoire, englobant la phase vocalique V2.

Notre analyse portera donc sur une étude systématique des cycles 2 et 3, même si nous ne livrerons ici que des résultats pour le cycle 3. Les tendances observées pour ces deux cycles sont en effet similaires, mais elles sont plus nettes pour le cycle 3.

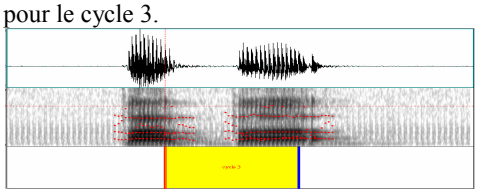


Figure 2. Détermination des bornes du cycle 3

33. Analyse

Groupe d'âge

Nous avons établi des classes d'âge bien distinctes en centrant notre intérêt sur trois étapes du développement : 9-10 mois; 12 mois et 14-15 mois. Ces étapes correspondent respectivement : aux stades du babillage, à la fin du babillage et au début des premiers mots, et enfin à celui des mots.

Projections graphiques

La structure même de nos données expérimentales, caractérisées en particulier par un nombre très hétérogène de mesures et par des variances très différentes selon les catégories d'âge, ne nous autorise pas à pratiquer une analyse statistique classique sous forme de test de Student ou d'analyse de la variance. Aussi, afin de rendre compte de l'émergence de l'indépendance segmentale, avons nous eu recours, au moins dans une première phase de notre analyse, à l'observation graphique de l'évolution des différentes caractéristiques temporelles au sein des cycles. En premier lieu, nous avons observé l'évolution de la proportion vocalique au sein du cycle 3. Cette phase d'ouverture pourrait en effet porter les premières traces de

variation. Il semble, en effet, plus évident de contrôler la configuration buccale ouverte que la configuration fermée. Contrairement à la phase de fermeture, l'ouverture n'est pas contrainte par les mêmes pressions aériennes supra glottiques. Elle pourrait, par conséquent, subir de plus grands changements temporels. Puis, nous nous sommes orientés vers l'étude du rapport existant entre les valeurs des durées consonantiques et des durées vocaliques dans le cycle. D'une part, pour examiner l'existence éventuelle d'une variation simultanée des deux phases du cycle et d'autre part, pour savoir si une relation entre l'évolution de leur variation pourrait être mise au jour.

4 RESULTATS

4.1 Evolution du cycle et de la proportion vocalique

La proportion vocalique est déterminée par la valeur que la structure formantique stable prend au sein d'un cycle donné.

Sujet 1

Les ellipses de dispersion (à 2σ) des durées vocaliques et cycliques (figure 3) indiquent une certaine variabilité à 10 mois. La durée du cycle 3 s'étend de 194.3 ms à 989 ms (valeur moyenne # 500 ms) et le pourcentage de la phase vocalique varie entre 44.7% et 84, 69%. Puis, à 12 mois, la durée du cycle tend à diminuer (valeur moyenne # 350 ms) et à se stabiliser, sa variabilité décroissant sensiblement, tandis qu'à l'intérieur du cycle, la variabilité de la proportion vocalique se maintient. Enfin, à 15 mois, la durée cyclique se centralise autour des 300 ms s'approchant ainsi de la durée moyenne d'une syllabe adulte et de sa période d'oscillation préférentielle qui se situe autour de 3Hz [7], tandis que sa variabilité se réduit encore de manière sensible. Les proportions vocaliques se concentrent aux environs de 40% du cycle avec une variabilité modérée par rapport aux deux tranches d'âge précédentes.

Sujet 2

Contrairement au sujet 1, le sujet 2 présente un rythme mandibulaire moyen avoisinant les 3Hz et de variabilité réduite dès les premiers enregistrements, c'est-à-dire à un stade très précoce (figure 4). Dès 10 mois, la variation cyclique se concentre entre 200 ms et 400 ms (soit 2-4 Hz). La proportion vocalique moyenne au sein du cycle est stable dans la période d'âge analysée : elle se situe, comme pour le sujet précédant, autour de 40%. En comparaison avec le sujet 1, on observe que la variabilité de la proportion vocalique à 10 et 12 mois est visiblement restreinte, mais qu'à 14 mois elle est similaire.

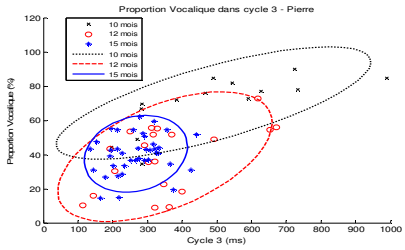


Figure 3. Durée du cycle 3 (ms) et V (%) - sujet 1

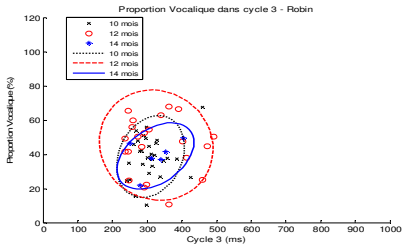


Figure 4. Durée du cycle 3 (ms) et V (%) - sujet 2

4.2 Relation entre durée consonantique et durée vocalique

La durée consonantique est déduite à partir de la durée de V au sein du cycle.

Sujet 1 (Figure 5)

A dix mois, c'est la phase vocalique qui est la plus variable. Dans la tranche d'âge suivante, la variabilité vocalique diminue tandis qu'elle augmente pour la consonne. La valeur moyenne de la durée vocalique décroît sensiblement, la durée consonantique moyenne restant sensiblement constante. Enfin, à 15 mois on observe non seulement une réduction notoire de la variabilité de la durée vocalique au sein du cycle, mais aussi une tendance à l'équilibre des proportions des phases vocalique et consonantique. En effet, le centre de l'ellipse de dispersion se rapproche du point où les deux durées sont égales (entre 100-200 ms : figure 5).

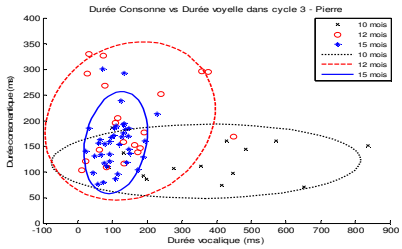


Figure 5. Durées consonantique et vocalique - sujet 1

Sujet 2 (Figure 6)

La variabilité est dès lors présente à 10 mois, mais elle touche essentiellement à la consonne, à l'inverse du sujet 1. Le sujet 2, favorise donc, au cours de la phase d'exploration temporelle, la modulation de la phase de fermeture du cycle mandibulaire. Puis à 12 mois, la variabilité augmente. Nous avions relevé que le sujet 1, au même stade, réduisait sa variabilité vocalique et amplifiait sa variation consonantique. Ce qui est intéressant c'est le fait que, malgré cette divergence, la consonne occupe un espace de dispersion relativement proche, à 12 mois, chez les deux sujets (100 ms à 300 ms). Enfin, à 14 mois une réduction de la variabilité globale semble s'opérer pour ce sujet. Dans la mesure où le nombre d'occurrences reste trop faible pour interpréter ces résultats comme étant robustes, il convient de considérer ces résultats avec prudence. Notons cependant, que ce phénomène est conforme aux observations faites pour le sujet 1.

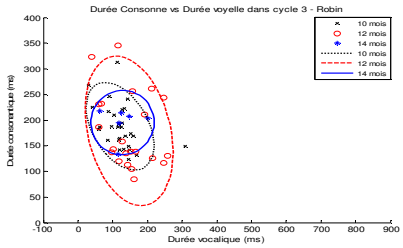


Figure 6. Durées consonantique et vocalique - sujet 2

5. DISCUSSION ET INTERPRETATION

A première vue, la conclusion qui s'imposerait à la lecture de nos résultats serait que nos mesures ne vont pas totalement dans le sens de nos hypothèses. Nous avions prédit une progression des perturbations de la régularité temporelle, attestée par MacNeilage au stade précoce du babillage, qui traduirait l'émergence d'un contrôle à l'intérieur du cycle se caractérisant par une variabilité croissante de l'organisation temporelle du cadre et de son contenu. Or, c'est bien le constat inverse que nous faisons tout particulièrement pour le sujet 1. Cependant, une étude plus attentive permet de tempérer cette première analyse et de préciser nos hypothèses en les confirmant. En effet, nous relevons que, même si leurs productions évoluent de manières très différentes entre 10 et 15 mois, les deux sujets étudiés convergent, lors de la dernière période d'âge étudiée, vers des caractéristiques très similaires : un cycle mandibulaire de fréquence moyenne 3Hz, une proportion de la phase vocalique située entre 40 et 45%, et une variabilité temporelle réduite tant pour le cycle que ses composantes. La fréquence 3Hz étant la fréquence préférentielle des oscillations mandibulaires de l'adulte [7], on peut faire l'hypothèse que les productions des deux bébés évoluent vers les patrons temporels qui sont ceux de l'adulte.

