

Le développement de la motricité bucco-faciale

Mélanie CANAULT

Laboratoire Dynamique du Langage -UMR 5596 CNRS - Université Lumière Lyon 2

Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation -Université Claude Bernard Lyon 1

Introduction

La production de la parole est une activité complexe et rapide qui nécessite la coordination spatiale et temporelle de l'appareil respiratoire, du larynx et des organes bucco-phonatoires, mais le système moteur bucco-facial du très jeune enfant ne possède pas encore ce potentiel de complexité.

Apprendre à parler ne relève pas uniquement de la maturation du système moteur. Des représentations acoustiques, articulatoires et kinesthésiques doivent également être acquises pour l'ensemble des sons de la langue dans laquelle évolue le petit locuteur en apprentissage du langage. Par ailleurs, tout en développant ces représentations il devra faire face aux changements anatomiques, cognitifs et perceptifs qui s'opèrent au cours du développement (Green, Moore & Reilly, 2002, Khul & Meltzoff, 1982, Vorparian et al 2005).

Le développement des facultés motrices pour la fonction de parole est alors à considérer comme un processus long soumis à de nombreux facteurs. Le contrôle de l'ensemble des articulateurs serait acquis aux environs de 5-6 ans même si des changements significatifs apparaissent encore jusqu'à l'adolescence (Walsh & Smith 2002, Smith & Zelaznik 2004). Dans ce chapitre nous reviendrons dans un premier temps sur les contraintes motrices pesant sur le système de production précoce, puis sur les différentes étapes de maturation du contrôle moteur de la mandibule, des lèvres, de la langue et du velum. Enfin, nous verrons également que pour accéder au modèle de la langue cible, le système perceptif du bébé va jouer un rôle déterminant sur la spécialisation du système de production.

Des contraintes motrices précoces

Le processus de production des sons de la parole fait intervenir trois niveaux : le niveau respiratoire, le niveau phonatoire et le niveau articulatoire. Chacun d'entre eux implique l'activation d'un ou plusieurs organes dont certains seront contrôlés plus tôt que d'autres.

La respiration et la phonation

La respiration et la phonation sont les premiers niveaux engagés dans le processus de production de la parole. Leur contrôle n'est pas acquis à la naissance, mais il le sera relativement tôt. Dès l'âge de 5 mois, les activités respiratoires et laryngées du bébé se rapprocheraient de celles de l'adulte (Koopman van Beinum & Van der Stelt 1979, de Boysson-Bardies 1999).

La respiration

Les poumons ont avant tout une fonction vitale, mais ils vont aussi générer la source d'énergie qui sera ensuite modulée lors du processus de production des sons. Le système respiratoire va donc subir d'importantes modifications au cours du développement (Beck 1996). La fermeture de l'arrivée d'air au nez par le velum, rendue possible grâce à l'avancement du palais et l'ouverture du pharynx, va avoir un impact majeur sur le contrôle respiratoire lors de la production de parole dès l'âge de 3 mois. Le thorax va progressivement s'abaisser au cours des trois premières années et à l'âge d'un an, le volume pulmonaire a été multiplié par 6 par rapport à la naissance.

La phonation

La phonation renvoie au mécanisme de mise en vibration des cordes vocales nécessaire à la réalisation des sons. C'est aussi grâce à la fréquence de vibration des cordes vocales que la hauteur d'une voix pourra être qualifiée. Celle du bébé se situe autour de 400-450 Hz (Kent 1976) et est en partie liée à la taille des cordes vocales dont la longueur irait de 2.5 mm à 9 mm pour le nouveau-né. Alors que chez l'adulte elle avoisinerait 17 à 25 mm chez l'homme, et 11 à 21 mm chez la femme (Ménard 2002).

Plusieurs stades intervenant dans le processus du contrôle phonatoire ont été décrits (Koopmans van Beinum 1990). Entre l'âge de 1 mois et celui de 2 mois, le bébé peut produire une phonation continue sans articulation au cours d'un cycle respiratoire. Les premières traces de contrôle émergent vers 2 et 3 mois. Le bébé est alors en mesure d'interrompre sa phonation au cours d'un cycle phonatoire et c'est entre 3 et 5 mois qu'il pourra y superposer des mouvements articulatoires. On considère qu'à ce stade la phonation est maîtrisée.

Le conduit vocal

Au cours des deux premiers mois de la vie, les productions du nouveau-né se caractérisent principalement par des sons végétatifs ou réactionnels qui se manifestent souvent par des cris ou des pleurs. Ces manifestations n'en ont pas moins une fonction communicative car elles vont témoigner de l'état physiologique et émotionnel (faim, colère) du bébé. Des études ont d'ailleurs montré que certains parents étaient en mesure de distinguer la nature des pleurs de leur enfant (Barr et al 2000, Lester & Zachariah Boukydis 1985). Les caractéristiques acoustiques des cris seraient à l'origine de cette identification. En effet, les cris de faim présenteraient par exemple un rythme particulier avec des alternances entre les phases de cri

et de respiration et seraient précédés de grognements. Ceux de douleur auraient une fréquence fondamentale très élevée souvent associée à des variations brusques de hauteur (Stark et al 1975).

Les jeux vocaux vont ensuite se développer entre 2 et 5 mois. Au début, les sons sont produits essentiellement en position couchée et sont, par conséquent, principalement laryngés et vélaires (arrheu). Puis le bébé commence à moduler la hauteur et l'intensité de ses émissions de voix et à 5 mois, les premières productions vocaliques émergent ([aï:], [a:e]).

On comprend donc que les premières productions sont extrêmement limitées et cela s'explique en partie par la morphologie du conduit vocal qui contraint fortement la motricité des articulateurs. L'appareil articuloire va subir beaucoup de changements anatomiques entre l'âge de 2 mois et celui de 6 mois, mais sa transformation n'est toujours pas achevée à la fin de la première année.

On pourrait penser que le conduit vocal du nouveau-né est un modèle réduit de celui de l'adulte, mais la réalité est bien différente (cf. figure.1). On compare généralement le conduit vocal du nouveau-né à celui du primate (Lieberman, Crelin & Klatt 1972). Il possède en effet des caractéristiques bien spécifiques (Kent et Murray 1982).

La première d'entre elles concerne sa taille. Du pharynx aux lèvres, le conduit vocal mesure environ 8 cm à la naissance et 17 cm chez l'homme adulte (Goldstein 1980). Ces dimensions avaient déjà été déduites acoustiquement par Fant dès 1960. La plupart des structures du conduit vocal vont alors supporter une forte croissance au cours des 18 premiers mois de la vie. On considère que l'ensemble de ces structures atteint entre 55 et 80 % de la taille adulte à cet âge (Vorperian et al 2005). Cette croissance serait notamment liée à celle de la région pharyngale. En effet, chez le nouveau-né, la cavité pharyngale est relativement courte par rapport à la cavité orale alors que le rapport entre ces deux cavités s'inverse chez l'adulte (Fitch & Giedd 1999). Selon Goldstein (1980), le ratio « cavité pharyngale/cavité orale » serait de 0.5 à la naissance et de 1.1 à l'âge adulte.

La seconde caractéristique distinguant le conduit vocal de l'adulte de celui du jeune enfant est sa forme. Le canal oro-pharyngé présente une courbure à angle droit chez l'adulte, alors qu'il offre une configuration plutôt en pente douce chez le nouveau-né (Pinker 1994). C'est aux environs de 8-10 mois que cette courbure apparaît avec l'émergence de la station debout.

Par ailleurs, la masse linguale, située en avant de la cavité buccale, est relativement imposante pour le volume buccal chez le nouveau-né. Les possibilités de déplacements linguaux sont ainsi limitées et contraintes.

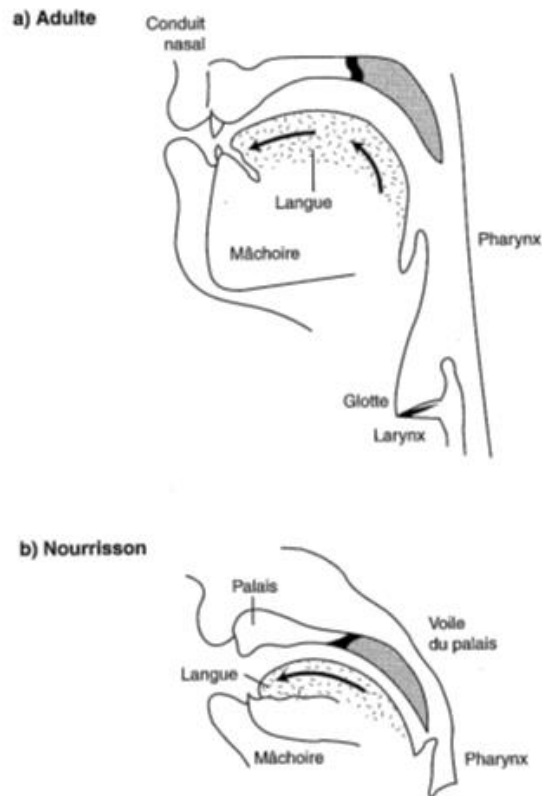


Fig. 1. Conduit vocal de l'adulte et du nourrisson (Kent 1976)

Enfin, la dernière grande différence concerne la position du larynx qui est plutôt haute chez le bébé. De ce fait, l'épiglotte entre en contact avec le palais mou. Le bébé est alors capable de déglutir et de respirer simultanément. Au cours de la croissance, le conduit vocal, se développe principalement dans le plan vertical (Boë et al 2011). La descente du larynx aura par conséquent un impact sur ce contact épiglottique et vélaire. En effet, à l'âge de 6 mois-8 mois, le contact de l'épiglotte et du velum apparaît uniquement lors de la déglutition, et il disparaît vers l'âge de 12-18 mois.