D'autre part, le sujet 1 montre à 10 mois une très grande variabilité, d'abord dans la phase vocalique, puis dans la phase consonantique. Ceci peut-être considéré comme cohérent avec nos prédictions si on fait l'hypothèse (justifiée si on se réfère à la littérature du domaine) que ce bébé n'est plus au début de la phase de babillage canonique, traditionnellement située autour de 6 mois. Il aurait donc déjà dépassé la phase initiale du cycle mandibulaire intrinsèquement régulier décrite par MacNeilage. Le stade d'irrégularité et d'apprentissage d'un contrôle spécifique au sein du cycle mandibulaire des phases d'ouverture et de fermeture, que nos hypothèses laissaient prévoir, serait déjà amorcé. Si on accepte cette perspective, qu'il conviendra cependant de vérifier par d'autres données expérimentales à un âge plus précoce, nous pouvons supposer que le sujet 2 avait déjà atteint dès les premiers enregistrements un stade plus avancé que le sujet 1. Il serait déjà dans la deuxième phase de cet apprentissage segmental, celui de l'affinement du contrôle intégrant plus de régularité pour une évolution vers les productions de l'adulte.

Cette deuxième phase constitue la manifestation la plus probante de l'émergence du contrôle dans nos données, car l'évolution du cycle mandibulaire observé chez le sujet 1, passant d'une fréquence de 5 à 6 Hz à la fréquence préférentielle de l'adulte, ne peut pas s'expliquer par des critères purement physiques. La croissance crânienne de l'enfant entre 8 et 15 mois ne saurait en effet justifier une telle variation de la fréquence modale de la mandibule. Il s'agit donc bien d'une variation contrôlée vraisemblablement guidée par le mimétisme à celui de l'adulte [10].

6. CONCLUSIONS

En conclusion, nos résultats peuvent être interprétés dans le cadre de nos hypothèses sur l'émergence d'un contrôle segmental au cours de la période allant du babillage tardif aux premiers mots. Dans une première phase, le bébé se familiariserait avec les possibilités de variation temporelle du cycle mandibulaire et des éléments de son contenu, avant d'affiner, dans une seconde phase, le contrôle du timing de ses mouvements. La première phase, marquée par une large variabilité temporelle (10 mois), serait le reflet de l'émergence d'un contrôle indépendant des éléments articulatoires au sein du cadre syllabique. Puis, viendrait la phase de réduction de la variabilité (14-15 mois), laquelle impliquerait le contrôle plus précis des mouvements et cela par mimétisme avec les productions de l'adulte [10]. Par la collecte de données à un stade plus précoce, nos futurs travaux viseront à consolider ce cadre d'hypothèses.

Remerciements à ACI TTT 2003-2006, MER

7 BIBLIOGRAPHIE

[1] B.L. Davis and P.F. MacNeilage. The articulatory basis of babbling. In *Journal of Speech and Hearing Research,* 38:1199-1211, 1995.

[2] B.L. Davis and P.F. MacNeilage. Organisation of babbling: a case study. In *Language and Speech,* volume 37:341-355, 1994.

[3] J.R. Green, C.A. Moore and K.J. Reilly. The sequential developpment of jaw and lip control for speech. In *Journal of Speech, Language, and Hearing Research,* 45: 66-79, 2002.

[4] J.W. Green, C.A. Moore, M. Higashikawa and R.W. Steeve. The physiologic development of speech motor control: lip and jaw coordination. In *Journal of Speech, Language, and Hearing Research,* 43: 239-255, 2000.

[5] G. Konopczynski. Vers un modèle développemental du rythme français : problèmes d'isochronie reconsidérés à la lumière des données de l'acquisition du langage. In *Bulletin de l'Institut de Phonétique de Grenoble*, volume 15, pages 157-190, 1986.

[6] P.F. MacNeilage. The Frame/Content theory of evolution of speech production. In *Behavioral and Brain Sciences,* 21:499-546, 1998.

[7] T. Morimoto, T. Inoue, T. Nakamura, T. and Y. Kawamura. Frequency dependent modulation of rhythmic human jaw movements. In *Journal of Dental Research,* 68:1310-1314, 1984.

[8] K.G. Munhall and J.A. Jones. Articulatory evidence for syllabic structure. In *Behavioral and Brain Sciences,* 21:524-525, 1998.

[9] P. Perrier, Y. Payan and R. Marret (2004). Modéliser le physique pour comprendre le contrôle : le cas de l'anticipation en production de parole. In *L'anticipation à l'horizon du présent* (R. Sock & B. Vaxelaire, editors). Sprimont, Belgique : Pierre Mardaga, pages 159-177, 2004.

[10] M. Studdert-Kennedy. Imitation and the emergence of segments. In *Phonetica*, 57:275-283, 2000.

CANAULT M. 2007
Un chemin accidenté vers l'acquisition du timing. In *Perturbations et Réajustements*. Vaxelaire B., Sock R., Kleiber G. & Marsac F. (Eds.), 35-50.

UN CHEMIN ACCIDENTÉ VERS L'ACQUISITION DU TIMING

Mélanie CANAULT
Institut de Phonétique de Strasbourg (IPS) - E.A. 1339 -
Linguistique, Langues et Parole (LILPA) - Composante Parole et Cognition
canaultmelanie@yahoo.fr

INTRODUCTION

Notre recherche s'inscrit dans le cadre de la théorie de MacNeilage (1998), laquelle défend l'unité articulatoire et temporelle de la structure syllabique, au stade du babillage. Ainsi, l'objectif de ce travail sera de montrer à quel moment et de quelle manière cette unité articulatoire va se dissocier en ses composantes vocalique et consonantique. Notre hypothèse envisage la variation temporelle du cadre syllabique, initialement régulier (Konopczynski 1986, Konopczynski et Vinter 1989, MacNeilage 1995, 2003…), comme indice d'un contrôle indépendant du segment. Grâce à l'analyse de données *acoustiques,* interprétables en termes articulatoires, nous testerons cette hypothèse. Puis, il s'agira de savoir si le contrôle de la cible émerge graduellement du contrôle temporel indépendant des phases d'ouverture et de fermeture du conduit vocal à travers l'étude de la variation temporelle des proportions vocaliques au sein du cadre mandibulaire (cycle), ainsi que celle des rapports V/C.

Le babillage, la syllabe et le rôle déterminant de la mâchoire

Le babillage est considéré comme le stade du développement langagier au cours duquel les premières syllabes émergent. Cette période, s'établissant entre 6 et 12 mois, se dissocie en deux phases : celle du babillage redupliqué (6-10 mois), au cours de laquelle le bébé s'amuse à produire des répétitions de syllabes ; et celle du babillage varié (10-12 mois), où les séquences polysyllabiques se multiplient, et dans lesquelles les consonnes et les voyelles varient successivement. Ces phases ne s'excluent pas l'une l'autre, elles présentent en effet certaines prépondérances formelles qui, cependant, ne se limitent pas strictement aux modèles référencés.

Selon l'hypothèse de MacNeilage (1998), les éléments constitutifs de la syllabe forment une unité articulatoire établie par des contraintes physiologiques. Les articulations les plus précoces seraient ainsi ordonnées par le mouvement mandibulaire dont la cyclicité, due à l'alternance des phases d'ouverture et de fermeture, supporterait l'émergence du cadre syllabique. L'élévation et l'abaissement successifs de la mâchoire inférieure suffiraient donc

à l'agencement de la syllabe au cours des premiers mois. La fermeture du tractus vocal, engendrée par l'élévation mandibulaire, sous-tendrait la réalisation consonantique ; et la configuration buccale ouverte, liée à son abaissement, impliquerait le patron de résonance d'une voyelle. La dominance du mouvement mandibulaire imposerait de cette manière une absence d'indépendance des autres articulateurs. Munhall et Jones (1998) ont d'ailleurs montré, à travers les prémices d'une étude cinématique réalisée chez un sujet de 8 mois, l'absence d'implication de la lèvre supérieure au cours du mouvement de fermeture de la bouche.

L'oscillation mandibulaire jouerait donc un rôle majeur dans l'organisation articulatoire du babillage et pourrait être considérée comme le support des aménagements articulatoires à venir. En effet, la mâchoire serait dotée du programme moteur qui atteindrait sa maturité le premier. Dans une étude cinématique comparative des déplacements verticaux de la mâchoire et des lèvres, menée chez des sujets adultes et des enfants (1, 2, 6 ans), Green *et al.* (2002) ont mis en évidence que chaque articulateur avait un processus développemental unique, et que la performance de la mâchoire accédait à un patron de mouvement mature (qui se rapproche de l'adulte) plus tôt que les lèvres. Pour ces auteurs, les structures articulatoires pourvues d'un degré de liberté plus grand seraient soumises à un processus de contrôle plus long : étant déformables, la langue et les lèvres, engendrent plus de contraintes pour le système nerveux. Ce résultat suggère que le développement de la parole entraîne l'intégration du mouvement labial dans le patron du mouvement mandibulaire. Green et Moore (2000) ont également étudié la coordination mandibule/lèvres chez des sujets du même âge à travers l'observation du couplage temporel et spatial de leur déplacement au cours de séquences C bilabiale + V. Les résultats montrent que la contribution à la fermeture orale de la mâchoire est très forte à 1 an et diminuera à 2 ans. En revanche, celle des lèvres augmentera entre 2 et 6 ans. En effet, les forts couplages spatial et temporel des lèvres reflètent un manque de plasticité coordinatrice et par conséquent un contrôle indépendant relativement pauvre à 1 an.

Selon Davis et MacNeilage (1995) le cadre syllabique constitue le premier événement temporel au sein duquel les éléments du contenu vont se développer grâce à l'acquisition du contrôle indépendant des articulateurs. L'émergence du contrôle autonome des structures qui entrent en jeu lors de la production de la parole pourra se mettre en place grâce à l'organisation coordonnée, spatialement et temporellement, des gestes articulatoires. De cette manière, consonne (C) et voyelle (V) émergeront graduellement comme des entités indépendamment contrôlables au sein de la syllabe.

Perturbation du cycle oscillatoire et émergence du segment ?

Le rôle de la mâchoire est indéniablement influent au stade du babillage et pèse sur l'organisation structurelle, mais aussi temporelle des premiers énoncés. Ces derniers sont souvent décrits comme étant des énoncés redupliqués du type [bababa…] dont les séquences syllabiques sont perceptiblement isochrones. La fermeture consonantique, de faible énergie et de courte durée, et l'ouverture vocalique, de forte énergie et d'une durée plus longue, produisent l'effet d'une régularité temporelle des séquences CV (Davis et MacNeilage 1995). Le rythme intrinsèque du cycle oscillatoire de la mandibule fournit le support temporel suffisant à l'existence de la structure syllabique. Celle-ci serait alors dépourvue de toute organisation segmentale ; à ce stade, les éléments du contenu ne sont pas encore contrôlés indépendamment. Les productions seraient de cette manière guidées par l'inertie des autres articulateurs. En effet, il semblerait que ce cycle mandibulaire n'associe aucune autre activité neuromusculaire contrôlée. De ce fait, aucune organisation subsyllabique ne peut être détectée si ce n'est la prédominance de certains patrons de cooccurrence marquant la forte corrélation des mouvements linguaux et mandibulaires. Trois modèles d'associations sont alors mis au jour, sur la base de transcriptions de corpus, par Davis et MacNeilage (1994). Une première tendance combinatoire, appelée cadre pur, se définit par l'association préférentielle des consonnes labiales aux voyelles centrales. Dans ce cas, la contribution articulatoire de la langue est nulle. Cependant, une légère participation linguale peut être détectée lors de la production de la consonne, mais sa position sera maintenue lors de la phase d'ouverture. D'où l'existence de deux autres patrons : le cadre antérieur où les consonnes coronales sont associées aux voyelles antérieures, et le cadre postérieur où les consonnes vélaires sont combinées aux voyelles postérieures.

Ainsi, si la contrainte des premières productions s'appuie sur le rythme intrinsèque de l'oscillation mandibulaire, il est alors légitime de se demander si la perturbation du cadre syllabique ne présenterait pas les premiers indices de l'émergence du segment. Le premier pas vers le contrôle segmental passerait par la maîtrise des événements temporels, dont la manifestation serait la variation de la durée des syllabes successives. Des énoncés canoniques du type /bababa…/ le bébé passerait à des énoncés du type /babaababaaaba…/ ayant perdu leur régularité temporelle. Plus encore, la variation temporelle des phases intégrantes du cycle engagerait la désolidarisation des éléments du cadre et par conséquent leur indépendance ; d'où l'émergence du contrôle segmental.

MÉTHODE

Sélection des Sujets

Deux enfants de sexe masculin, âgés de 9 mois et 8 mois et 1 semaine, ont été recrutés, sur autorisation parentale, dans une crèche de Strasbourg. Avant de débuter notre investigation, nous nous sommes assurée du développement sain de chaque sujet. Aucun d'entre eux ne présentait de troubles moteurs, auditifs ou psychologiques.

Collecte de données

Des enregistrements audio individuels, d'une durée de 20-25 minutes ont été réalisés chaque semaine pendant 6 mois. Ce délai correspondait au seuil maximal d'attention.

Le sujet était alors installé dans un parc dans le but de réduire son espace de déplacement. Ses jouets favoris étaient mis à sa disposition afin d'initier une phase ludique d'interaction avec l'investigateur. Même si les premières séances furent moins fructueuses, la phase d'habituation ne fut que de courte durée. Le système d'acquisition était constitué d'un DAT (Sony TCD-D3) et d'un micro directif (BST à condensateur UM-3). Il était placé à proximité du bébé, mais hors de sa portée afin de ne pas trop attirer son attention.

Analyse de données

Environ 1 à 2 minutes de productions enfantines pouvaient, en moyenne, être extraites d'une séance d'enregistrement. Sur ces quelques minutes, nous avons dû sélectionner les séquences exploitables en fonction du type, nous avons retenu les types C occlusive + V ainsi que V + C occlusive (+ V), et en fonction de la qualité (les séquences trop bruitées n'ont pas été analysées). Par la suite, chacune des séquences babillées fut transcrite, puis segmentée et étiquetée à l'aide du logiciel Praat.

Nous avons alors porté notre intérêt sur les événements cycliques au sein des énoncés polysyllabiques. Un cycle peut être défini comme l'intervalle temporel existant entre la réitération d'un même événement acoustique. Notons que les énoncés bisyllabiques se sont révélés majoritaires.

Ainsi avons-nous désigné comme cycle, la distance temporelle existant entre deux relâchements (cycle 1 ou cycle des relâchements) lorsque la séquence est constituée de 2 syllabes CV au minimum (*cf.* figure 1). Malheureusement, la fiabilité de cette segmentation au sein d'un signal bruité est restreinte à cause d'une explosion-friction difficilement repérable.