Ainsi constitué le conduit vocal du nourrisson ne lui permet pas de produire des sons articulés (Kent & Murray 1982).

Les articulateurs

La configuration du conduit vocal, notamment sa position haute, affecte directement la motricité bucco-faciale et a ainsi une incidence sur les productions précoces. Toutefois, ces contraintes motrices ne vont pas totalement disparaître dès que la descente de cet organe va s'initier.

La mandibule ou mâchoire inférieure

La mandibule contraint elle aussi le tout jeune système articuloire. Au-delà du fait qu'elle soit petite et rétractée chez le nourrisson (Buckley 2003), il s'agit d'un articuloire dominant qui va influencer le déplacement des articuloires portés tels que la langue, les lèvres et le velum, notamment au cours de la période du babillage et des premiers mots.

Le générateur des syllabes du babillage

Le babillage se caractérise par l'apparition des premières syllabes. Il émerge aux environs de 6 mois, mais sa forme précoce est assez rudimentaire (Kern 2001) dans la mesure où les premières syllabes recensées sont constituées de sons ayant perceptivement une valeur consonantique ou vocalique, mais dont les propriétés acoustiques et articuloires sont assez différentes du système mature. Puis très rapidement, un changement s'opère. D'un babillage rudimentaire, le bébé passe au babillage canonique (de Boysson-Bardies 1996, Kail & Fayol 2000). Les articulations sont plus fermes et les productions sont marquées par la prédominance de syllabes associant une consonne à une voyelle, les consonnes étant majoritairement des occlusives et les voyelles, des voyelles neutres comme [a]. A ce stade, les syllabes apparaissent le plus souvent dans un contexte redupliqué (Davis & MacNeilage 1995, MacNeilage 1998) et paraissent perceptivement isochrones (Konopczynski 1986 a, b, c, Davis & MacNeilage 1995).

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 articuloire, satisfèrait un schéma consonantique. Le contenu segmental viendrait ainsi se superposer au cadre syllabique et se matérialiserait par la participation active des autres articuloires (langue, lèvres), dont la position peut varier d'une phase à l'autre. Mais au stade du babillage les productions seraient la conséquence du déplacement vertical de la mandibule (le cadre superposé au processus de phonation) et les éléments constitutifs de la syllabe formeraient ainsi une unité articuloire. 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...* » du babillage relèveraient donc de l'utilisation du cadre en l'absence de contenu.

Une emprise sur les premières variations

Vers 10 mois, les combinaisons syllabiques commencent à se diversifier malgré une certaine constance du répertoire consonantique et vocalique. En s'installant dans le babillage varié, le bébé abandonne le cadre universel du babillage redupliqué et commence à élargir son potentiel articuloire. Le babillage varié se définit par un changement des consonnes et/ou des voyelles de syllabe à syllabe. On peut donc faire l'hypothèse que lorsqu'il émerge l'influence mandibulaire faiblit. Or, la variation intercyclique précoce est, elle aussi, ordonnée

par le mouvement mandibulaire. Ainsi, le babillage varié résulte-t-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 subissent principalement une modification du mode, soit un degré de fermeture variable, et les voyelles, une modification de l'aperture (Davis et MacNeilage 1994, MacNeilage 1998, Davis et al. 2002, MacNeilage & Davis 2003...).

Une influence qui persiste sur les premiers mots

Les premiers mots qui apparaissent aux environs de 12 mois sont encore affectés par la prédominance du mouvement mandibulaire. En effet, le phénomène de reduplication du même patron syllabique persiste au cours de cette période (Davis *et al.* 2002). Il existe également une certaine continuité du répertoire sonore et des associations entre le stade du babillage et celui des premiers mots même si de manière générale les formes sont simplifiées (Vihman et Miller 1988, Vihman 1996). On observe ainsi des omissions et des substitutions de segments en faveur des sons les plus simples à réaliser (par exemple les occlusives sont substituées aux fricatives), des suppressions de syllabes, des simplifications de clusters consonantiques, des duplications de syllabes et des harmonisations consonantiques. On attribue ce retour aux patrons articulatoires simplifiés à la complexification de la tâche cognitive. L'introduction de la charge lexicale va entraîner une compensation cognitive et motrice et le schéma articulatoire demandant un effort moins important est alors favorisé (Davis *et al.* 2002, MacNeilage & Davis 2003). Le bébé retourne ainsi aux déplacements articulatoires les plus simples, à savoir ceux générés par l'oscillation mandibulaire de base alliant une fermeture complète du conduit vocal à une ouverture vocalique.

Un lien étroit avec l'oralité alimentaire

Pendant la première année de vie les enfants développent simultanément les comportements oro-moteurs langagiers et alimentaires (Wilson et al 2008) et les mouvements mandibulaires de base, même s'ils engagent un couplage musculaire différent (Moore et al. 2004), seraient prédominants dans les deux types d'activité.

Ce lien pourrait trouver une explication phylogénétique. En effet, selon la perspective évolutionniste darwinienne (Darwin 1859), le processus d'évolution répond au principe de descendance avec modifications, c'est à dire que l'on ne construit pas de nouvelles structures à partir d'éléments non préexistants, mais au contraire, on s'approprie ce qui est disponible et on le réaménage. MacNeilage (1998) estime que l'ontogenèse pourrait synthétiser la phylogenèse et avance une filiation probable entre les cycles d'ingestion et la parole. Le développement de l'alternance ouverture / fermeture du cadre syllabique de la parole, est vu comme la réorganisation d'un cycle moteur déjà disponible dans l'usage : celui des cycles d'ingestion des mammifères. La mastication ou la succion, par exemple, générant la même activité oscillatoire mandibulaire (Redican 1975), aurait été modifiée pour des besoins de communication. Les gestes visuo-faciaux de communication distinctifs impliquant l'interaction sociale tels que le claquement de lèvres, de langue sont ainsi apparus chez le primate.

La relation existant entre les cycles d'ingestion et la parole pourraient par ailleurs s'expliquer par l'existence de propriétés cérébrales communes. En effet, la région inférieure du lobe frontal qui recouvre l'aire de Broca chez l'homme est le principal lieu cortical de contrôle des processus d'ingestion chez les mammifères (Woolsey 1958). Chez l'homme, les aires 44 (Broca) et 6 de Brodman sont à la fois impliquées dans la mastication (Luschei & Goldberg 1981) et la parole (Fox et al 1994). Notons cependant qu'il existe chez l'homme une aire motrice supplémentaire (AMS), aire immédiatement supérieure au cortex cingulaire antérieur, qui serait clairement impliquée dans la génération du cadre syllabique. En effet, la stimulation électrique de l'AMS suscite la production de vocalisations syllabiques rythmiques redupliquées (MacNeilage 1998). De plus, rappelons que le célèbre patient de Broca ne présentait pas de lésion au niveau de l'AMS et que son répertoire se limitait à la syllabe « tan » qui dans certains cas pouvait être redupliquée (Abry et al. 2001, Abry 2002).

Enfin, le lien existant entre le développement du langage et celui des comportements alimentaires serait aussi observable à travers l'étude des troubles de la sphère oro-faciale. Il s'avère ainsi que les enfants présentant un trouble de l'oralité alimentaire ont plus de risques d'avoir un trouble de l'oralité verbale associé (Vannier 2008, Palladino et al. 2007). Il suffit de considérer les nombreuses études sur le développement langagier d'enfants prématurés pour comprendre qu'un manque de stimulation orale précoce peut affecter le développement du langage (Guarini et al. 2009, Sansavini et al. 2009, Grooteclaes 2010). Il existerait par ailleurs un levier important dans le modelage de l'anatomie oro-faciale lors de la période de diversification alimentaire (Le Révérand et al. 2014) qui semblerait avoir des répercussions sur l'organisation temporelle du babillage de l'enfant tout venant (Hieulle & Moinard 2015).

A l'inverse, les enfants avec un trouble du langage rencontrent plus de difficultés dans les performances motrices orales non –verbales (Wilson et Green, 2009).

Les autres articulateurs

La prédominance du mouvement mandibulaire sur les productions précoces impacte négativement l'implication des autres articulateurs. Ainsi, le déplacement de la langue, des lèvres et du palais mou (velum), est extrêmement limité au stade du babillage et des premiers mots. De ce fait, le contrôle moteur est jugé très pauvre jusqu'à l'âge d'1 an.

La langue

Les patrons de cooccurrences privilégiés à cette période, c'est-à-dire les associations consonantiques et vocaliques au sein d'une syllabe font partie des éléments témoignant du faible engagement des articulateurs (Davis & MacNeilage 1990, 1994, Vihman 1992, MacNeilage 1998, MacNeilage & Davis 2000 a, b et 2001). Ces schémas associatifs s'établissent sur la base du cadre biphasique de l'oscillation mandibulaire et leur organisation fait apparaître une relative inertie de la langue lors de la transition consonne / voyelle. Trois types d'association C/V prévalent. La première configuration résulte 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, l'élévation de la mandibule 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 favoriserait le patron de résonance

d'une voyelle centrale ou neutre. Dans certains cas, un léger mouvement de la langue vient se s'ajouter au cadre lors de la phase de fermeture. La position de la langue est alors conservée lors de la phase d'ouverture vocalique. Deux autres patrons de cooccurrence sont ainsi déterminés. La langue peut se positionner plus en avant dans la cavité buccale, auquel cas les consonnes coronales sont 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* ».