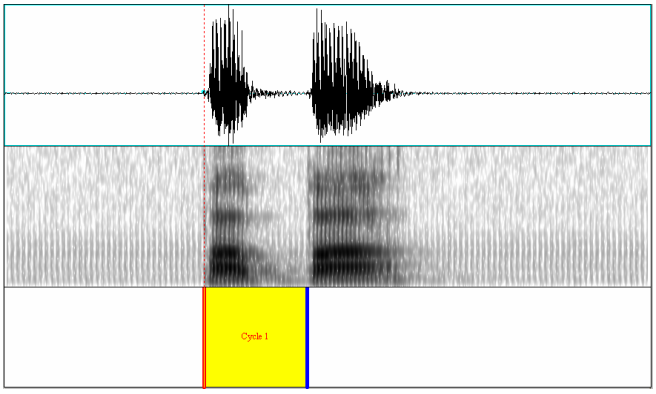


Figure 1 : Segmentation du cycle 1

C'est pour cette raison que nous avons préféré exclure ce cycle et en considérer un autre, le cycle 2 ou cycle vocalique. Celui-ci s'étend du début d'une structure formantique vocalique stable au début de la structure formantique vocalique stable subséquente (*cf.* figure 2). En termes articulatoires, ce cycle s'initie par un état suffisamment ouvert du conduit vocal permettant l'apparition des résonances vocaliques adéquates ; il encadre la phase consonantique obstruante.

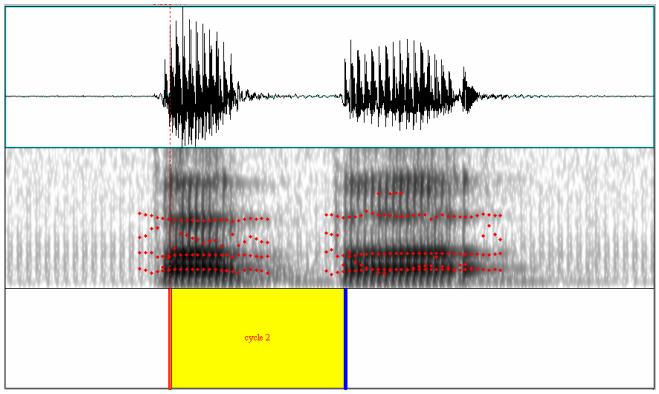


Figure 2 : Segmentation du cycle 2

Cependant, nous nous sommes rendue à l'évidence qu'il était impossible d'analyser la voyelle finale dans ce cadre. Par conséquent, afin d'inclure la dernière syllabe dans notre analyse, nous avons choisi d'intégrer un troisième marquage cyclique, que nous appellerons cycle 3 ou cycle consonantique, qui prend place de la fin d'une structure formantique stable à la fin de la structure formantique stable suivante (*cf.* figure 3). C'est un cycle de closion articulatoire, englobant la phase vocalique V2.

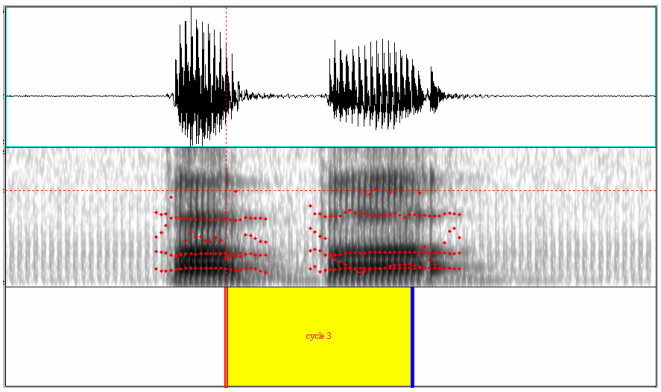


Figure 3 : Segmentation du cycle 3

Ce sont les résultats obtenus pour ce cycle que nous avons choisi de présenter. D'une part, parce que les tendances obtenues pour le cycle 2 sont relativement proches et d'autre part, parce que le cycle 3 correspond à la description physiologique du cycle selon MacNeilage (c'est-à-dire à la configuration CV).

Analyse

Groupes d'âge

Nous avons établi des classes d'âge bien distinctes en centrant notre intérêt sur trois étapes du développement : 9-10 mois ; 12 mois et 14-15 mois. Ces étapes correspondent respectivement au stade du babillage tardif, à l'apparition des premiers mots et à l'enrichissement lexical.

Projections graphiques

La structure même de nos données expérimentales, caractérisées en particulier par un nombre très hétérogène de mesures et par des variances très différentes selon les catégories d'âge, ne nous autorise pas à pratiquer une analyse statistique classique sous forme de test de Student ou d'analyse de la variance. Aussi, afin de rendre compte de l'émergence de l'indépendance segmentale, avons-nous eu recours, dans une première phase de notre analyse, à l'observation graphique de l'évolution de la durée du cycle 3 et de la proportion vocalique au sein même de ce cycle. La phase d'ouverture pourrait porter les premières traces de variation. Il semble, en effet, plus évident de contrôler la configuration buccale ouverte que la configuration fermée. Contrairement à la phase de fermeture, l'ouverture n'est pas contrainte par les mêmes pressions aériennes subglottiques. Elle serait, par conséquent, plus facile à maintenir et pourrait ainsi subir de plus grands changements temporels. Puis,

nous nous sommes orientée vers l'étude du rapport existant entre les valeurs des durées consonantiques et vocaliques dans le cycle. D'une part, pour examiner l'existence éventuelle d'une variation simultanée des deux phases du cycle et d'autre part, pour savoir si une relation entre l'évolution de leur variation pourrait être mise au jour.

RÉSULTATS

SUJET 1 (Pierre)

A. Relation cycle (ms)/ Voyelle (%)

Au stade du babillage, l'instabilité des proportions vocaliques au sein du cycle 3 est attestée par l'étendue de l'espace de dispersion (*cf.* figure 4). Le cycle apparaît également variable et long avec une moyenne de 490.54 ms et un écart-type de 226.75 ms. La gaussienne correspondante (*cf.* figure 5) illustre cette fluctuation.

Puis, à 12 mois, la durée du cycle tend à diminuer (valeur moyenne 350 ms) et à se stabiliser, sa variabilité décroissant sensiblement, tandis qu'à l'intérieur du cycle, la variabilité de la proportion vocalique se maintient. À ce stade, la voyelle offre une moyenne de 35.9 % à laquelle est associé un écart-type de 18.41%. L'émergence du phénomène de stabilisation du cycle se manifeste par la rétraction de l'axe horizontal de l'ellipse de dispersion (*cf.* figure 4).

À 15 mois, le pic de probabilité, s'élevant à 300 ms (*cf.* figure 5), indique clairement que le cycle se stabilise. Les proportions vocaliques se concentrent aux environs de 40% et 50%. L'espace de dispersion (*cf.* figure 4) se contracte, tant dans son axe horizontal que vertical, laissant transparaître la réduction de la variation temporelle du cycle et de la voyelle. Cette variabilité, bien que réduite, n'est pourtant pas complètement dissoute. En effet, la moyenne du cycle s'élève à 266.63 ms et son écart-type à 74.21 ms. En ce qui concerne la proportion vocalique, la valeur moyenne est de 40.44% et l'écart-type de 11.23%.

Un chemin accidenté vers l'acquisition du timing. In *Perturbations et Réajustements*. Vaxelaire B., Sock R., Kleiber G. & Marsac F. (Eds.), 35-50.

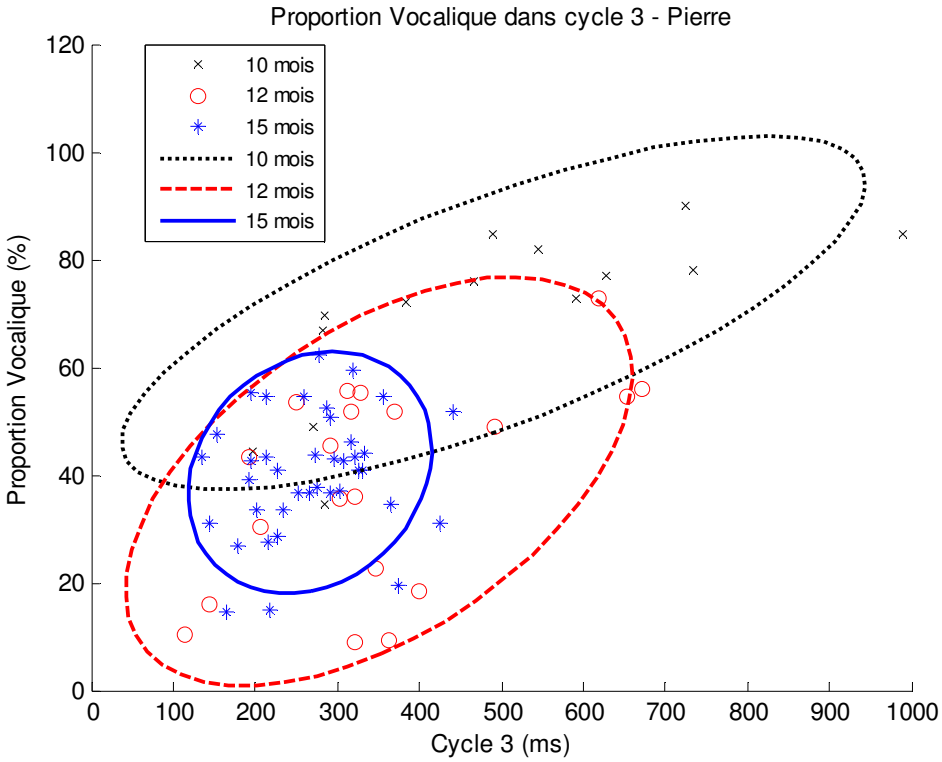


Figure 4 : Durée cycle 3 (ms)/V (%) : sujet 1

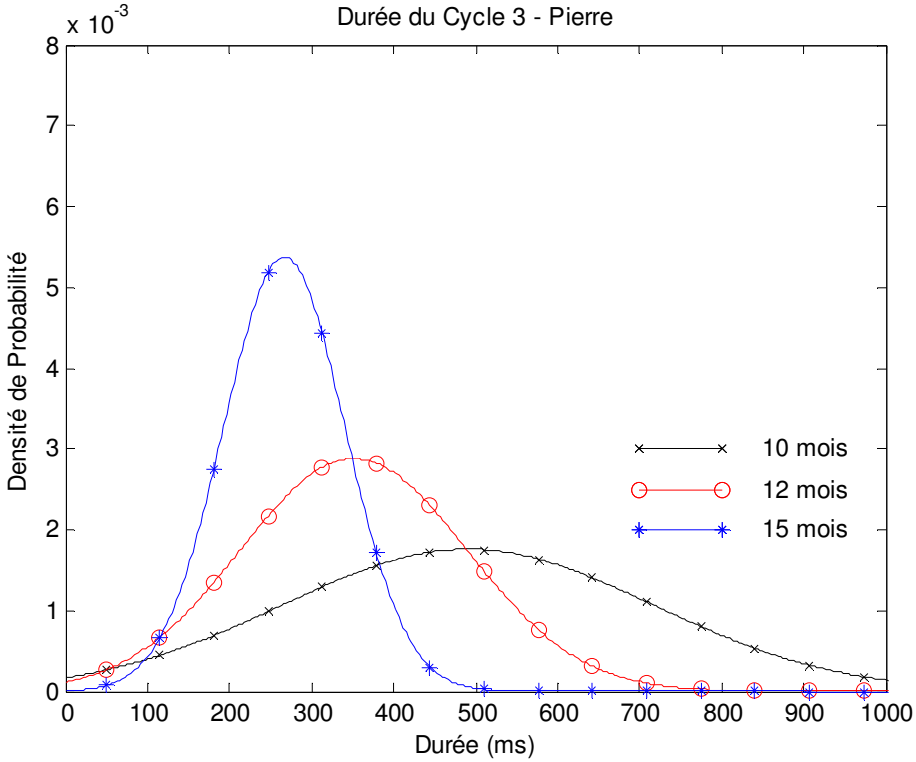


Figure 5 : Évolution de la durée du cycle 3 : sujet 1

En somme,

Dans un premier temps, les dispersions vocalique et cyclique sous-tendent une certaine variabilité à 10 mois.

Puis, à 12 mois, la variabilité vocalique se maintient alors que la durée du cycle tend à se stabiliser. La déduction de l'évolution de l'indépendance temporelle de la phase d'ouverture est dès lors possible.

Enfin, à 15 mois, la réalisation du cycle se concentre aux environs de 3Hz, commençant ainsi à se rapprocher de la durée moyenne d'une syllabe adulte (environ 200-250 ms Crystal et House 1990, Fougeron et Jun 1998…) ; et les proportions vocaliques se centralisent entre 40% et 50%. Le rythme mandibulaire s'accélère, la phase d'ouverture se voit restreinte dans sa variabilité sans pour autant en être dépourvue. On s'orienterait donc vers une variabilité contrôlée de la phase d'ouverture qui suggérerait l'affinement du contrôle des gestes articulatoires.

B. Évolution du rapport CV

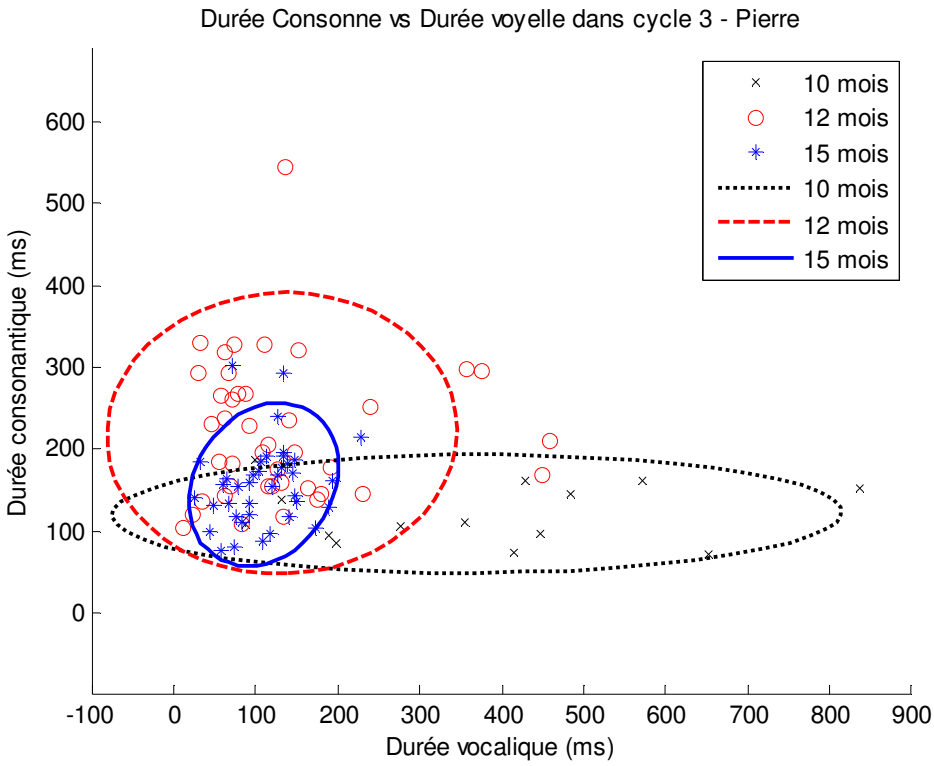


Figure 6 : Rapport Voyelle/ Consonne au sein du cycle 3 : sujet 1

À 10 mois, la variabilité affecte la phase d'ouverture, soit l'élément vocalique (*cf.* figure 6).

À 12 mois, la variabilité évolue au niveau consonantique. (L'écart-type s'élève à 84.93 ms pour une moyenne de 218.71 ms).

Pour finir, à 15 mois, l'ellipse de dispersion se rétracte tant dans son axe horizontal que vertical de sorte que les constituantes vocaliques et consonantiques se concentrent autour de 100-200ms (*cf.* figure 6).

En résumé,

Dès 10 mois, les premières traces de variation sont essentiellement détectables au niveau vocalique. Nous pouvons alors supposer qu'il est plus facile, à un âge précoce, de moduler une phase d'ouverture dans la mesure où les contraintes articulatoires sont moins lourdes que pour la phase de fermeture. Les consonnes occlusives, uniquement observées dans l'analyse, sont certainement plus difficilement contrôlables. La durée de la tenue est directement influencée par la puissance que la pression supra glottique exerce sur les articulateurs. Une fois que la pression atteint un certain niveau, l'air ne peut plus être retenu et le relâchement s'opère. Par conséquent, il semble moins évident, à ce stade, de moduler ce facteur biomécanique qu'une phase d'ouverture buccale qui n'est soumise à aucun obstacle.
Plus tard, la variation s'étend à la consonne. Le sujet a donc développé la faculté de moduler ces phases d'ouverture et de fermeture dans le temps. Néanmoins, les traces d'un équilibre V-C sont perceptibles.