Ces patrons, systématiquement relevés au stade du babillage puis des premiers mots, sont fondamentaux pour l'organisation précoce de la parole, mais ils prédominent aussi dans les langues du monde (MacNeilage 1994, Davis & MacNeilage 2003 et Vallée & Boë 2001).

Les lèvres

La langue n'est pas le seul articulateur à témoigner de sa faible participation à ce stade. 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 dans les productions babillées. 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 (1), le mouvement de la lèvre inférieure semble, chez le bébé, stimulé par l'impulsion mandibulaire et déforme 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 (2), 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.

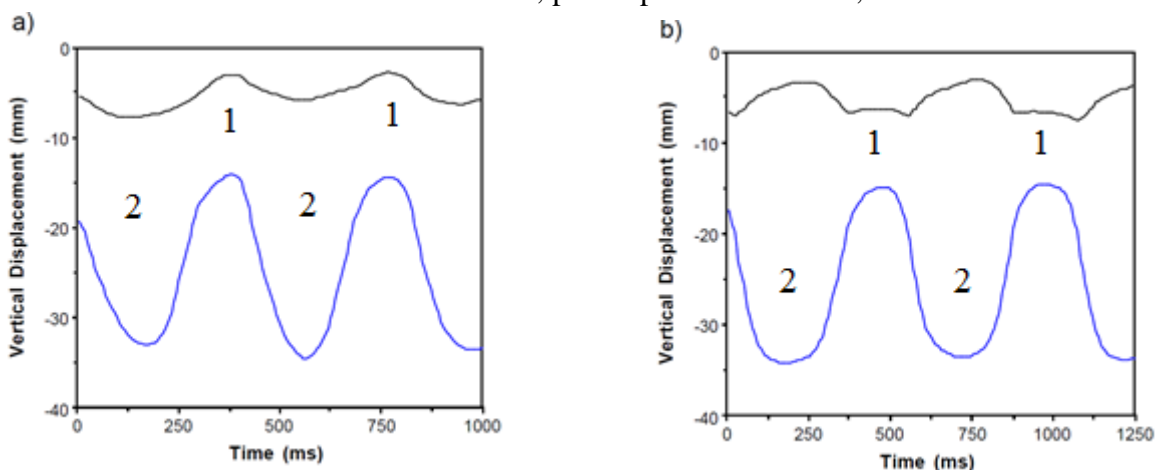


Fig. 2. Déplacement vertical de la lèvre supérieure (tracé haut) et de la lèvre inférieure (tracé bas) au cours d'une répétition syllabique /bababa/ a) à 8 mois et b) chez l'adulte

Des études ont confirmé la plus grande implication de la mandibule (Green et al 2000) par rapport aux lèvres au cours de la phase de fermeture d'une occlusive à l'âge d'1 an. Les lèvres offriraient par ailleurs un fort couplage spatio-temporel de leurs déplacements témoignant d'un contrôle indépendant relativement pauvre à 1 an (Green et al. 2000).

Le développement de la faculté motrice buccale pour la fonction de parole résulterait entre autre de la dissociation des gestes de la mandibule et des autres articulateurs, c'est-à-dire que la langue ou les lèvres doivent se mouvoir indépendamment du cadre mandibulaire (Canault et al 2008, Canault & Laboissière 2011). L'initiation d'un tel processus émergerait au cours de la deuxième année pour les lèvres.

Le voile du palais ou velum

En ce qui concerne le velum, la situation est légèrement différente car chez l'adulte, il existerait une forte corrélation spatiale et temporelle entre les mouvements mandibulaires et ceux du voile du palais (Kollia et al 1994, Serrurier & Badin 2005). L'abaissement mandibulaire a ainsi une incidence sur celui du voile du palais (Wrench 1999). Aussi, si ce phénomène persiste dans la parole adulte, on pourrait supposer qu'il sera encore plus marqué au stade précoce de l'acquisition du langage étant donné le rôle moteur déterminant de la mandibule. De nombreuses études relèvent en effet la présence de nasalité dans les productions précoces (Masataka & Bloom, 1994).

Or la nasalité va diminuer au cours des huit premiers mois du développement. La fréquence d'occurrence des sons nasaux est notamment plus limitée au stade du babillage qu'au stade précédent (Davis & MacNeilage, 1995). La présence de séquences du type « mama » dans les babils, supposant une alternance des configurations ouverte et fermée du vélum, résulterait en réalité d'une position passive de cet articulateur. Un contrôle très fin du vélum ne serait pas nécessaire pour la production de ce type de séquences (Rossato et al 2003). Une séquence « mama » pourrait effectivement être produite avec une position constante du vélum légèrement ouverte, qui serait sa configuration « par défaut » relâchée et non contrôlée (Lalévée & Vilain 2003). Rossato et ses collègues (2003) 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 (cf. figure 3). Ils ont mesuré 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.

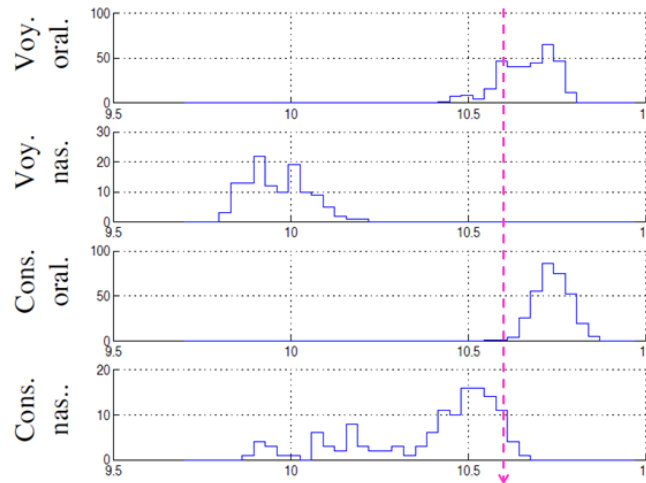


Fig. 3. Position du vélum lors de la production de voyelles et consonnes orales et nasales (Rossato *et al* 2003)

Au stade du babillage, la langue, les lèvres et le voile du palais ne participent pas activement aux productions. Ces dernières sont principalement régies par l'oscillation mandibulaire et le déplacement des autres articulateurs apparaît soit comme une conséquence passive du mouvement mandibulaire soit par un positionnement « par défaut ». A ce stade, la mobilité des articulateurs est donc relativement limitée.

La maturation des articulateurs

Le développement de la motricité bucco-faciale pour la fonction de parole implique donc l'émergence du contrôle des différentes structures articuloires conjointement aux aménagements cognitifs et anatomiques qui s'opèrent (Callan et al.2000 ; Ménard et al. 2004). La descente du larynx et par conséquent l'abaissement de la glotte par rapport aux vertèbres cervicales entrainera donc l'augmentation du volume pharyngal. Il s'agit d'une modification importante pour l'accroissement de la motricité articuloire et le développement linguistique. L'absence de sons comme [u] dans l'inventaire vocalique des jeunes enfants pourrait en effet s'expliquer en regard à la petite taille de la cavité pharyngale (Buhr 1980).

La maturation motrice des organes articuloires commencerait par les organes les plus centraux et les mouvements globaux seraient contrôlés avant les mouvements fins comme ceux de l'apex et des lèvres (de Boysson-Bardies 1996). Toutefois, le processus de maturation ne suivrait pas un schéma linéaire mais plutôt séquentiel qui répondrait à un enchaînement de cycles de différenciation et d'intégration (Studdert-Kennedy 1990). La première phase régit l'évolution d'un mouvement de base simple vers un mouvement plus complexe et spécialisé et la seconde implique l'introduction et la coordination de nouveaux comportements moteurs à ceux déjà en place. Ainsi si l'on reprend les grandes lignes du développement linguistique,

les vocalisations (2-5 mois) sous-tendraient la différenciation des activités respiratoires et vocales. L'émergence des premières syllabes au cours du babillage canonique (6-7 mois) serait liée à l'intégration des patrons de constriction et d'ouverture du tractus vocal dans les vocalisations. La période du babillage varié et des premiers mots (respectivement 10 et 12 mois) impliquerait la différenciation des gestes d'ouverture et de fermeture des syllabes pour favoriser les variations articulatoires entre les consonnes et les voyelles des syllabes d'une séquence. Et enfin, le stade de l'expansion lexicale (15-24 mois) porterait l'intégration des patrons de gestes récurrents dans les segments consonantiques et vocaliques. En 2000, Green et ses collègues 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 : celle du raffinement au cours de laquelle les cibles vont subir une spécialisation plus fine.

L'émergence du contrôle articulatoire peut alors être décrite selon un cheminement au cours duquel plusieurs 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 se rapprocher des configurations cibles. Chaque articulateur impliqué dans l'activité de parole devra répondre à ce schéma développemental pour accéder à un contrôle moteur fin.

Dans la section suivante, nous nous attacherons à décrire le développement du contrôle moteur de la mandibule des lèvres de la langue et du vélum d'une part, et à déterminer d'autre part l'âge d'acquisition de ce contrôle pour chacune des structures citées. ,

La mandibule

Contrairement à la langue, aux lèvres ou encore au palais mou, la mandibule est un articulateur osseux qui intègre le squelette visuo-facial. La forme, le volume des cavités de résonance ainsi que la longueur du conduit vocal sont nettement corrélés à la taille de la structure crânienne et donc de la mandibule (Goldstein 1980, Beck 1996, Ménard 2002). Cette dernière subit une poussée de croissance importante à partir de 6 mois jusqu'à 2 ans et se développera encore jusqu'à l'âge de 20-25 ans (Beck 1996).