Enfin, à 15 mois, la variation se restreint et un équilibre notoire V-C est détecté.

Il semblerait donc que, dans un premier temps, le bébé se familiarise avec les possibilités temporelles des phases du cycle mandibulaire et que, dans un second temps, il recentre le timing de ses mouvements. Cette rétraction sous-tendrait un contrôle plus fin du paramètre temporel. Ce contrôle pourrait être lié aux productions réalisées à cet âge. En effet, les premiers mots émergent et leur agencement implique certaines contraintes phonotactiques et par conséquent articulatoires et temporelles.

SUJET 2 (Robin)

La tendance décrite précédemment est perceptible même si elle s'avère beaucoup moins distincte. En effet, la zone de dispersion est beaucoup moins étendue chez le sujet 2. Par ailleurs, les occurrences sont moins nombreuses et les dernières séances d'enregistrement

moins tardives. En outre, chaque enfant n'évolue pas de même manière en même temps, il ne faut donc pas négliger la variation interindividuelle dans le développement.

C. Relation cycle (ms)/ Voyelle (%) en fonction de l'âge

Malgré quelques divergences interindividuelles, le sujet 2 suit un schéma évolutif relativement proche de celui observé pour le sujet 1.

À 10 mois, bien que la majorité des durées cycliques recensées oscillent déjà autour de 300 ms, le cycle offre sa configuration la plus variable et inclut une certaine variation de la phase d'ouverture. La proportion de V s'établit entre 10.33% et 56.12%, observant ainsi un écart-type de 11.07% pour une valeur moyenne de 37.37%.

À 12 mois, l'axe horizontal de l'ellipse se réduit laissant présumer un affaiblissement de la variabilité du cycle (*cf.* figure 7), le pic de la gaussienne (*cf.* figure 8) maintient sa probabilité préférentielle à 300 ms soit 3Hz. Au niveau de la proportion vocalique, la variabilité s'étend et la plupart des points couvrent des proportions allant de 40% à 60%.

Enfin, à 14 mois, une recentralisation de l'espace de dispersion est perceptible (*cf.* figure 7). Les proportions vocaliques se rassemblent aux environs de 40%, et varient plus exactement entre 36.9% et 49.61%, avec un écart-type de 13.93% pour une moyenne de 43.12%. La variation cyclique oscille toujours aux environs de 300 ms, mais la variabilité est canalisée. Ce contrôle de la variabilité est notamment confirmé par une probabilité plus forte du cycle à atteindre cette valeur à cet âge (*cf.* figure 8).

Un chemin accidenté vers l'acquisition du timing. In *Perturbations et Réajustements*. Vaxelaire B., Sock R., Kleiber G. & Marsac F. (Eds.), 35-50.

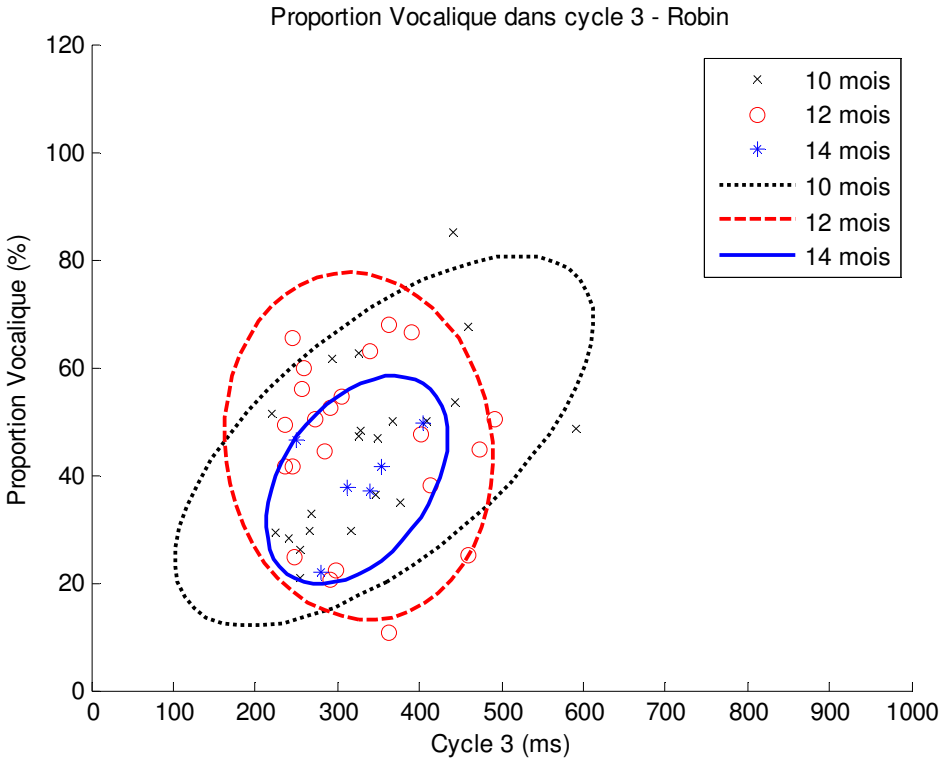


Figure 7 : Durée cycle 3 (ms)/V (%) : sujet 2

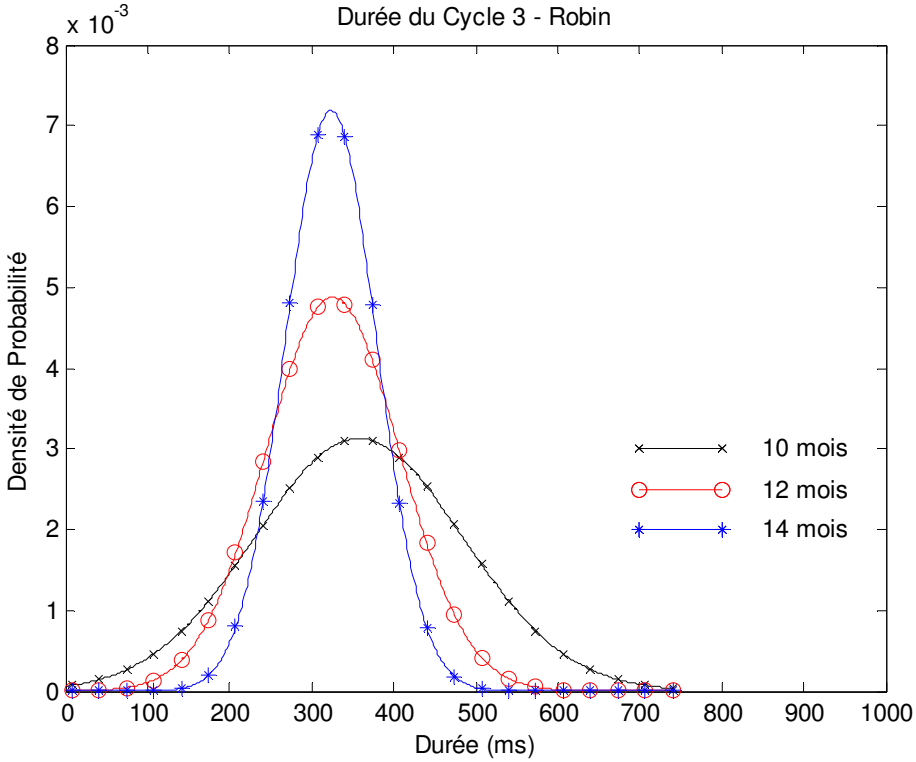


Figure 8 : Évolution de la durée du cycle 3 : sujet 2

En d'autres termes, le rythme mandibulaire est relativement stable chez Robin à un stade très précoce et comme chez Pierre la stabilité est recensée autour de 300 ms. Toutefois, on observe une réduction constante de sa variabilité au cours de la période étudiée. La variabilité vocalique déjà présente à 9-10 mois évoluera jusqu'à 12 mois laissant penser à l'émergence du contrôle segmental. Le contrôle évoluera avec la recentralisation du timing de la phase d'ouverture qui devra à 15 mois respecter les contraintes temporelles intrinsèques de la parole adulte avec la production des premiers mots.

D. Évolution du rapport VC

À 10 mois, la variabilité segmentale semble se manifester à travers l'élément vocalique (*cf.* figure 9). En effet, la moyenne de la durée vocalique, qui est de 121.14 ms, varie autour d'un écart-type de 48.76 ms (soit 40.25% de la valeur moyenne). La durée consonantique, moins distincte, offre une moyenne de 188.39 ms qui oscille autour d'un écart-type de 42.67 ms.

Cette fluctuation affecte la consonne à 12 mois.

Enfin, l'évolution 12-14 mois voit émerger les prémices d'une centralisation. L'espace de dispersion se réduit nettement dans ses deux axes (*cf.* figure 9), illustrant un équilibre temporel entre les deux composantes. Il est vrai que leur durée vient essentiellement se placer entre 100 et 200 ms.

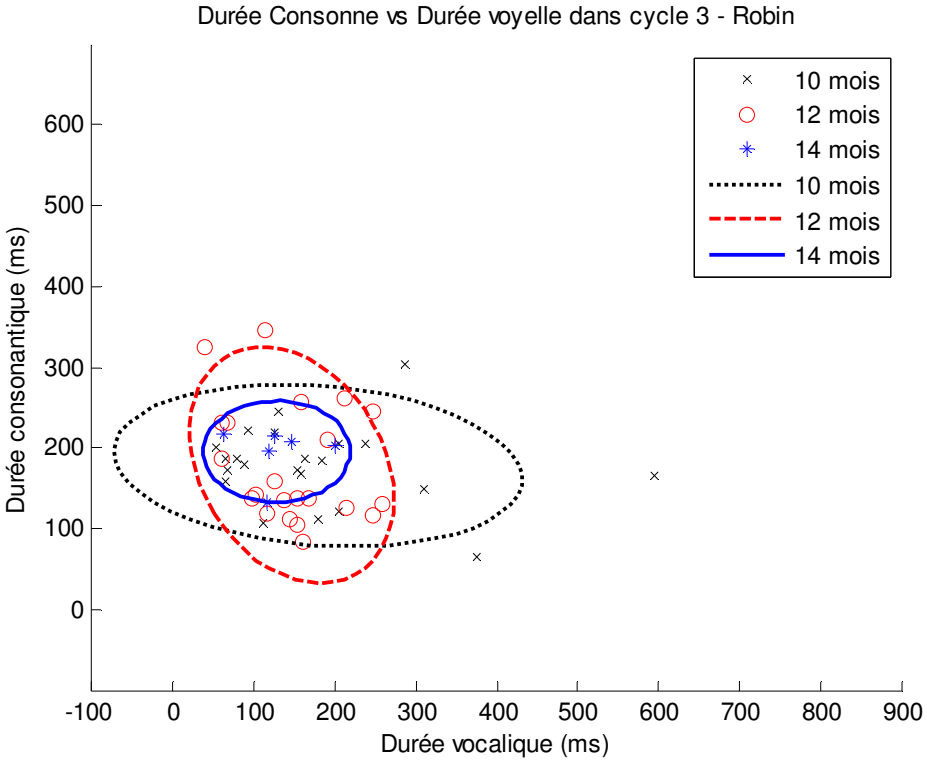


Figure 9 : Rapport Voyelle/ Consonne au sein du cycle 3 : sujet 2

En somme,

La variabilité articulatoire est dès lors présente à 10 mois, et est principalement perceptible au niveau vocalique. Puis la variation temporelle s'étend à la consonne à 12 mois.

Enfin, un début de rétraction de la variabilité émerge au stade le plus tardif de l'observation, de sorte que les composantes vocaliques et consonantiques viennent préférentiellement se situer autour des valeurs avoisinant 100 et 200 ms. Il ne s'agit là que de légères traces chez le sujet 2 dans la mesure où le nombre d'occurrences est trop faible pour interpréter ces résultats de manière fiable.

DISCUSSION

Nous avions prédit une progression de la perturbation de l'organisation temporelle du cadre syllabique et de son contenu comme indice de l'accroissement du contrôle segmental. Or, nous n'observons pas d'évolution linéaire de la variabilité sur la période étudiée. Mais cela n'infirme pas pour autant nos hypothèses. En effet, une étude plus détaillée nous permet au contraire de les vérifier.

Le contrôle émergerait alors de deux phases. Après la régularité cyclique du stade précoce du babillage, défendue dans la littérature (*cf.* Introduction), le bébé, aux alentours de 10 mois, se libérerait des contraintes articulatoires pesant sur ses réalisations et commencerait à explorer les possibilités temporelles de ses mouvements en faisant varier ses phases d'ouverture et de fermeture. Ces changements auraient donc dans un premier temps des répercutions sur la stabilité temporelle du cycle. Il existerait donc, à ce stade, une corrélation entre la variation du contenu et celle du cadre. Progressivement, le contrôle du cadre se dessine puisqu'il n'est plus soumis à la dominance du rythme intrinsèque de la mandibule. Puis, il semblerait que la perturbation cyclique s'atténue sans que les composantes consonantique et vocalique ne perdent leur variabilité (12 mois). La stabilisation temporelle du cadre opposée à la variation de son contenu indique que les éléments constitutifs de la syllabe, formant au préalable une unité, se désolidarisent et deviennent des entités articulatoires indépendamment contrôlées : les segments. Cette hypothèse est d'autant mieux illustrée que la variabilité affecte en premier lieu la voyelle (10 mois) avant de toucher plus tardivement la consonne (12 mois).

Le processus d'évolution n'est pas homogène entre les sujets au cours de cette première phase. L'espace de dispersion couvert est souvent plus vaste chez le sujet 1.

Cependant, malgré ces quelques divergences, nous relevons un schéma évolutif offrant des tendances analogues et plus particulièrement une convergence, lors de la dernière période d'âge étudiée, vers des caractéristiques très similaires : un cycle mandibulaire de fréquence moyenne 3Hz, un équilibre V/C et par conséquent une variabilité temporelle réduite tant pour le cycle que pour ses composantes. La fréquence 3Hz étant la fréquence préférentielle des oscillations mandibulaires masticatoires de l'adulte (Morimoto *et al.* 1984), nous pouvons faire le raisonnement que les productions des deux bébés évoluent vers des patrons temporels matures, mais qui ne sont pas encore ceux de la parole (5-6 Hz : Lindblom 1983, Crystal et House 1990, Fougeron et Jun 1998, Jürgen 1998). Nos résultats convergent alors avec les conclusions d'études antérieures ayant prouvé que les segments de la parole enfantine étaient souvent plus longs que ceux de la parole adulte jusqu'à une période tardive. Smith (1984) a ainsi observé que les mouvements articulatoires, malgré des patrons de déplacement similaires entre un groupe d'enfants âgés de 4 ans ½ à 7 ans et un groupe de sujets adultes, étaient plus lents chez les jeunes locuteurs : la vitesse mandibulaire pouvant être jusqu'à deux fois supérieure chez l'adulte.

Ainsi, nos résultats, tout en confirmant notre hypothèse selon laquelle l'émergence d'un contrôle segmental passerait par la variabilité de l'organisation temporelle au sein du cycle mandibulaire, font apparaitre l'existence d'une seconde phase, celle où les productions de l'enfant s'affinent et commencent à s'approcher de celles de l'adulte. Cette étape est sans doute la manifestation la plus probante de l'émergence du contrôle, car l'évolution du cycle mandibulaire observée ne peut guère s'expliquer par des critères purement biomécaniques. La croissance crânienne de l'enfant entre 8 et 15 mois ne saurait en effet justifier une telle variation de la fréquence modale de la mandibule. Il s'agit bien d'une variation contrôlée, et on peut émettre l'hypothèse que c'est par mimétisme que l'enfant adapte progressivement sa cyclicité mandibulaire à celle de l'adulte (Studdert Kennedy 2000).