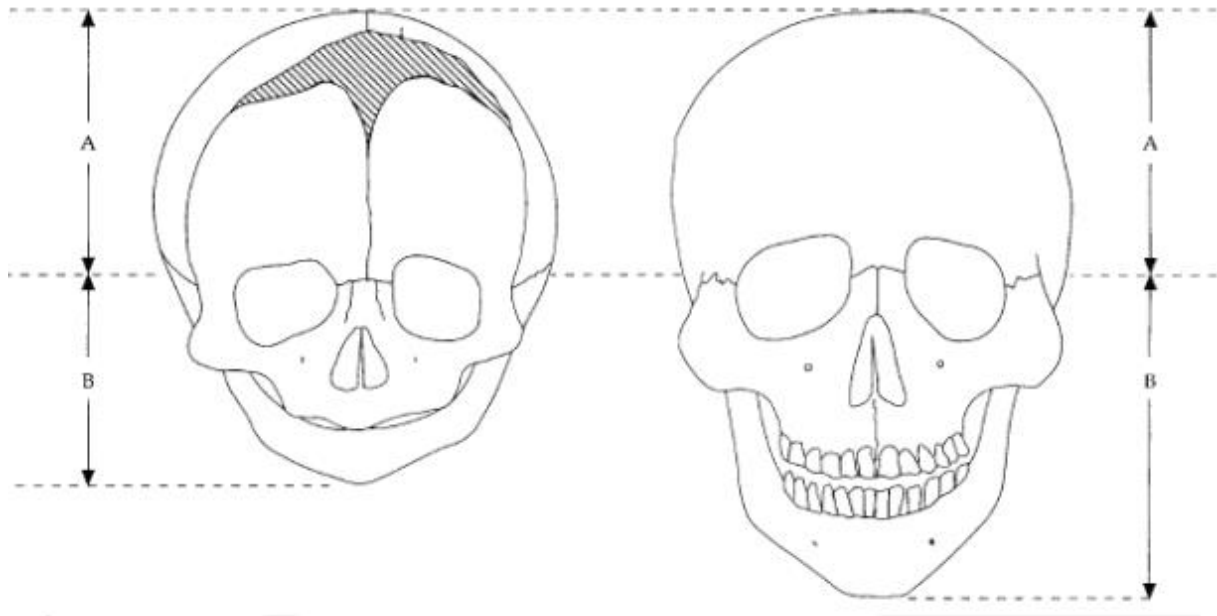


Fig. 4. Rapport entre les dimensions relatives du squelette visuo-facial du nouveau-né (gauche) et celles de l'adulte (droite) (Beck1996, p. 268)

De par sa structure rigide, la mandibule serait le premier articulateur à atteindre sa maturité. Les structures articulaires pourvues d'un degré de liberté plus grand seraient soumises à un processus développemental plus long. Déformables, la langue et les lèvres, engendreraient plus de contraintes pour le système nerveux (Green et al. 2002). La maturation de cet articulateur interviendrait au cours de la première année (Green et al. 2000, 2002).

Les patrons cinématiques, le timing, ou encore la variabilité spatiale et temporelle des patrons de mouvement font partie des paramètres expliquant la précocité du contrôle mandibulaire. Les patrons cinématiques mandibulaires que ce soit pour la mastication, la succion ou le babillage se rapprochent de ceux des adultes dès l'âge de 9 mois (Steeve et al. 2008, Steeve et Moore 2009). Il existe également un lien entre la configuration des patrons mandibulaires ou plus exactement de la coordination musculaire sous-jacente et celle de la complexité des séquences linguistiques. On observerait ainsi des coordinations musculaires différentes entre les séquences redupliquées et variées du babillage (Steeve et Moore 2009). Mais surtout, ces patrons évolueraient également en fonction de l'âge. La complexité des patrons de mouvement diminuerait aux environs de 16 mois reflétant une stabilisation du système moteur.

Le timing est également une bonne indication du développement du contrôle mandibulaire. Des auteurs comme Bickley *et al.* (1986), Koopmans Van Beinun (1993), Ducey-Kaufmann (2007) ou encore Dalota et al. (2008) ont montré que la production des syllabes du babillage précoce semblaient répondre à un rythme oscillatoire mandibulaire s'élevant à 2-5 ou 3Hz, soit une fréquence oscillatoire deux fois plus lente que pour l'adulte (Kuehn & Moll 1976, Smith & Gartenberg 1984). Les profils de vitesse des mouvements d'ouverture et de fermeture de la mandibule augmenteraient donc avec l'âge (Nip et al 2009). Cette progression n'est cependant pas linéaire (Smith & Gartenberg 1984, Walsh & Smith 2002, Nip & Green 2006, Canault & Laboissière 2011). En effet, une stabilisation de la vitesse émerge dès l'âge

de 15 mois, soit 3 mois plus tôt que pour les lèvres, et coïnciderait avec l'accroissement du vocabulaire et l'émergence des phrases (Nip et al 2009).

Enfin, de nombreuses études acoustiques et articulatoires se sont notamment intéressées à l'évolution de la motricité de la mandibule par l'observation de la variabilité spatiale et temporelle de ses déplacements. Ainsi, dans une étude ciblant les mouvements labio-mandibulaires au cours de la production de séquences du type [ba] et [ma] chez des enfants âgés de 4 ans, 7 ans, 10 ans et des adultes, Sharkey et Folkins (1985) ont montré une diminution de la variation temporelle entre les groupes d'enfants et d'adultes pour la lèvre inférieure, mais pas pour la mandibule. Cette constance du paramètre de variabilité entre les différents groupes témoignerait de la stabilisation antérieure des patrons temporels de cet articulateur. Nittrouer (1993) a alors montré, grâce à l'analyse formantique de séquences /ə - Cocclusive-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. Mais des études plus récentes (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 5).

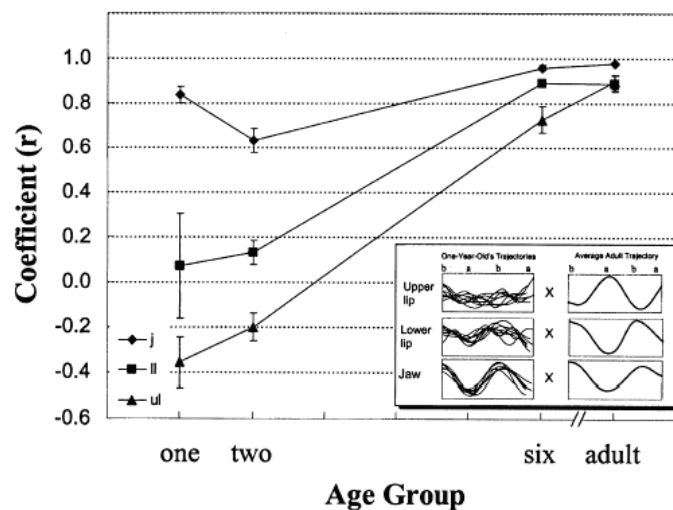


Fig. 5. Indication de la variabilité de la mandibule (J), de la lèvre inférieure (LL) et de la lèvre supérieure (UL). Les barres verticales sont les indices de cette variabilité (Green et al. 2002)

La langue

Bien que la langue soit un articulateur interne, donc difficilement observable, on trouve dans la littérature scientifique plusieurs descriptions du développement de son contrôle. Ainsi même si à 3 mois la langue s'allonge, que sa musculature se développe et que l'ouverture du pharynx lui donne un degré de liberté plus grand sur le plan horizontal de la cavité buccale, la

langue fait encore preuve d'une relative inertie au stade du babillage précoce. Le développement moteur de cet articulateur passe par l'augmentation de ses déplacements et par l'acquisition d'une plus grande autonomie motrice. Les productions doivent donc d'une part présenter des changements de position linguale d'un cycle mandibulaire à un autre, mais aussi au sein même d'un cadre syllabique c'est-à-dire entre la consonne et la voyelle d'une syllabe.

L'apparition d'un nouveau patron associatif (LC : labial-coronal) ainsi que les données articulatoires marquant un contrôle différentiel des gestes de la langue et de la mandibule témoignent de cette évolution.

L'indépendance segmentale, et par conséquent le contrôle articulatoire s'accroît dans une tendance appelée « *fronting* » (MacNeilage & Davis 2000 a, b). Cette tendance émerge à l'âge de 12 mois à l'apparition avec les premiers mots. A ce stade, on observe une prédisposition pour les séquences bisyllabiques dont la première syllabe contient une consonne labiale et la seconde une consonne coronale. Cette combinaison implique ainsi l'initiation de la séquence par un cadre pur qui est suivi d'un mouvement lingual lors de la production de la seconde syllabe (MacNeilage & Davis 2003) : ex : (/badε/). Ce patron est produit même lorsque le mot cible présente 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 demandent 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 ce type d'associations est capital pour l'évolution et l'acquisition du langage 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 dès 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 médiane qui peut ainsi être réalisée soit en fonction de la consonne précédente, soit avec la suivante, ce qui étend de cette façon le potentiel de combinaisons.

Les déplacements verticaux de la mandibule sans geste associé de la langue seraient prédominants au stade précoce du babillage, alors qu'avec l'âge, des mouvements horizontaux de la langue commenceraient à se superposer à ceux de la mandibule (Canault et al 2008, 2011). Entre l'âge de 8 mois et celui de 12 mois, des gestes différentiels vont être introduits au sein d'un même cycle oscillatoire ; les mouvements de la mandibule, articulateur dominant, vont intégrer les mouvements indépendants de la langue (cf. figure 6).

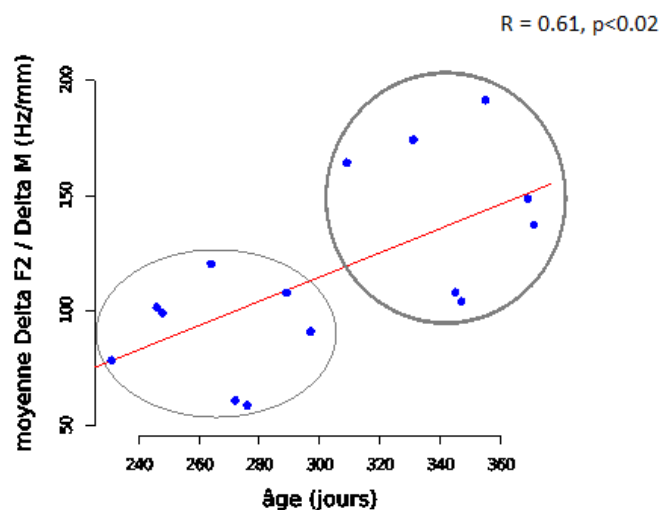


Fig. 6. Evolution de la dissociation des gestes langue/mandibule entre 8 mois et 12 mois chez 15 sujets (Canault et Laboissière 2011).

Le contrôle articulaire se développe donc entre le stade du babillage et l'apparition des premiers mots. Cependant, le développement de la motricité est loin d'être achevé. En effet, le manque de coarticulation linguale anticipatoire à 12 mois atteste encore du faible engagement de la langue dans les productions préférentielles du babillage tardif et des premiers mots. Les données de Sussman *et al.* (1996 et 1999) ont ainsi permis de rendre compte de l'évolution des mouvements de la langue au sein d'une syllabe. Les valeurs fréquentielles de F2 au début de la transition CV et au centre du noyau vocalique ont été extraites des productions [bV], [dV] et [gV] d'un jeune sujet âgé de 7 à 40 mois. Le calcul des équations du locus a permis à ces auteurs d'interpréter l'évolution du phénomène de coarticulation à 3 stades différents du développement langagier : le babillage, les premiers mots et la parole. La pente de la droite de régression de F2, extraite en fonction du lieu articulaire consonantique (labial, alvéolaire, vélaire), fournit alors un indice numérique du contrôle indépendant 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. 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 consonnes labiales présenteraient 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 le fait que les mouvements mandibulaires d'ouverture et de fermeture suffisent à la réalisation de cette configuration syllabique. Néanmoins, ce type de consonnes favorisera la mise en place d'une indépendance maximale entre les déplacements de la langue et ceux de la mandibule. Etant donné que la langue n'intervient pas dans la réalisation du lieu articulaire consonantique, elle est libre d'adopter n'importe quelle position pour la réalisation de la voyelle. Ce cadre syllabique offre donc une configuration propice à la différenciation gestuelle précoce. En revanche, dans le cas des syllabes intégrant une consonne alvéolaire, le

bébé doit acquérir la différenciation de 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 la consonne et la voyelle 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 dans d'autres par sa réduction. 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.

La coordination temporelle et spatiale entre les articulateurs est beaucoup plus longue à se mettre en place, nous l'avons déjà observé pour les lèvres ou le velum. Cheng et al (2007) l'ont également montré pour les mouvements linguaux et mandibulaires dont les trajectoires et le timing vont évoluer jusqu'à l'âge de 8-11 ans pour s'affiner jusqu'à l'adolescence. La coordination entre la mandibule et les parties de la langue a été observée. Alors que la synchronie entre la pointe de la langue et la mandibule augmente avec l'âge, le dos de la langue et la mandibule vont offrir des patrons cinématiques plus coordonnés.

Les lèvres

Nous avons mentionné précédemment que les mouvements labiaux, au cours des productions précoces, étaient une conséquence passive de l'oscillation mandibulaire. Le développement moteur bucco-facial suppose que les lèvres se désolidarisent de l'influence mandibulaire et participent activement aux productions.

L'implication de la mandibule dans les productions orales est très forte jusqu'à l'âge d'1 an. La fermeture de la cavité buccale pour la production des consonnes bilabiales, par exemple, est initialement générée chez les très jeunes sujets par l'élévation mandibulaire et une très faible participation des lèvres alors que chez l'adulte, la mandibule et les deux lèvres sont engagées (Munhal & Jones 1998, Green et al 2000). La lèvre inférieure semble ainsi entrer en collision avec la lèvre supérieure, comme poussée par la mandibule, engendrant une compression excessive et inadaptée des lèvres, caractéristique d'un contrôle moteur immature. L'engagement de la mandibule va alors diminuer dès l'âge de 2 ans et celle des lèvres augmenter (Green et al 2000).

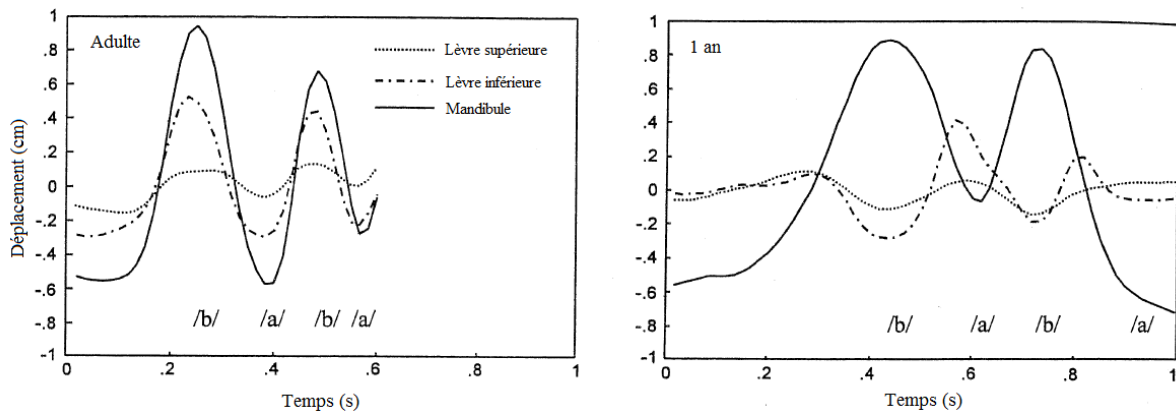


Fig. 7. Patrons cinématiques de la mandibule et des lèvres lors de la production d'une séquence [baba] chez l'adulte et chez l'enfant d'1 an (Green et al. 2000)

La coordination lèvres-mandibule apparaît par ailleurs plutôt faible à l'âge d'1 an en offrant des mouvements quasiment opposés (cf. figure 7). Ainsi, lorsque la mandibule s'élève, les lèvres descendent sous la force de contact. Pourtant, un couplage étroit de ces articulateurs est recensé dans les productions matures (Gracco & Löfqvist 1993). Le processus d'acquisition du contrôle moteur requiert donc un accroissement de la coordination spatiale et temporelle des gestes linguaux et mandibulaires. L'étude de Green et al 2000 montre clairement une augmentation progressive de ces paramètres avec l'âge laissant supposer qu'une phase d'affinement du contrôle moteur s'amorce dès 6 ans. Dès l'âge de 2 ans un très fort couplage articulaire et une forte synchronie sont observés entre les déplacements des lèvres inférieure et supérieure.

Enfin, le niveau de participation et de couplage spatial et temporel ne sont pas les seuls paramètres visant à rendre compte de l'établissement du contrôle moteur des articulateurs. Comme pour la mandibule, la configuration des patrons de mouvement ainsi que leur variabilité sont à prendre en considération. Aussi, dès 4 ou 6 ans, selon les auteurs (Smith & MacLean-Muse 1987, Smith & Goffman 1998, Green *et al.* 2002), les patrons de déplacement labiaux de l'enfant sont considérés comme proches de ceux de l'adulte bien que plus lents et plus variables (Sharkey & Folkins 1985, Green et al 2000, 2002, Smith 1995). C'est aux environs de 11 ans (Smith 1995) que la stabilisation de leur timing surviendra.

Le velum

Il n'est pas aisé d'évaluer l'émergence du contrôle moteur du velum. L'évolution du répertoire de production et par conséquent celle de la fréquence d'occurrence des sons oraux et nasaux représente l'un des moyens de tester le fonctionnement de cet articulateur (Masataka & Bloom, 1994). Dans les descriptions articulatoires classiques, l'opposition entre oralité et nasalité repose sur une position différente du voile du palais : dans le premier cas il est en position haute afin d'obstruer le passage de l'air dans la cavité nasale alors que dans le second cas, au contraire, il est abaissé pour permettre à la source d'air de passer simultanément dans la cavité buccale et la cavité nasale. L'observation des productions semble donc donner un aperçu des gestes, ou plus exactement des configurations vélares.