CONCLUSION

L'émergence d'un contrôle segmental s'amorce au stade babillage tardif et se poursuit jusqu'aux premiers mots. Ce développement se caractérise par une première phase au cours de laquelle le bébé se familiarise avec les possibilités de variation temporelle du cycle mandibulaire et des éléments de son contenu, et une seconde phase où il affine le contrôle du timing de ses mouvements. La première phase, marquée par de larges variabilités temporelles (10 mois), serait le reflet de la désolidarisation des phases syllabiques et par conséquent de l'émergence de leur indépendance articulatoire. Puis, viendrait la phase de réduction de la

variabilité (14-15 mois), laquelle impliquerait le contrôle des mouvements et par conséquent l'affinement du geste par mimétisme avec les productions de l'adulte.

Remerciements à ACI TTT-2003-2006, Ministère de la Recherche, ainsi qu'à MM. Les Professeurs Pascal Perrier et Rudolph Sock.

BIBLIOGRAPHIE

Crystal, T.H., & House, A.S. (1990). Articulation rate and the duration of syllables and stress group in connected speech. *Journal of the Acoustical Society of America,* 88 (1), 101-112.

Davis, B.L. & MacNeilage, P.F. (1995). The articulatory basis of babbling. *Journal of Speech and Hearing Research,* 38, 1199-1211.

Davis, B.L. & MacNeilage, P.F. (1994). Organisation of babbling: a case study. *Language and Speech,* 37, 341-355.

Fougeron, C., & Jun, S. A. (1998). Rat effects on French intonation : prosodic organisation and phonetic realization. *Journal of Phonetics,* 26, 45-69.

Green, J.R., Moore, C.A., Reilly, K.J. (2002). The sequential developpment of jaw and lip control for speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research,* 45, 66-79.

Green, J.R., Moore, C.A., Higashikawa, M., Steeve, R.W. (2000). The physiologic development of speech motor control: lip and jaw coordination. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research,* 43, 239-255.

Jürgens Y. (1998). Speech evolved from vocalization not mastication. Réponse à MacNeilage, P.F. (1998). The Frame/Content theory of evolution of speech production. *Behavioral and Brain Sciences,* 21, 519-520.

Konopczynski, G. (1986). Vers un modèle développemental du rythme français : problèmes d'isochronie reconsidérés à la lumière des données de l'acquisition du langage. *Bulletin de l'Institut de Phonétique de Grenoble*, 15, 157-190.

Lindblom, B. (1983). Economy of speech gestures. In *The Production of Speech* P.F. MacNeilage (Ed.). Springer Verlag, N.Y.-Heidelberg, 217-245.

MacNeilage, P.F. & Davis, B.L. (2003). Universal intrasyllabic paterns in early acquisition. *15th International Congress of Phonetic Sciences Barcelona.*

MacNeilage, P.F. (1998). The Frame/Content theory of evolution of speech production. *Behavioral and Brain Sciences,* 21, 499-546.

Morimoto, T., Inoue, T., Nakamura, T. & Kawamura, Y. (1984). Frequency dependent modulation of rhythmic human jaw movements. *Journal of Dental Research,* 68, 1310-1314.

Munhall, K.G. & Jones, J.A. (1998). Articulatory evidence for syllabic structure. *Behavioral and Brain Sciences,* 21, 524-525.

Smith, B.L. & Gartenberg, T.E. (1984). Initial observations concerning developmental characteristics of labio-mandibular kinematics. *Journal of the Acoustical Society of America,* 75 (5), 1599-1605.

Studdert Kennedy, M. (2000).Imitation and the emergence of segments. *Phonetica,* 57, 275-283.

Annexe 6 : communications

COMMUNICATIONS----------

"Emergence of tongue gestures at the babbling stage" (M. Canault, R. Laboissière, P. Perrier, R. Sock) *German-French Summerschool on "Cognitive and physical models of speech production, perception and perception-production interaction. Part II : Brain and Speech"*, Autrans, 16-21 septembre 2007

"Dissociation of the Tongue/Jaw movements: A kinematic and acoustic study of mandibular and lingual movements in babbling" (M. Canault & R. laboissière), *Colloque VOCOID (VOcalisation, Communication, Imitation and Deixis*, Grenoble, 14-16 mai 2007

"Exploring the ontogeny of speech: from babbling babies to hand/jaw coordination" (R. Laboissière, M. Canault & A. Galvan), *Japanese-French Frontiers of Science Symposium*, Kanagawa, 27-29 janvier 2007

"L'émergence du contrôle segmental au stade du babillage : une étude acoustique" (M. Canault, P. Perrier, R. Sock), *XVIèmes Journées d'Etude sur la Parole*, Dinard, 12-16 juin 2006

"Emergence du contrôle du segment chez l'enfant au stade du babillage ", *Première Journée d'Etudes, Linguistique, Langues et Parole*, Strasbourg, juin 2005

"Un chemin accidenté vers l'acquisition du timing ", *Colloque réseau COGNIEST «Perturbations et Réajustements »,* Haguenau, 1-3 décembre 2004

"Infant speech production acquisition: a sensori-motor approach". *German-French Summerschool on "Cognitive and physical models of speech production, perception and perception-production interaction"*, Lubmin, 19-24 septembre 2004

"L'émergence du babillage et la théorie Frame/Content de MacNeilage ", *Séminaire IPS*, Strasbourg février 2004

RÉSUMÉ

L'acquisition du langage est un processus long et complexe au cours duquel le bébé doit faire émerger une compétence linguistique spécifique tout en développant ses performances motrices.

Le babillage, période que l'on situe généralement entre l'âge de 6 mois et l'âge de 12 mois, s'inscrit comme une phase transitoire capitale de l'évolution du langage au cours de laquelle un certain nombre d'habiletés vont se mettre en place.

C'est au cours de cette période développementale que les premières syllabes émergent. Dans un premier temps, elles sont redupliquées (babillage redupliqué), puis elles vont peu à peu offrir des configurations différentes (babillage varié). Toutefois, cette première forme de structuration du langage ne serait pas le résultat d'un développement moteur, mais plutôt celui de fortes contraintes imposées par la mandibule. C'est du moins ce que défend la théorie « *Frame then Content* » de MACNEILAGE (1998) pivot de notre recherche. L'alternance des phases d'ouverture et de fermeture de la cavité buccale, sous l'impulsion de cet articulateur, offre un enchaînement syllabique régulier. Au stade précoce du babillage, la mandibule domine le système de production alors que la langue est soumise à une relative inertie articulatoire.

Bien que la mandibule soit le seul articulateur actif, elle ne serait pas encore contrôlée au début du babillage. C'est à l'âge d'un an que la mandibule atteindrait sa maturité, c'est-à-dire à la fin du babillage.

Nous chercherons donc, dans un premier temps, à savoir comment va s'établir l'évolution du patron temporel des gestes mandibulaires. Mais nous tendrons également à montrer comment les déplacements de la langue vont se dissocier de ceux de la mandibule pour devenir indépendants avec l'âge.

Deux jeux de données seront exploités, un échantillon de données acoustiques et un échantillon de données acoustiques et articulatoires (Optotrak) couplées.

Mots clés : acquisition du langage – babillage – développement – contrôle articulatoire – mandibule- dissociation langue/ mâchoire

ABSTRACT

Speech acquisition is a long and complex process during which a specific linguistic competence of the baby emerges while developing his motor performance.

Babbling, a period between 6 and 12 months is an important transitory phase of language evolution during which motor abilities will be developed.

At this stage, the first syllables will emerge. First, they are reduplicated (reduplicated babbling), then will progressively take different configurations (variegated babbling). However, this formative stage would not result from motor development, but from strong constraints imposed by the jaw. This is what MACNEILAGE's "Frame then Content" theory, core issue of this research, assumes. Open/close alternation of the vocal tract, under jaw activation, creates regular syllabic sequencing. At early babbling stage, the jaw dominates the production system, whereas the tongue is subject to relative articulatory inertia.

Even if the jaw is the only active articulator, it would not be controlled at the beginning of babbling. It is around the age of 1 year that it would achieve its maturity, *i.e.* at the end of babbling.

An attempt will be made to find out how this articulator will be temporarily controlled with time, and also show how tongue displacements will be dissociated from the mandible to become independent with age.

Two types of data will be exploited, acoustic data and acoustic data associated with cinematic data (Optotrak).

Key words: speech acquisition – babbling – development – articulatory control – mandible – tongue/jaw dissociation