Cependant, cette vision binaire semble légèrement erronée. Il ne faudrait pas envisager le contraste de nasalité exclusivement en termes de fermeture et d'ouverture du port velopharyngé, mais aussi en termes de degré de couplage des cavités orale et nasale (Rossato et al 2006). En effet, même si la nasalité peut correspondre à la position de repos du velum, tandis que le mode oral demande une action musculaire pour remonter le velum, tous les sons nasaux ne présentent pas des configurations vélaire strictement identiques (cf. figure 3). Ainsi, la production d'une voyelle nasale, par rapport à une consonne nasale, nécessite une plus grande ouverture du conduit nasal et un abaissement vélaire plus grand (Rossato et al 2003, Amelot et al 2006). De ce fait, la production des consonnes orales demanderait un effort vélaire plus important que celle des consonnes nasales dans un premier temps et l'acquisition de voyelles nasales serait plus tardive. L'émergence de ces sons témoignerait de l'apparition d'une certaine forme de contrôle.

L'étude de la combinaison des unités sonores donne elle aussi une bonne indication de l'état de maturation de la motricité du velum (Redford et al 1997) puisque l'alternance des phonèmes oralisés et nasalisés implique un changement de configuration rapide du velum et plus précisément une grande rapidité de contraction et de relâchement de ses muscles abaisseurs et élévateurs. Le contrôle du velum n'est pas encore maîtrisé au moment de l'apparition du babillage canonique à 7 mois, mais il va s'affiner au cours des mois qui suivent (Lalevée & Vilain 2003) : trois étapes peuvent être décrites (Lalevée 2010). Jusqu'à 7 mois, le velum maintiendrait une configuration stable entre les consonnes et les voyelles successives permettant à l'enfant de produire des consonnes essentiellement nasales associées à des voyelles orales. Dès 7 mois, un contrôle supplémentaire se mettrait en place : celui de l'élévation du vélum. L'enfant est alors capable de bloquer le passage de l'air dans les fosses nasales et peut produire des séquences de sons oraux. L'émergence des sons oraux pourrait s'expliquer par la stimulation auditive exercée par l'environnement langagier. En effet, les enfants sourds, qui n'ont pas de retour perceptif (Davis & MacNeilage, 2000), produisent beaucoup plus de nasales que les enfants entendants (Stoel-Gammon, 1988). Quand l'implant cochléaire est proposé aux familles, cette prédominance chuterait dans un délai de 7 mois après activation (McCaffrey & al. 2000). Enfin, la troisième étape émergerait après 16 mois. Elle correspond à la mise en place de l'abaissement suffisant du velum pour produire une voyelle perçue comme étant nasale.

Impact du système perceptif sur le système de production

L'enfant semble accéder à un contrôle moteur relativement fin de ses articulateurs aux environs de 11 ans. Cependant dès l'âge d'un an sa motricité bucco-faciale se développe considérablement en partie à cause des changements anatomiques et cognitifs qui s'opèrent. Mais si les deux premières années semblent décisives pour le développement de la parole c'est aussi parce que la perception de l'environnement linguistique joue un rôle majeur.

Développement de la perception : Rappel

Il est acquis que la fonctionnalité du système perceptif précède celui de la production et va influencer ce dernier. Il suffit par exemple de considérer, dès 4-7 mois, les répertoires des sujets malentendants généralement plus petits que ceux des enfants ne présentant aucun trouble auditif (Stoel-Gammon 1988) ou encore le lien existant entre le degré de sévérité de la surdité et le caractère tardif de l'apparition du babillage (Oller & Eilers 1988) pour entrevoir cette influence. Ainsi, l'immersion dans un univers sonore stimulerait la production et sa diversité. À l'inverse, la défaillance de la faculté d'audition générerait une perte des possibilités d'exploration sensori-motrice et, par conséquent, restreindrait l'expansion des possibilités articulatoires.

Les organes de l'audition, ou plus exactement la cochlée est attestée fonctionnelle chez le fœtus dès la 24^{ème} semaine de gestation (Collet 1990). Le fœtus, dès lors doté de la faculté de perception, est en mesure de réagir à des stimulations acoustiques externes et ainsi percevoir les stimuli langagiers même affaiblis par le corps de la mère et ses bruits physiologiques. Il est alors capable de discriminer deux stimulations acoustiques différentes qu'elles soient liées à des caractéristiques physiques de la stimulation comme le type de son, sa fréquence ou son intensité (Lecanuet 1987, 1993 a et b) ou des caractéristique structurelles comme l'ordre syllabique (1997). Le fœtus garde par ailleurs des traces de ces apprentissages prénataux (DeCasper et Fifer 1980, Mehler et al. 1988). Le nouveau-né est ainsi doté d'un potentiel auditif accru, il peut percevoir des contrastes phonétiques fin (Eimas 1971) et ce potentiel de discrimination irait au-delà des contrastes présents dans sa langue maternelles (Jakobson 1962, 1963, Streeter 1976, Dehaene-Lambertz 1999). Néanmoins, l'exposition à l'environnement linguistique va avoir un impact sur le système perceptif du bébé. Progressivement il devient hermétique aux contrastes phonémiques non pertinents dans sa langue. Les frontières psycho-acoustiques universelles établies entre les catégories non pertinentes se dissipent. Ce déclin émerge au cours de la 1ère année en touchant préalablement les voyelles. À 6 mois, la représentation de l'espace vocalique serait donc adaptée à l'organisation vocalique de la langue (Kuhl 1992). La réorganisation de l'espace perceptif des consonnes est souvent corrélée à la naissance de la reconnaissance des éléments du lexique : elle émerge vers l'âge de 10 mois (Werker & Tees 1984).

Influence de la perception sur le système de production

Bien que l'apprentissage d'une même langue présente de grandes variations interindividuelles, l'environnement acoustique immédiat agirait sur les réponses sonores du bébé et à long terme la langue structurerait l'espace de production.

De Boysson-Bardies *et al.* (1989) ont ainsi montré que les voyelles produites par 20 bébés, français, arabes, chinois et anglais, occupaient des espaces formantiques différents et commençaient à converger, à 10 mois, vers les propriétés acoustiques des langues respectives. L'influence de la langue maternelle se renforcerait avec l'âge en affectant des indices articulatoires très fins. Aussi, l'enfant exploiterait-il dans un premier temps un patron universel sans tenir compte de sa langue maternelle, avant de développer les patrons de son environnement linguistique. Buder & Stoel-Gammon (2002) ont ainsi mesuré les durées

vocaliques de séquences CVC produites par des enfants anglo-américains et suédois âgés de 24 et 30 mois. Rappelons que le suédois est une langue à quantité vocalique, c'est-à-dire qu'une différence de durée vocalique engendre un contraste phonologique, alors qu'une telle différence en anglais est liée à des paramètres purement contextuels : par exemple, le voisement de consonne finale d'une séquence influe sur la durée de la voyelle précédente. Les résultats montrent 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 variation en lien avec l'identité vocalique émerge. Chez l'enfant américain on observe en revanche un renforcement de l'influence consonantique sur la durée vocalique avec l'âge. Outre les paramètres articulatoires, la prosodie serait également rapidement affectée par l'environnement linguistique (Whalen et al. 1991).

Toutefois, le canal auditif ne serait pas le seul à jouer une telle influence. Le canal visuel serait tout aussi important. Les enfants aveugles de naissance présentent des retards du développement du langage marqués par un prolongement du stade des vocalisations et une difficulté à entrer dans le stade du babillage. Aussi, ces enfants ont-ils des difficultés à discriminer des sons peu contrastés acoustiquement tels que [m] et [n] dont la désambiguïsation, principalement visuelle, repose sur la présence ou l'absence d'une fermeture labiale (Mills 1987). De plus, tandis que les consonnes bilabiales, consonnes visuellement identifiables à cause de l'engagement des lèvres qu'elles demandent, sont des consonnes prédominantes du répertoire précoce (Vihman et al 1985), elles constituent une part beaucoup moins importante du babillage des bébés présentant une déficience visuelle (Mulford 1988). Le canal visuel constitue donc l'une des voies qui permet la mise en place de représentations cognitives essentielles à l'émergence du contrôle articulatoire.

La perception, qu'elle soit visuelle ou auditive, joue un rôle primordial dans l'organisation de la parole précoce. Les patrons sonores et visuels des réalisations environnantes, mais aussi les retours auditifs et proprioceptifs 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) : c'est le principe de l'imitation.

L'imitation : un mécanisme d'apprentissage important

L'enfant reconnaît et apprend les unités de sa langue parce qu'il entend, parce qu'il voit et qu'il a une spécialisation neurale qui relie ces stimuli à l'information référentielle (Locke 1993). Mais au-delà de ça, le système perceptif lui permet d'établir le lien entre les réalisations acoustiques, les organes orofaciaux qui entrent en jeu et les gestes à réaliser (Guenther 1995). Cette opération serait possible parce que l'information acoustique et/ou visuelle aiderait à spécifier l'action à exécuter grâce au système neuronal miroir. La perception et l'action seraient les composantes d'un système unique qui s'influencent mutuellement (Studdert-Kennedy 1985, 2000, Schwartz 2001).

Les neurones miroirs, découverte majeure en neurosciences, ont été identifiés par hasard chez le macaque. Au sein d'une même zone cérébrale, en l'occurrence l'aire F5 chez le singe correspondant à une partie de l'aire de Broca chez l'homme (aire du langage), des neurones s'activent à la fois lorsque le singe réalise une action et voit quelqu'un exécuter la même

action (Rizzolatti et al. 1996), mais aussi lorsqu'il entend le bruit de cette action (Kohler et al. 2002). De plus, certains de ces neurones sont spécialisés dans les mouvements de la bouche (Ferrari et al. 2003). Ces neurones semblent donc jouer un rôle essentiel dans le processus d'apprentissage par imitation que sous-tend l'acquisition du langage. Une stimulation sonore en activant une zone cérébrale également dédiée au mouvement va faire émerger une image motrice de cette action laquelle pourra être reproduite. De la même manière, un son du langage et un geste articulatoire pourront être mis en relation.

L'émergence de la capacité d'imitation constituerait ainsi une étape décisive du développement de la parole (Piaget et & Inhelder 1966) qui perdurerait (Locke 1969). On sait maintenant que les facultés d'imitation de l'enfant sont très précoces. Les enfants de 14 jours sont déjà en mesure d'imiter des gestes faciaux comme la protrusion des lèvres ou l'ouverture de la bouche et des gestes manuels comme l'ouverture et la fermeture de la main (Meltzoff & Moore 1977, 1989) (cf. figure 8).



Fig. 8. Imitations de mouvements faciaux (protrusion de la langue, ouverture de la bouche et protrusion des lèvres) chez des bébés âgés de 2 à 3 semaines (Meltzoff & Moore 1977)

L'imitation de la parole serait elle aussi très précoce. 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. Il faut noter que dès l'âge de 3 et 4 mois, le bébé est capable de faire le lien entre le son et les mouvements articulatoires engagés. En effet, si l'on présente à un bébé deux types de stimuli audio-visuels de parole, à savoir des stimuli où le son et l'articulation sont cohérents et des stimuli où le son et l'articulation divergent (gestes articulatoires d'un son associé au signal acoustique d'un autre son), ce dernier vocalise et imite les mouvements buccaux lorsque le stimuli répond à une configuration cohérente (Legerstee 1990).

Grâce à l'imitation, le bébé va spécialiser ses productions en fonction de son environnement linguistique au cours de la première année (Vihman 1991 et Vihman *et al.* 1986). Le bébé va alors progressivement abandonner les gestes phonétiques non pertinent pour sa langue

(Vihman & Boysson-Bardies 1994) tout en se libérant peu à peu des contraintes motrices pesant sur son système de production.

Conclusion

A la naissance, le bébé est en mesure de produire quelques émissions vocales qui restent toutefois très rudimentaires. Il doit donc dans un premier temps apprendre à maîtriser sa phonation et sa respiration pour la fonction de parole. Ce contrôle survient relativement tôt, soit aux environs de 5 mois. Mais à ce stade, la configuration du conduit vocal du bébé ne lui permet pas de déplacer librement ses articulateurs. Ses capacités motrices bucco-faciales sont extrêmement limitées et doivent se développer. Le processus d'acquisition du langage, au-delà du développement linguistique, intègre donc l'émergence du contrôle articulatoire-moteur.

La première année de vie est une année très dense sur le plan du développement langagier. Cette période prélinguistique commence par la production de sons végétatifs pour s'achever avec l'apparition des premiers mots. Trois acquisitions majeures interviennent à cette période : la spécialisation de la perception et celle des productions en fonction de l'environnement linguistique ainsi que la maturation du mouvement mandibulaire.

Au stade du babillage et des premiers mots, c'est-à-dire entre 6 et 12 mois, les productions sont fortement contraintes par la dominance du mouvement de la mandibule. Au cours du développement, la langue, les lèvres et le velum vont s'affranchir de ces contraintes et participer activement aux articulations. L'évolution de cet engagement s'amorce au cours de la deuxième année mais le développement du contrôle des articulateurs va évoluer jusqu'au début de l'adolescence. Ainsi, c'est aux environs de 6 ans que les gestes labiaux vont s'affiner et à 11 ans qu'ils se stabiliseront. Le contrôle du velum sera en partie déterminé quand les voyelles nasales émergeront c'est à dire après 16 mois et se perfectionnera bien évidemment les années suivantes. Enfin, les mouvements linguaux vont de dissocier des gestes mandibulaires entre 8 et 12 mois, mais leur trajectoire et leur timing vont se spécialiser jusqu'à l'âge de 8-11 ans.

Chez l'enfant tout-venant, le développement de la motricité bucco-faciale pour le développement du contrôle articulatoire est un processus qui demande la coordination spatiale et temporelle des différents articulateurs cités. Chez les enfants atteints de dyspraxie verbale, la programmation et la coordination des mouvements articulatoires est perturbée : le processus d'acquisition du langage est donc affecté et certaines étapes retardées. C'est notamment le cas du babillage qui reste un stade précoce pertinent pour l'identification de cette pathologie. Chez l'enfant dyspraxique, les séquences babillées son effet peu nombreuses. On relève par ailleurs un retard de l'acquisition des structures syllabiques et une déviance de leur configuration (Chardon et MacLeod 2010).

La période de la première année est donc une étape développementale décisive au cours de laquelle les précurseurs des comportements complexes à acquérir vont se mettre en place.

Bibliographie

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. & Laboissière 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.

Amelot A. & Michaud A. 2006. Effets aérodynamiques du mouvement du velum : le cas des voyelles nasales du français. Actes des 16^{èmes} journées d'Etudes sur la parole, Dinard, France, 247-250.

Barr R.G., Hopkins B. & Green J.A. 2000. Crying as a sign, a symptom and a signal: evolving concepts of crying behavior. In *Crying as a sign, a symptom and a signal*. Barr R.G., Hopkins B. & Green J.A. (Eds.). London, Mac Keith Press, 1-7.

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.

Bickley C., Lindblom B. & Rough L. 1986. 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.

Boë L.J., Granat J., Heim J.L., Schwartz J.L., Badin P., Barbier G., Captier G., Serrurier A. & Kielwasser N. 2011. Considérations ontogénétiques et phylogénétiques concernant l'origine de la parole. Prédiction de la capacité des conduits vocaux de fossiles reconstitués à produire des sons de parole. *Revue de primatologie*, 3.

Boysson-Bardies (de) B. 1996. *Comment la parole vient aux enfants*. Paris, Odile Jacob.

Buder E.H. & Stoel-Gammon C. 2002. American and swedish 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.

Buckley B. 2003. *Children's communication skills : from birth to five years*. London, Routledge.

Buhr R.D. 1980. The emergence of vowels in an infant. *Journal of Speech and Hearing Research*, 23, 73-94.

- Callan D.E., Kent R.D., Guenther F.H. & Vorparian H.K. 2000. An auditory-feedback-based neural network model of speech production that is robust to developmental changes in the size and shape of the articulatory system. *Journal of Speech, Language, and Hearing research*, 43, 721-736.
- Canault M., Laboissière R., Perrier P. & Sock R. 2008. Development of lingual displacement independence at babbling stage. *Proceedings of 8th International Seminar on Speech Production*, Strasbourg, France.
- Canault M. & Laboissière R. 2011. Le babillage et le développement des compétences articulatoires : indices temporels et moteurs. *Faits de Langue*, 37, 173-188.
- Chardon L. & MacLeod A. 2010. La dyspraxie verbale chez l'enfant : identification, évaluation et intervention. *Glossa*, 109, 42-54.
- Cheng H.Y., Murdoch B.E., Goozée J.V. & Scott D. 2007. Physiologic development of tongue-jaw coordination from childhood to adulthood. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 50, 352-360.
- 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.
- Delaney, A. L. & Arvedson, J. C. 2008. Development of swallowing and feeding: prenatal through first year of life. *Developmental disabilities research reviews*, 14, 105-117.
- Dolata, J.K., Davis, B.L. & MacNeilage, P.F. 2008. Characteristics of the rhythmic organization of vocal babbling: implications for an amodal linguistic rhythm. *Infant behavior and development*, 31 (3), 422-431.
- 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. Of human bonding: Newborns prefer their mothers' voices. *Science*, 208, 1174-1176.
- Dehaene-Lambertz G. 1999. Bases cérébrales de la perception des phonèmes chez le nourrisson. *Les Cahiers de l'Audition*, 12, 23-29.
- 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.
- Eimas P.D., Siqueland E.R., Jusczyk P. & Vigorito J. 1971. Speech perception in infants. *Science*, 171, 303-306.
- Fant G. 1960. *Acoustic theory of speech production*. The Hague, Mouton.
- Ferrari P.F., Gallese V., Rizzolatti G. & Fogassi L. 2003. Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *European Journal of Neuroscience*, 17 (8), 1703-1714.
- Fitch W.T. & Giedd J. 1999. Morphology and development of the human vocal tract : a study using magnetic resonance imaging. *Journal of Acoustical Society of America*, 106 (3), 1511-1522.
- Fox P.T., Mikiten S., Davis G., Lancaster J.L. 1994. BrainMap: A database of human functional brain mapping. In Thatcher R.W., Zeffiro T., Huerta M. (Eds). *Advances in Functional Neuroimaging: Technical Foundations*. Orlando, Academic Press, 98-106.
- Goldstein U.G. 1980. An articulatory model for vocal tract of growing children. Thesis of Doctor Science, Cambridge, MIT Press.
- Grooteclaes V., Docquier L., & Maillart C. 2010. Le langage spontané des enfants prématurissimes : analyse du langage descriptif et informatif. *Glossa*, 108, 1-17.
- Gracco V.L. & Löfqvist 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.
- 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., 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.
- Guarini A, Sansavini A, Fabbri C, Alessandrini R, Faldella G, Karmiloff-Smith A. 2009. Reconsidering the impact of preterm birth of language outcome. *Early Human Development*, 85(10). 639-645.

- Guenther F.H. 1995. Speech sound acquisition, coarticulation, and rate effects in a neural network model of speech production. *Psychological Review*, 102, 594-201.
- Hieulle M. & Moinard S. 2015. Relation entre oralité verbale et oralité alimentaire du babillage aux premiers mots. *Mémoire d'orthophonie*, Lyon.
- Jakobson R. 1962. *Selected writings: phonological studies*. Gravenhage, Mouton et co's.
- Jakobson R. 1963. *Essais de linguistique générale*. Paris, Les Editions de Minuit.
- Jürgens 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.
- Kail M. & Fayol M. 2000. *L'Acquisition du langage, Vol. I : l'émergence de la naissance à 3 ans*. Paris, Presses Universitaires de France.
- Kent R.D. 1976. Anatomical and neuromuscular maturation of the speech mechanism : evidence from acoustic studies. *Journal of Speech and Hearing Research*, 19, 421-445.
- 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.
- Kern S. 2001. Le langage en émergence. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 61 (13-1), 8-12.
- Kohler E., Keysers C., Umiltà M.A., Fogassi L., Gallese V. & Rizzolatti G. 2002. Hearing sounds, understanding actions : action representation in mirror neurons. *Science*, 297, 846-848.
- 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. 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.

- Koopmans Van Beinum F. & Van-der-Stelt J. 1979. Early stages in infant speech development. *Proceedings of the Institute of Phonetic sciences, University of Amsterdam*, 5, 30-43.
- Koopmans Van Beinum F.J. 1990. Spectro-temporal reduction and expansion in spontaneous speech and read text: the role of focus words. *Proceedings of the International Conference on Spoken Language Processing, Kobe, Japan*, 21-24.
- Koopmans Van Beinum F.J. 1993. Cyclic effects on infant speech perception, early sound production, and maternal speech. *Proceedings of the Institute of Phonetic Sciences (IFA)*, 17, 65-78.
- Kuehn D.P. & Moll K. 1976. A cinefluorographic investigation of CV and VC articulatory velocities. *Journal of Phonetics*, 4, 303-320.
- 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.
- Lalevée 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.
- Lalevée C. 2010. Développement du contrôle moteur de la parole : une étude longitudinale d'un enfant francophone âgé de 7 à 16 mois, à partir d'un corpus audio-visuel. Thèse de doctorat, Université Stendhal Grenoble III.
- Lecanuet J.P., Granier-Deferre C., Decasper A.J., Maugeais R., Andrieu A.J. & Busnel M.C. 1987. 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. 1993a. 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. 1993b. 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 potentiality of the foetus. *Neuropsychologia*, 1, 107-110.
- Le Révérand, B. J., Edelson, L. R. & Loret, C. 2014. Anatomical, functional, physiological and behavioral aspects of the development of mastication in early childhood. *British Journal of Nutrition*, 111, 403-414.

- Lester B.M. & Zachariah Boukydis C.F. 1985. *Infant crying : theoretical and research perspectives*. New York, Plenum Press.
- Lieberman P., Crelin E.S. & Klatt D.H. 1972. Phonetic ability and related anatomy of the newborn, adult human, neanderthal man, and the chimpanzee. *American Anthropologist*, 74, 287-3007.
- Locke J.L. 1969. Experimentally-elicited articulatory behaviour. *Language and Speech*, 12 (3), 187-191.
- Locke J.L. 1993. Learning to speak. *Journal of Phonetics*, 21, 141-146.
- Luschei E.S. & Goldberg L.J. 1981. 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.
- Masataka N. & Bloom K. 1994. Acoustic properties that determine adults' preferences for 3-month-old infant vocalizations. *Infant Behaviour Development*, 17, 461-464.
- McCaffrey H.A., Davis B.L., MacNeilage P.F. & Von Hapsburg D. 2000. Multichannel cochlear implantation and the organization of early speech. *The Volta Review*, 101 (1), 5-29.
- Mehler J., Jusczyk P., Lambertz G. & Halsted N. 1988. A precursor of language acquisition in young infants. *Cognition*, 29, 143-178.
- Meltzoff A. & Moore M.K. 1977. Imitation of Facial and Manual Gestures by Human Neonates. *Science*, 198, 75-78.
- Meltzoff A. & Moore M.K. 1989. Imitation in Newborn Infants: Exploring the Range of Gestures Imitated and the Underlying Mechanisms. *Developmental Psychology*, 25, 954-962.

- Ménard L. 2002. Production et perception de la croissance du conduit vocal : variabilité, invariance et normalisation. Thèse de doctorat, Université Stendhal Grenoble III.
- Ménard L., Schwartz J.L. & Boë L.J. 2004. The role of vocal tract morphology in speech development: Perceptual targets and sensori-motor maps for French synthesized vowels from birth to adulthood. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47 (5), 1059-1080.
- Mills A.E., 1987. The development of phonology in the blind child. In *Hearing by eye: The psychology of leapreading*. Dodd B. & Campbell R. (Eds.). Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, 145-162.
- 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.
- Mulford R. 1988. First words of the blind child. In *The emergent lexicon: The child's development of a linguistic vocabulary*. Smith M.D. & Locke J.L. (Eds.). New-York, Academic Press, 293-338.
- Munhall K.G. & Jones J. A. 1998. Articulatory evidence for syllabic structure. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, 524-525.
- Nip I.S.B. & Green J.R. 2006. The development of speaking rate: A kinematic perspective. Paper presented at the conference on Motor Speech.
- Nip I.S.B., Green J.R. & Marx D.B. 2009. Early speech motor development: Cognitive and linguistic considerations. *Journal of Communication Disorders*, 42, 286-298.
- 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.
- Oller D.K. & Eilers R.E., 1988. The role of audition in infant babbling. *Child Development*, 59, 441-449.
- Palladino, R. R., Cunha. M. C. & Souza L. A. 2007. Language and eating problems in children: co-occurrences or coincidences? *Pro-Fono Revista de Atualização Científica*, 19 (2), 205-214.
- Piaget J. & Inhelder B. 1966. *La psychologie de l'enfant*. PUF.
- Pinker S. 1994. *The language instinct*. New York, Penguin Books.
- Redican W.K. 1975. 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 constraints on utterance-final consonant characteristics in babbling. *Phonetica*, 54, 172-186.

- Rizzolatti G., Fadiga L., Gallese V. & Fogassi L. 1996. Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3, 131-141.
- 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*, Barcelona.
- Rossato S., Teixeira A.J. & Ferreira L. 2006. Les nasales du portugais et du français : une étude comparative sur les données EMMA. *Actes des 16^{èmes} Journées d'Etude sur la Parole*, Dinard, France, 143-146.
- Sansavini A, Guarini A, Justice LM, Savini S, Broccoli S, Alessandrini R & Faldella G 2010. Does preterm birth increase a child's risk for language impairment ? *Early Human Development*, 86 (12), 765-772.
- 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. Towards a 3D articulatory model of velum based on MRI and CT images. *ZAS Papers in Linguistics, Speech production and perception: Experimental analyses and models*, 40, 195-211.
- 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.
- 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.
- Smith A., & Zelaznik H.N. 2004. Development of functional synergies for speech motor coordination in childhood and adolescence. *Developmental Psychobiology*, 45, 22-33.
- Stark R., Rose S.N. & McLagen M. 1975. Features of infants' sounds: The first eight weeks of life. *Journal of Child Language*, 2, 205-221.

- Steeve R.W., Moore C.A., Green J.R., Reilly K.J. & Ruark McMurtrey J. 2008. Babbling, chewing, and sucking: Oromandibular coordination at 9 months. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 51 (6), 1390-1404.
- Steeve R.W. & Moore C.A. 2009. Mandibular motor control during the early development of speech and nonspeech behaviors. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 52, 1530-1554.
- 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.
- Streeter L.A. 1976. Language perception of 2-month-old infants shows effects of both innate mechanisms and experience. *Nature*, 259, 39-41.
- Studdert-Kennedy M. 1985. On learning to speak. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 82-83, 53-61.
- Studdert-Kennedy M. 1990. Language development from an evolutionary perspective. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 101-102, 14-27.
- Studdert-Kennedy M. 2000. Imitation and the emergence of segments. *Phonetica*, 57, 275-283.
- 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.
- Vallée N. & Boë 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.
- Vihman M.M., Macken M.A., Miller R., Simmons H. & Miller J. 1985. From babbling to speech: Are-assessment of the continuity issue. *Language*, 61 (2), 397-445.
- 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 M. (Eds.). Hillsdale, 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.
- Vihman M.M., 1996. *Phonological development: The origins of language in the child*, Oxford, Basil Blackwell.
- Vorparian H.K., Kent R.D., Lindstrom M. J., Kalina C.M., Gentry L.R. & Yandell B.S. 2005. Development of vocal tract length during early childhood: A magnetic resonance imaging study. *Journal of Acoustical Society of America* 117 (1), 338-350.
- Walsh B. & Smith A. 2002. Articulatory movements in adolescents: Evidence for protracted development of speech motor processes. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 45, 1119-1133.
- Werker J.F. & Tees R.C. 1984. 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.
- Wilson, E. M., Green, J. R., Yunusova, Y. & Moore, C. 2008. Task specificity in early oral motor development. *Speech and Language*, 29, 257-266.
- Wilson, E. M. & Green, J. R. 2009. The development of jaw motion for mastication. *Early Human Development*, 85, 303-311.
- Woolsey C.N. 1958. Organization of somatic sensory and motor areas of the cerebral cortex. In *Biological and biochemical bases of behavior.* Harlow H.F. & Woolsey C.N. (Eds). Madison, University Press, 63-81.
- 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.